

BATTERIE A IONS DE LITHIUM ET SON PROCEDE DE FABRICATION

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 des batteries à ions de lithium avec une architecture nouvelle qui leur confère une durée de vie améliorée. L'invention concerne également un nouveau procédé de fabrication de telles batteries.

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 découpes 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. Après l'étape d'empilement, on dépose un système d'encapsulation en couche épaisse d'une dizaine de microns sur l'empilement et dans les cavités disponibles présentes au sein de l'empilement. Ceci permet d'assurer, d'une part, la 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, 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.

Par ailleurs, étant donné que les terminaisons, respectivement anodique et cathodique, sont situées en retrait des feuilles adjacentes, respectivement cathodique et anodique, il est nécessaire de pratiquer une découpe de larges dimensions. Une telle découpe doit alors être remplie au moyen d'un matériau isolant. Etant donné ses dimensions importantes, cette découpe conduit à une perte substantielle de matière utile 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. Lors de la découpe, le système d'encapsulation déposé en couche épaisse a tendance à se délaminer. L'architecture selon l'état de la technique présente donc certains inconvénients techniques mais aussi économiques.

La présente invention vise à remédier au moins en partie à certains inconvénients de l'art 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.

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 tel procédé, qui utilise une étape de découpe de meilleure qualité, notamment plus nette que dans l'art antérieur.

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

Objets de l'invention

Un premier objet de l'invention est une batterie **1000** comprenant au moins une cellule élémentaire **100**, ladite cellule élémentaire **100** comprenant successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique **10**, au moins une couche d'anode **20**, au moins une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, au moins une couche de cathode **50**, et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique **40**,

ladite batterie **1000** comprenant des bords longitudinaux **1011**, **1012**, un premier bord latéral **1001** comprenant au moins une zone de connexion anodique **1002** et un second bord latéral **1005** comprenant au moins une zone de connexion cathodique **1006**, lesdites zones de connexion anodique **1002** et cathodique **1006** étant de préférence latéralement opposés,

caractérisée en ce que chaque cellule élémentaire **100** comprend un corps primaire **111**, un corps secondaire **112** et un corps tertiaire **113**, ledit corps secondaire et ledit corps tertiaire étant disposé de part et d'autre dudit corps primaire, étant entendu que chacun des corps primaire **111**, secondaire **112** et tertiaire **113** comprend successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique **10**, au moins une couche d'anode **20**, au moins une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, au moins une couche de cathode **50**, et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique **40**,

ledit corps secondaire **112** étant séparé du corps primaire **111** par une échancrure **120** libre de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant anodique, étant entendu que ladite échancrure s'étend d'un bord longitudinal **1011** au bord longitudinal opposé de la batterie **1012** selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie, et

ledit corps tertiaire **113** étant séparé du corps primaire **111** par un évidement **130** libre de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant cathodique, étant entendu que ledit évidement **130** s'étend d'un bord longitudinal **1011** au bord longitudinal opposé de la batterie **1012** selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie.

Avantageusement, la batterie selon l'invention comprend une pluralité de cellules élémentaires, et est caractérisée en ce que toutes les échancrures de chacune des cellules élémentaires, sont superposées, selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie, de manière à ce que chaque substrat plan collecteur de courant cathodique

collecte le courant cathodique de la cellule élémentaire au travers de la zone de connexion cathodique, et

en ce que tous les évidements de chacune des cellules élémentaires sont superposés, selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie, de manière à ce que
5 chaque substrat plan collecteur de courant anodique collecte le courant anodique de la cellule élémentaire au travers de la zone de connexion anodique.

Dans un mode de réalisation préféré, ladite batterie est une batterie à ions de lithium.

Avantageusement, la batterie selon l'invention comprend un système d'encapsulation revêtant totalement quatre des six faces de ladite batterie, les deux faces restantes
10 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
15 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
20 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 des terminaisons.

Avantageusement, les terminaisons comprennent :

- 25 - une première couche d'un matériau chargé en graphite, de préférence à base de résine époxy chargée en graphite disposée sur au moins la zone de connexion cathodique et/ou au moins la zone de connexion anodique,
- une seconde couche dense de cuivre métallique disposée sur la première couche du système de terminaison,
- 30 - 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.

35 Avantageusement, la largeur de ladite échancrure est comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm.

Avantageusement, la largeur dudit évidement est comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm.

Avantageusement, la largeur des corps secondaires est comprise entre 0,5 mm et 20 mm. Un deuxième objet de l'invention est un procédé de fabrication d'une batterie **1000**, ladite batterie comprenant au moins une cellule élémentaire **100**, ladite cellule élémentaire **100** comprenant successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique **10**,
5 au moins une couche d'anode **20**, au moins une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, au moins une couche de cathode **50**, et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique **40**, ledit procédé de fabrication comprenant :

- 10 (a) l'approvisionnement d'au moins une feuille de substrat plan collecteur de courant anodique **10** revêtue d'une couche d'anode **20**, et optionnellement revêtue d'une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, appelée ci-après feuille anodique **2**, ladite feuille anodique comprenant au moins une fente anodique **80**, ladite fente anodique **80** comprenant deux cavités principales verticales anodiques et
15 parallèles **82**, lesquelles sont reliées dans leur partie supérieure par un canal horizontal anodique **84**, sensiblement perpendiculaire aux deux cavités principales anodiques verticales **82**, ces cavités principales verticales anodiques étant destinées à délimiter les bords longitudinaux de la batterie,
- 20 (b) l'approvisionnement d'au moins une feuille de substrat plan collecteur de courant cathodique **40** revêtue d'une couche de cathode **50**, et optionnellement revêtue d'une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, appelée ci-après feuille cathodique **5**, ladite feuille cathodique comprenant au moins une fente cathodique **70**, ladite fente cathodique comprenant deux cavités principales verticales
25 cathodiques et parallèles **72**, lesquelles sont reliées dans leur partie supérieure par un canal horizontal cathodique **74**, sensiblement perpendiculaire aux deux cavités principales verticales cathodiques **72**, ces cavités principales verticales cathodiques étant destinées à délimiter les bords longitudinaux de la batterie,
- 30 (c) la réalisation d'une première et d'une deuxième entailles, au voisinage de chaque fente anodique **80**, respectivement cathodique **70** d'au moins la feuille approvisionnée à l'étape a), respectivement à l'étape b), de manière à former des tranchées anodiques **86**, **88**, respectivement des tranchées cathodiques **76**, **78**, selon une direction perpendiculaire au plan principal de
35 la batterie et selon une direction parallèle au canal horizontal anodique **84**,

de la fente anodique **80**, respectivement au canal horizontal cathodique **74** de la fente cathodique **70**, étant entendu que

- les première et deuxième entailles sont réalisées de part et d'autre de la feuille anodique **2**, respectivement cathodique **5**,
- 5 ○ la deuxième entaille est réalisée dans le prolongement de la première entaille, et
- que les tranchées anodiques **86**, **88**, respectivement les tranchées cathodiques **76**, **78**, obtenues à partir des première et deuxième entailles sont libres de tout matériau d'électrolyte ou de séparateur
- 10 imprégné d'un électrolyte et de tout matériau d'anode, respectivement sont libres de tout matériau d'électrolyte ou de séparateur imprégné d'un électrolyte et de tout matériau de cathode, et
- que lesdites tranchées anodiques **86**, **88**, respectivement les
- 15 tranchées cathodiques **76**, **78** s'étendent entre les bords longitudinaux **1011**, **1012** opposés de la batterie selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie de manière à relier les deux cavités principales verticales anodiques et parallèles de chaque
- 20 fente anodique **80**, respectivement à relier les deux cavités principales verticales cathodiques et parallèles de chaque fente cathodique **70**, la feuille obtenue après la réalisation de ces entailles étant appelée ci-après feuille anodique entaillée **2e**, respectivement feuille cathodique entaillée **5e**,
- (d) la réalisation d'un empilement **I** alterné d'au moins une feuille anodique
- 25 entaillée **2e** et d'au moins une feuille cathodique entaillée **5e**, de manière à obtenir successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique **10**, au moins une couche d'anode **20**, au moins une couche d'un
- 30 matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, au moins une couche de cathode **50**, et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique **40** ; de manière à ce que, pour chaque fente anodique
- 35 **80** d'au moins une feuille anodique entaillée **2e**, respectivement pour chaque fente cathodique **70** d'au moins une feuille cathodique entaillée **5e**, les tranchées anodiques **86**, **88** d'au moins la feuille anodique entaillée, respectivement les tranchées cathodiques **76**, **78**, d'au moins la feuille cathodique entaillée **5e**, sont disposées dans le prolongement du canal horizontal cathodique **74** de la fente cathodique **70** de la feuille adjacente

cathodique entaillée 5e, respectivement du canal horizontal anodique **84** de la fente anodique **80**, de la feuille adjacente anodique entaillée **2e** selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie,

- 5 (e) la réalisation d'un traitement thermique et/ou d'une compression mécanique de l'empilement de feuilles alternées obtenu à l'étape d), de manière à former un empilement consolidé,
- (f) la réalisation de deux découpes **Dn**, **D'n** s'étendant au moins partiellement à l'intérieur de ladite fente anodique **80**, respectivement cathodique **70**, selon un plan parallèle au canal horizontal anodique **84**, respectivement cathodique **74**, la première découpe s'étendant entre le canal horizontal anodique **84** de la fente anodique **80** et l'extrémité en regard des bords longitudinaux, alors que la seconde découpe s'étend entre le canal horizontal cathodique **74** de la fente cathodique **70** et l'extrémité en regard des bords longitudinaux, de manière à former un empilement découpé
- 10 mettant à nu au moins les zones de connexion anodique et cathodique.

Avantageusement, on réalise, après l'étape (e), et de préférence avant l'étape (f), une étape (g) d'encapsulation de l'empilement consolidé, 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
 - 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,
- 25 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 $z \geq 1$.

Avantageusement, lorsqu'un séparateur est employé dans les batteries selon l'invention, le séparateur est imprégné 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.

Avantageusement, on réalise, après l'étape (f), les terminaisons de la batterie en déposant successivement sur au moins les zones de connexion anodique et cathodique :

- 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 du système de terminaison,
- 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.

5

Avantageusement, les deux entailles réalisées à l'étape (d) formant des tranchées **76, 78, 86, 88** sont effectuées par ablation laser.

Avantageusement, on réalise chaque découpe par laser.

Avantageusement, chaque cellule élémentaire définit sur une première face, une zone de continuité du substrat plan collecteur de courant anodique et une échancrure **120** débouchante, et sur la face opposée, une zone de continuité du substrat plan collecteur de courant cathodique et un évidement **130** débouchant.

Avantageusement, la zone de continuité du substrat plan collecteur de courant anodique est située en regard de l'échancrure **120**, et la zone de continuité du substrat plan collecteur de courant cathodique est située en regard de l'évidement **130** selon une direction perpendiculaire au plan de la batterie.

15

Avantageusement, la batterie selon l'invention est caractérisée en ce que :

- le substrat plan collecteur de courant anodique est le substrat collecteur de courant anodique de deux cellules élémentaires adjacentes, et en ce que
- le substrat plan collecteur de courant cathodique est le substrat collecteur de courant cathodique de deux cellules élémentaires adjacentes.

20

Figures

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

25

[Fig. 1] est une vue en perspective des feuilles anodique entaillée et cathodique entaillée 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 une rainure en forme d'échelle ménagée dans une feuille anodique.

30

[Fig. 4] est une vue en perspective, également à grande échelle, illustrant ces rainures en forme d'échelle ménagées dans des feuilles adjacentes.

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

[Fig. 6] est une vue de dessus, illustrant à plus grande échelle les découpes ménagées sur une rainure en forme d'échelle.

5 [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 VII-VII indiquée sur la figure 6.

[Fig. 9] est une vue en coupe éclatée, selon la ligne VII-VII indiquée sur la figure 6 illustrant un empilement composé de trois cellules élémentaires.

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

[Fig. 11] 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. 12] 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.

15 [Fig. 13] est une vue en perspective illustrant une batterie selon l'art antérieur.

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

[Table 1] : Repères alphanumériques utilisés dans la présente demande

Repère	Signification	Repère	Signification
1000	Batterie selon l'invention	I	Empilement de feuilles de substrat, recouverte d'une couche d'électrode (anode ou cathode) et d'une feuille d'électrolyte ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte
1011, 1012	Bords longitudinaux de la Batterie 1000	1	Feuille de substrat
1001, 1005	Bords latéraux de la batterie 1000	2, 2'	Feuille anodique
1002	Zone de connexion anodique	2*	Feuille anodique entaillée
1006	Zone de connexion cathodique	5, 5'	Feuille cathodique
100, 100', 100''	Cellule élémentaire	5*	Feuille cathodique entaillée
111	Corps primaire de 100	4	Zone centrale perforée de la feuille de cathode
112	Corps secondaire de 100	6	Cadre périphérique de la feuille de cathode
113	Corps tertiaire de 100	7	Perforations présentes aux quatre extrémités des feuilles de substrat, d'anode, de cathode, d'électrolyte ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte
120	Echancrure	8	Ponts de matière entre deux lignes
130	Evidement	H ₃	Hauteur des ponts
L ₁₂₀	Largeur de l'échancrure entre 111 et 112	9	Bandes de matières entre deux rangées
L ₁₃₀	Largeur de l'évidement entre 111 et 113	L ₉	Largeur des bandes
10	Substrat plan collecteur de courant anodique	XX	Direction longitudinale ou horizontale de l'empilement
20	Couche d'anode	YY	Direction verticale ou transversale de l'empilement
30	Couche d'un matériau d'électrolyte	L	Ligne de fentes en forme d'échelle
31	Couche d'un séparateur imprégné d'un électrolyte	R	Rangée de fentes en forme d'échelle
50	Couche de cathode	70	Fentes en forme de H dans les feuilles de cathode, fente cathodique
40	Substrat plan collecteur de courant cathodique	XH	Axe médian horizontal des fentes en forme de H ₇₀
80	Fentes en forme de H dans les feuilles d'anode, fente anodique	D, D', D _n , D' _n , D _{n+1} , D' _{n+1}	Découpe
H ₈₀	Hauteur totale de la fente en forme de H	H ₇₀	Hauteur totale de la fente en forme de H
L ₈₀	Largeur totale de la fente en forme de H	L ₇₀	Largeur totale de la fente en forme de H
82	Cavités principales verticales de 80	72	Cavités principales verticales de 70

L ₈₂	Largeur de chaque cavité principal 82	L ₇₂	Largeur de chaque cavité principal 72
84	Canal horizontal de 80	74	Canal horizontal de 70
84', 84''	Partie du canal horizontal 84 appartenant à une cellule élémentaire appelée ci-après partie du canal horizontal	74', 74''	Partie du canal horizontal 74 appartenant à une cellule élémentaire appelée ci-après partie du canal horizontal
H ₈₄	Hauteur du canal horizontal 84	H ₇₄	Hauteur du canal horizontal 74
D ₈₄	Distance entre le sommet de 82 et de 84	D ₇₄	Distance entre le sommet de 72 et de 74
86	Première tranchée horizontale de 80	76	Première tranchée horizontale de 70
H ₈₆	Hauteur de la première tranchée horizontale de 80	H ₇₆	Hauteur de la première tranchée horizontale de 70
D ₈₆	Distance entre la base de 82 et de 86	D ₇₆	Distance entre la base de 72 et de 76
88	Seconde tranchée horizontale de 80	78	Seconde tranchée horizontale de 70
H ₈₈	Hauteur de la seconde tranchée horizontale de 80	H ₇₈	Hauteur de la seconde tranchée horizontale de 70
90	Chutes de matière	91	Chute de matière
D ₈₈	Distance entre la découpe D _n et la face en regard du canal horizontal 84	D ₇₈	Distance entre la découpe D _n et la face en regard du canal horizontal 74
D ₈₇	Distance entre la découpe D _n et la face en regard de la première tranchée horizontale 86 ou de la seconde tranchée horizontale 88	D ₇₇	Distance entre la découpe D _n et la face en regard de la première tranchée horizontale 76 ou de la seconde tranchée horizontale 78
AA	Axe médian du substrat collecteur de courant anodique	CC	Axe médian du substrat collecteur de courant cathodique
60,61	Rainures en forme d'échelle	2000	Batterie selon l'art antérieur
2002	Zone de connexion anodique	2006	Zone de connexion cathodique
2095	Système d'encapsulation		

Description de l'invention

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 anodiques » **2** ou « feuilles cathodiques » **5**. Comme on le verra plus en détail, chaque feuille anodique **2** est destinée à former l'anode de plusieurs batteries, et chaque feuille cathodique **5** est destinée à former la cathode de plusieurs batteries. Dans l'exemple illustré sur la figure 1, on a représenté deux feuilles cathodiques entaillées **5e**, ainsi que deux feuilles anodiques entaillées **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 entaillées **5e** est identique au nombre de feuilles anodiques entaillées **2e** employées constituant l'empilement **I** de feuilles alternées de polarité opposée.

Dans un mode de réalisation avantageux, chacune de ces feuilles présente des perforations **7** à ses quatre extrémités de manière à ce que lorsque ces perforations **7** sont superposées, toutes les cathodes et toutes les anodes de ces feuilles sont agencées spécifiquement, comme cela sera expliqué en plus grand détail ci-après (cf. figures 1 et 2). Ces perforations **7** aux quatre extrémités des feuilles peuvent être réalisées par tout moyen approprié, notamment sur des feuilles anodique **2** et cathodique **5** après fabrication, ou sur des feuilles de substrat **10,40** revêtues d'une couche de cathode **50** ou d'anode **20**, et optionnellement revêtue d'une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur **31** de sorte que cette couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou ce séparateur **31** soit intercalé(e) entre deux feuilles de polarité opposée, i.e. entre la feuille anodique **2** et la feuille cathodique **5**.

Chaque feuille anodique **2** comprend un substrat plan 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 **5** comprend un substrat plan collecteur de courant cathodique **40** revêtu d'une couche 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 d'un séparateur **31** imprégné d'un électrolyte est disposé sur la couche active d'au moins l'un de ces substrats plans collecteurs de courant préalablement revêtu de la couche active, au contact de la couche active en regard. La couche d'électrolyte **30** ou le séparateur **31**, peut être disposé(e) sur la couche d'anode **20** et/ou sur la couche de cathode **50**; la couche d'électrolyte ou le séparateur fait partie intégrante de la feuille anodique **2** et/ou de la feuille cathodique **5** la ou le comprenant.

Avantageusement, les deux faces du substrat plan 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 de séparateur **31**, disposé(e) sur la couche d'anode **20**, respectivement sur la couche de cathode **50**. Dans ce cas, le substrat plan collecteur de courant anodique **10**, respectivement cathodique **40**, servira de collecteur de courant pour deux cellules élémentaires adjacentes. 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 **2** est décrite ci-après, étant entendu que les autres feuilles anodiques **2** présentent une structure identique. Par ailleurs, comme
5 on le verra dans ce qui suit, les feuilles cathodiques **5** possèdent une structure voisine de celle des feuilles anodiques **2**.

Comme cela est visible sur la figure 2, la feuille anodique entaillée **2e** présente une forme de quadrilatère, sensiblement de type carré. Elle délimite une zone centrale **4** dite perforée, dans laquelle sont ménagées des rainures en forme d'échelle qui vont être décrites ci-après.
10 En référence au positionnement de ces rainures en forme d'échelle, on définit une direction dite verticale **YY** de la feuille, qui correspond à la direction verticale de ces rainures en forme d'échelle, ainsi qu'une direction dite horizontale **XX** de la feuille, perpendiculaire à la direction **YY**. La zone centrale **4** est bordée par un cadre périphérique **6** qui est plein, à savoir dépourvu de rainures. La fonction de ce cadre est notamment d'assurer une
15 manipulation aisée de chaque feuille.

Les rainures en forme d'échelle 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 anodiques et
20 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, ses dimensions peuvent varier et le nombre de lignes et de rangées par feuilles d'anode et de cathode peut être adapté en conséquence. Les dimensions des feuilles anodique et
25 cathodique employées peuvent être modulées en fonction des besoins. Comme montré en figure 2, deux lignes adjacentes sont séparées par des ponts de matière **8**, dont on note **H₈** la hauteur, laquelle est comprise entre 0,05 mm et 5 mm. Deux rangées adjacentes sont séparées par des bandes de matières **9**, dont on note **L₉** la largeur, laquelle est comprise entre 0,05 mm et 5 mm. Ces ponts **8** et bandes **9** de matière des feuilles anodiques et
30 cathodiques confèrent à ces feuilles une rigidité mécanique suffisante pour qu'elles puissent être manipulées aisément.

Les rainures en forme d'échelle **60,61** comprennent des entailles **76,78,86,88** et des fentes en forme de H **70,80**. Ces fentes en forme de H sont traversantes, à savoir qu'elles débouchent sur les faces opposées respectivement supérieures et inférieures de la feuille.

Les fentes en forme de H **70,80** peuvent être réalisées de manière connue en soi, directement sur le substrat plan 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. Ces fentes en forme de H **70,80** peuvent aussi être

5 réalisées sur des substrats plans collecteurs de courant revêtus d'une couche de matériaux d'anode ou de cathode, sur des substrats plans collecteurs de courant préalablement revêtus d'une couche de matériaux d'anode ou de cathode, et revêtues d'une couche d'électrolyte ou d'un séparateur, i.e. sur des feuilles d'anode ou de cathode de manière connue en soi, par exemple par découpe laser (ou ablation laser), par découpe au laser

10 femtoseconde, par microperforation ou par étampage. Les fentes en forme de H **70**, réalisées dans l'ensemble des feuilles cathodiques, sont superposées. Les fentes en forme de H **80**, réalisées dans l'ensemble des feuilles anodiques, sont superposées.

On va maintenant décrire l'une des rainures en forme d'échelle **60** comme illustré en figure 3, étant entendu que l'ensemble des découpes de la feuille anodique est identique. Chaque

15 rainure en forme d'échelle **60** comprend une fente **80** traversante en forme de H formée par deux cavités principales verticales et parallèles **82**, lesquelles sont reliées dans leur partie supérieure par un canal horizontal **84**, de préférence perpendiculaire aux deux cavités principales verticales et parallèles **82**. Chaque rainure comprend en outre, en partie inférieure de la fente en forme de H, une première tranchée anodique horizontale **86** et une

20 deuxième tranchée anodique horizontale **88**. Comme le montre notamment la figure 3, les première **86** et deuxième **88** tranchées anodiques horizontales sont réalisées de part et d'autre de la feuille anodique **2** de sorte que la deuxième tranchée anodique horizontale **88** est réalisée dans le prolongement de la première tranchée anodique horizontale **86**.

Les première et deuxième tranchées anodiques **86,88** sont libres de tout matériau d'électrolyte ou de séparateur et de tout matériau d'anode. Ces première et deuxième

25 tranchées anodiques **86,88** sont réalisées de manière à enlever tout matériau d'électrolyte ou de séparateur, et tout matériau d'anode, et à laisser au moins une partie du substrat plan collecteur de courant anodique définissant une zone de continuité du substrat plan collecteur de courant anodique. Les première et deuxième tranchées anodiques **86,88**

30 peuvent être réalisées par ablation laser.

Les première et deuxième tranchées anodiques **86,88** s'étendent entre les bords longitudinaux **1011,1012** opposés de la batterie selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie de manière à relier les deux cavités principales verticales et parallèles **82** de chaque fente **80**, appelée ci-après fente anodique.

Le canal horizontal **84** d'une part et les première et deuxième tranchées anodiques horizontales **86,88** d'autre part, sont mutuellement symétriques en vue de dessus, par rapport à l'axe médian des H, lequel est noté **XH**.

La feuille anodique **2** obtenue après la réalisation de fentes **80** et d'entailles formant les première et deuxième tranchées anodiques horizontales **86,88** est appelée ci-après feuille anodique entaillée **2e**.

On note

- **H₈₀** la hauteur de l'ensemble de la fente, qui est typiquement comprise entre 0,25 mm et 10 mm ;
- 10 • **L₈₀** sa largeur, qui est typiquement comprise entre 0,25 mm et 10 mm ;
- **L₈₂** la largeur de chaque cavité principale verticale, qui est typiquement comprise entre 0,02 mm et 5 mm ;
- **H₈₄** la hauteur de chaque canal, qui est typiquement comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm ;
- **D₈₄** la différence de hauteurs entre le sommet des cavités principales verticales et parallèles **82** et le sommet du canal horizontal **84**, qui est typiquement comprise entre 15 0,05 mm et 2 mm ;
- **H₈₆** la hauteur de chaque première tranchée anodique horizontale **86**, qui est typiquement comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm ;
- **D₈₆** la différence de hauteurs entre la base des cavités principales verticales et parallèles **82** et la base de chaque première tranchée anodique horizontale **86**, qui est typiquement 20 comprise entre 0,05 mm et 2 mm.

Chaque feuille cathodique **5** est également pourvue de différentes lignes et rangées de rainures en forme d'échelle **61**, prévues en même nombre que les rainures en forme d'échelle **60**. Comme le montre notamment la figure 4, la structure de chaque rainure en 25 forme d'échelle **61** est sensiblement analogue à celle de chaque rainure en forme d'échelle **60**, à savoir que cette rainure en forme d'échelle **61** comprend deux cavités principales cathodiques verticales **72**, reliées par un canal horizontal **74**. Les dimensions des cavités principales cathodiques verticales **72** sont identiques à celles des cavités principales anodiques verticales **82** et, de manière analogue, les dimensions des canaux **74** sont 30 analogues à celles des canaux **84**.

En vue de dessus, les cavités principales cathodiques verticales **72** sont superposées avec celles **82**. Les seules différences, entre les rainures en forme d'échelle **60** et **61**, résident dans le fait que les canaux **74** sont prévus en partie inférieure et que les première et deuxième tranchées cathodiques horizontales **76,78** sont prévues en partie supérieure. Les

première **76** et deuxième tranchées cathodiques horizontales **78** sont réalisées de part et d'autre de la feuille cathodique **5** de sorte que la deuxième tranchée cathodique horizontale **78** soit réalisée dans le prolongement de la première tranchée cathodique horizontale **76**.

Les première et deuxième tranchées cathodiques **76,78** sont libres de tout matériau d'électrolyte ou de séparateur et de tout matériau de cathode. Ces première et deuxième tranchées cathodiques **76,78** sont réalisées de manière à enlever tout matériau d'électrolyte ou de séparateur, et tout matériau de cathode, et à laisser au moins une partie du substrat collecteur de courant cathodique définissant une zone de continuité du substrat plan collecteur de courant cathodique. Les première et deuxième tranchées cathodiques **76,78** peuvent être réalisées par ablation laser de façon connue en soi. Les première et deuxième tranchées cathodiques **76,78** s'étendent entre les bords longitudinaux **1011,1012** opposés de la batterie selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie de manière à relier les deux cavités principales verticales et parallèles **72** de chaque fente **70**, appelée ci-après fente cathodique **70**.

Comme le montre notamment la figure 4, le canal horizontal **74** d'une part et les première et deuxième tranchées cathodiques horizontales **76,78** d'autre part, sont mutuellement symétriques en vue de dessus, par rapport à l'axe médian des H, lequel est noté XH.

La feuille cathodique **5** obtenue après la réalisation de fentes **70** et d'entailles formant les première et deuxième tranchées cathodiques horizontales **76,78** est appelée ci-après feuille cathodique entaillée **5e**.

On réalise ensuite un empilement I alterné d'au moins une feuille anodique entaillée **2e** et d'au moins une feuille cathodique entaillée **5e**, de manière à obtenir successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique **10**, au moins une couche d'anode **20**, au moins une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, au moins une couche de cathode **50**, et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique **40**.

L'empilement I alterné est réalisé de sorte que :

- pour chaque fente anodique **80** d'au moins une feuille anodique entaillée **2e**, les tranchées anodiques **86, 88** d'au moins la feuille anodique entaillée **2e**, sont disposées dans le prolongement du canal horizontal cathodique **74** de la fente cathodique **70** de la feuille adjacente cathodique entaillée **5e** selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie, et de sorte que,
- pour chaque fente cathodique **70** d'au moins une feuille cathodique entaillée **5e**, les tranchées cathodiques **76, 78**, d'au moins la feuille cathodique entaillée **5e**, sont disposées dans le prolongement du canal horizontal anodique **84** de la

fente anodique **80**, de la feuille adjacente anodique entaillée **2e** selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie.

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 rainures de la figure 5, chaque découpe est réalisée entre un canal respectif et l'extrémité en regard de la fente en forme de H. Dans ces conditions, en référence à cette figure 6, à titre d'exemples non limitatifs, on note :

- la distance D_{85} entre la découpe D_n et la face en regard du canal horizontal **84** est comprise entre 0,05 mm et 2 mm, étant entendu que cette distance D_{85} est inférieure ou égale à D_{84} ;
- la distance D_{87} entre la découpe D'_n et la face en regard de la première tranchée anodique horizontale **86**, comprise entre 0,05 mm et 2 mm, étant entendu que cette distance D_{87} est inférieure ou égale à D_{86} .

En référence à nouveau à la figure 5, chaque batterie finale est délimitée, en haut et en bas, par les deux découpes D_n et D'_n et, à droite et à gauche, par les faces intérieures des cavités principales verticales et parallèles.

Sur cette figure 5 on a représenté de manière hachurée les batteries **1000** une fois découpées selon les lignes de découpe D_n et D'_n . De plus, on a illustré avec un remplissage 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.

Les figures 7 et 8 sont des vues en coupe, prises selon la ligne de coupe VII-VII qui s'étend au travers de la batterie. Sur la figure 7, seul l'agencement d'une feuille anodique entaillée

2e et d'une feuille cathodique entaillée **5e**, l'une par rapport à l'autre, est représenté. Sur la figure 8, l'agencement alterné de deux feuilles anodiques entaillées **2e** et de deux feuilles cathodiques entaillées **5e** est représenté. Sur la même figure, on a référencé les zones **90**, illustrées également en figure 5, qui correspondent à des chutes de matière, notamment des chutes de matériaux d'anodes, de cathodes et d'électrolyte ou de séparateur.

La feuille anodique entaillée **2e** comprend un substrat plan collecteur de courant anodique **10** revêtu d'une couche d'anode **20**, elle-même optionnellement revêtue d'une couche d'électrolyte **30** ou d'un séparateur **31** imprégné d'un électrolyte. Chaque feuille cathodique entaillée **5e** comprend un substrat plan 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'un séparateur **31** imprégné d'un électrolyte. Afin d'éviter tout contact électrique 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** ou d'un séparateur **31** imprégné ou ultérieurement imprégné d'un électrolyte entre la couche d'anode **20** et la couche de cathode **50**. Sur la figure 7 est représentée une cellule élémentaire **100** comprenant successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique **10**, au moins une couche d'anode **20**, au moins une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, au moins une couche de cathode **50**, et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique **40**.

Chaque cellule élémentaire **100** comprend un corps primaire **111**, un corps secondaire **112** et un corps tertiaire **113**. Le corps secondaire **112** et le corps tertiaire **113** sont disposés de part et d'autres du corps primaire **111**. Chacun des corps primaire **111**, secondaire **112** et tertiaire **113** comprend successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique **10**, au moins une couche d'anode **20**, au moins une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, au moins une couche de cathode **50**, et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique **40**. La succession des différentes couches est la même pour le corps primaire **111**, secondaire **112** et tertiaire **113** ; la couche d'anode du corps primaire est en regard de la couche d'anode du corps secondaire et de celle du corps tertiaire, la couche de cathode du corps primaire est en regard de la couche de cathode du corps secondaire et de celle du corps tertiaire, et la couche d'électrolyte ou de séparateur du corps primaire est en regard de la couche d'électrolyte ou de séparateur du corps secondaire et de celle du corps tertiaire. Le corps secondaire **112** est séparé du corps primaire **111** par une échancrure **120** libre de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant anodique, de sorte que ladite échancrure s'étend d'un

bord longitudinal **1011** au bord longitudinal opposé de la batterie **1012** selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie.

Le corps tertiaire **113** est séparé du corps primaire **111** par un évidement **130** libre de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant cathodique, de sorte que l'évidement **130** s'étend d'un bord longitudinal **1011** au bord longitudinal opposé de la batterie **1012** selon une direction perpendiculaire au plan principale de la batterie.

Par ailleurs, chaque feuille anodique entaillée, respectivement cathodique entaillée présente des rainures en forme d'échelle. Chaque rainure **60,61** comprend un canal horizontal **84,74**, une première **86,76** et une deuxième tranchée horizontale **88,78** comme celles représentées en figure 7. Les première **86,76** et deuxième tranchées horizontales **88,78** sont réalisées de part et d'autre des feuilles anodique/cathodique de sorte que la deuxième tranchée horizontale **88,78** soit réalisée dans le prolongement de la première tranchée horizontale **86,76**. Par ailleurs chaque feuille anodique entaillée **2e** et cathodique entaillée **5e** sont agencées de manière à ce que :

- les première **86** et deuxième tranchées anodiques horizontales **88** soient disposées dans le prolongement du canal horizontal cathodique **74** de la rainure en forme d'échelle **61** présente sur la feuille adjacente cathodique entaillée **5e**, et en ce que
- les première **76** et deuxième tranchées cathodiques horizontales **78** soient disposées dans le prolongement du canal horizontal anodique **84** de la rainure en forme d'échelle **60** présente sur la feuille adjacente anodique entaillée **2e**.

Il s'agit là d'une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, puisque cela permet d'éviter la présence de court-circuit au niveau des bords latéraux 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 vue de coupe, les cavités principales cathodiques verticales **72** sont superposés avec celles **82**. Les seules différences, entre les rainures en forme d'échelle **60** et **61**, réside dans le fait que les canaux **74** sont prévus en partie inférieure et que les première et deuxième tranchées cathodiques horizontales **76,78** sont prévus en partie supérieure. Les première **76** et deuxième **78** tranchées cathodiques horizontales sont réalisées de part et d'autre de la feuille cathodique **5** de sorte que la deuxième tranchée cathodique horizontale **78** soit réalisée dans le prolongement de la première tranchée cathodique horizontale **76**.

Les première et deuxième tranchées cathodiques **76,78** sont libres de tout matériau d'électrolyte ou de séparateur et de tout matériau de cathode. Les première et deuxième tranchées cathodiques **76,78** s'étendent entre les bords longitudinaux **1011,1012** opposés de la batterie selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie de manière
5 à relier les deux cavités principales verticales et parallèles **72** de chaque fente **70**, appelée ci-après fente cathodique **70**.

Comme le montre notamment la figure 4, le canal horizontal **74** d'une part et les première et deuxième tranchées cathodiques horizontales **76,78** d'autre part, sont mutuellement symétriques en vue de dessus, par rapport à l'axe médian des H, lequel est noté **XH**.

10 La feuille cathodique **5** obtenue après la réalisation de fentes **70** et d'entailles formant les première et deuxième tranchées cathodiques horizontales **76,78** est appelée ci-après feuille cathodique entaillée **5e**.

Sur les figures 7 et 8 on note que la découpe D'n est réalisée à la fois au travers de la feuille anodique entaillée et de la feuille cathodique entaillée, à savoir à une distance **D₇₅** des canaux des rainures en forme d'échelle **61** présente sur les feuilles cathodiques entaillées
15 **5e**, qui correspond aussi à la distance **D₈₇** des premières **86** et deuxièmes tranchées anodiques horizontales **88** des rainures en forme d'échelle **60** présente sur les feuilles anodiques entaillées **2e**. La découpe Dn est réalisée à la fois au travers de la feuille anodique entaillée et de la feuille cathodique entaillée, à savoir à une distance **D₈₅** des
20 canaux des rainures en forme d'échelle **60** présente sur les feuilles anodiques entaillées **2e**, qui correspond aussi à la distance **D₇₇** des premières **76** et deuxièmes tranchées cathodiques horizontales **78** des rainures en forme d'échelle **61** présentes sur les feuilles cathodiques entaillées **5e**. Le fait de réaliser des découpes Dn et D'n au travers de la feuille anodique entaillée et de la feuille cathodique entaillée est une caractéristique
25 particulièrement avantageuse de l'invention, puisque cela permet d'améliorer la qualité de la découpe au regard de l'art antérieur, comme cela est explicité en plus grand détail ci-après.

La demande WO 2016/001584 décrit des empilements de plusieurs cellules élémentaires, constituées de feuilles anodiques **2'** et cathodiques **5'** empilées de manière alternée et
30 décalée latéralement (cf. figure 13), 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
35 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 la demande WO 2016/001584, lors de l'encapsulation, la couche d'encapsulation remplit les interstices de l'empilement des
5 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 **2095** lors de la découpe ultérieure.

Selon la présente invention, ce risque est supprimé avec l'emploi de feuilles portant des rainures en forme d'échelle, car la structure mécanique thermopressée en forme d'échelle
10 est extrêmement rigide aux abords de la découpe, du fait de la superposition alternée de feuilles cathodique et anodique. L'utilisation d'une telle structure rigide, avec l'emploi de feuilles portant des découpes en forme d'échelle, 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.

15 Selon l'invention, les découpes D'_n et D_n sont effectuées au travers des feuilles anodiques entaillées **2e** et des feuilles cathodiques entaillées **5e** de densité comparable induisant une découpe propre de meilleure qualité. De plus la présence d'échancrures **120** libres de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant anodique ainsi que la présence d'évidements **130** libres de
20 tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant cathodique, empêche tout risque de court-circuit et de courant de fuite.

En référence à la figure 9, on a illustré de manière éclatée l'une **1000** des batteries conformes à l'invention comprenant, à titre d'exemple non limitatif, trois cellules
25 élémentaires **100**, **100'**, **100''**. Chaque cellule élémentaire **100** comprend un corps primaire **111**, un corps secondaire **112** et un corps tertiaire **113**. Le corps secondaire **112** et le corps tertiaire **113** sont disposés de part et d'autres du corps primaire **111**. Chacun des corps primaire **111**, secondaire **112** et tertiaire **113** comprend successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique **10**, au moins une couche d'anode **20**, au
30 moins une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, au moins une couche de cathode **50**, et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique **40**. Le corps secondaire **112** est séparé du corps primaire **111** par une échancrure **120** libre de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant anodique. L'échancrure

120 comprend soit une partie du canal **84** ci-après **84''** et la première tranchée cathodique **76**, soit une partie du canal **84** ci-après **84'** et la deuxième tranchée cathodique **78** comme représenté en figure 9. Les parties **84'** et **84''** du canal horizontal **84** sont symétriques par rapport à l'axe médian AA du substrat collecteur de courant anodique. L'extrémité borgne de l'échancrure **120** de chaque cellule élémentaire définit une zone de continuité du collecteur de courant cathodique, de manière à permettre la prise de contact électrique au niveau de la zone de connexion cathodique **1006**.

De manière analogue, le corps tertiaire **113** est séparé du corps primaire **111** par un évidement **130** libre de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant cathodique. L'évidement **130** comprend soit une partie du canal **74** ci-après **74''** et la première tranchée anodique **86**, soit une partie du canal **74** ci-après **74'** et la deuxième tranchée anodique **88** comme représenté en figure 9. Les parties **74'** et **74''** du canal horizontal **74** sont symétriques par rapport à l'axe médian CC du substrat collecteur de courant cathodique. L'extrémité borgne de l'évidement **130** de chaque cellule élémentaire définit une zone de continuité du collecteur de courant anodique, de manière à permettre la prise de contact électrique au niveau de la zone de connexion anodique **1002**.

Comme illustré en figure 9, chaque cellule élémentaire comprend des faces respectivement supérieures et inférieures, chaque face étant parallèle au plan principal de la batterie. On note que, chaque cellule élémentaire comprend un évidement **130** et une échancrure **120**. L'évidement **130** est débouchant sur une première face, en l'occurrence inférieure de la cellule élémentaire **100** et possède une extrémité borgne qui laisse une zone de continuité du substrat plan collecteur de courant anodique **10**. L'échancrure **120** est débouchante sur une deuxième face, en l'occurrence supérieure de la cellule élémentaire **100** et possède une extrémité borgne qui laisse une zone de continuité du substrat plan collecteur de courant cathodique **40**. Les zones de connexion anodique **1002** et les zones de connexion cathodique **1006** sont de préférence latéralement opposées.

Comme illustré en figure 9, l'évidement **130** d'une cellule élémentaire **100** s'étend dans le prolongement de l'évidement **130** ménagé dans la cellule élémentaire **100'** adjacente située en-dessous de la cellule élémentaire **100**, selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie. De manière analogue, l'échancrure **120** d'une cellule élémentaire **100'** s'étend dans le prolongement de l'échancrure **120** ménagé dans la cellule élémentaire adjacente **100''** située en-dessous de la cellule élémentaire **100'**, selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie.

Comme illustré en figure 9, le substrat plan collecteur de courant anodique **10** d'une cellule élémentaire **100'** peut être accolé au substrat plan collecteur de courant anodique **10** de la cellule élémentaire adjacente **100''**. De manière analogue, le substrat plan collecteur de courant cathodique **40** d'une cellule élémentaire **100** peut être accolé au substrat plan collecteur de courant cathodique **40** de la cellule élémentaire adjacente **100'**.

Dans un mode de réalisation avantageux, le substrat plan collecteur de courant anodique **10**, respectivement cathodique **40**, peut servir de collecteur de courant pour deux cellules élémentaires adjacentes, comme cela est notamment illustré en figure 7. Comme explicité précédemment, les deux faces du substrat plan 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 de séparateur **31**, disposé(e) sur la couche d'anode **20**, respectivement sur la couche de cathode **50**. Ceci permet d'accroître le rendement de production des batteries. En référence désormais aux figures 10 à 12, on a illustré l'une **1000** des batteries conformes à l'invention. On note **1001** et **1005** les bords latéraux, **1011** et **1012** les bords longitudinaux de cette batterie.

Chaque batterie comprend au moins une cellule élémentaire **100**. La cellule élémentaire **100** comprend un corps primaire **111**, un corps secondaire **112** et un corps tertiaire **113**. Le corps secondaire **112** et le corps tertiaire **113** sont disposés de part et d'autres du corps primaire **111**. Chacun des corps primaire **111**, secondaire **112** et tertiaire **113** comprend successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique **10**, au moins une couche d'anode **20**, au moins une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, au moins une couche de cathode **50**, et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique **40**. Le corps secondaire **112** est séparé du corps primaire **111** par une échancrure **120** libre de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant anodique. L'échancrure **120**, dont la largeur L_{120} correspond à celle du canal **84** de la fente **80** (ou de la rainure en forme d'échelle **60**) décrite ci-dessus, s'étend d'un bord longitudinal **1011** au bord longitudinal opposé de la batterie **1012** selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie. L'échancrure **120** comprend soit une partie **84''** du canal **84** et la première tranchée cathodique **76**, soit une partie **84'** du canal **84** et la deuxième tranchée cathodique **78** comme représenté en figure 7.

Le corps tertiaire **113** est séparé du corps primaire **111** par un évidement **130** libre de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de

substrat collecteur de courant cathodique. L'évidement **130**, dont la largeur L_{130} correspond à celle du canal **74** de la fente **70** (ou de la rainure en forme d'échelle **61**) décrite ci-dessus, s'étend d'un bord longitudinal **1011** au bord longitudinal opposé de la batterie **1012** selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie. L'évidement **130** comprend
5 soit une partie **74''** du canal **74** et la première tranchée anodique **86**, soit une partie **74'** du canal **74** et la deuxième tranchée anodique **88** comme représenté en figure 7.

La largeur du corps secondaire **112** correspond à la distance D_{85}/D_{77} , telles que décrites en référence aux figures 6, 7 ou 8. La largeur du corps tertiaire **113** correspond à la distance D_{87}/D_{75} , telles que décrites en référence aux figures 6, 7 ou 8. Dans un mode de réalisation
10 avantageux, les distances D_{85}/D_{77} et D_{87}/D_{75} sont égales.

La structure singulière de la batterie selon l'invention permet d'éviter la présence de court-circuit au niveau des bords latéraux 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 effet, la présence d'échancrures **120** et d'évidement **130** dans
15 la batterie selon l'invention évite la fuite latérale des ions lithium et facilite l'équilibrage de la batterie ; les surfaces efficaces des électrodes en contact les unes des autres, et délimitées par les échancrures **120** et les évidements **130** sont sensiblement identiques.

Les surfaces efficaces des électrodes de chaque cellule élémentaire selon l'invention sont les unes en face des autres de sorte que l'échancrure **120** et l'évidement **130** délimitent les
20 bords latéraux du corps primaire **111** de chaque cellule élémentaire. L'extrémité borgne de l'évidement **130** de chaque cellule élémentaire définit une zone de continuité du collecteur de courant anodique, de manière à permettre la prise de contact électrique au niveau de la zone de connexion anodique **1002**. L'extrémité borgne de l'échancrure **120** de chaque cellule élémentaire définit une zone de continuité du collecteur de courant cathodique, de
25 manière à permettre la prise de contact électrique au niveau de la zone de connexion cathodique **1006**. La présence d'une échancrure **120** et d'un évidement **130** au sein de la cellule élémentaire permet d'éviter la présence de court-circuit au niveau des bords latéraux de la batterie, d'éviter la présence de courant de fuite, et de faciliter les prises de contact électrique, et ce, uniquement au niveau des zones de connexion anodiques **1002** et
30 cathodique **1006**.

Avantageusement, après la réalisation de l'empilement des feuilles anodiques entaillées **2e** et cathodiques entaillées **5e**, 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 anodiques entaillées et cathodiques entaillées à assembler est réalisée à une pression comprise entre 10 MPa et 100 MPa, de préférence entre 20 MPa et 50 MPa. Dans un mode de réalisation particulier, après la réalisation de l'empilement et l'étape de traitement thermique de ce dernier, on encapsule 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 anodiques entaillées et cathodiques entaillées 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 dense et isolante, 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 anodiques entaillées **2e** et cathodiques entaillées **5e** ; et
- 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.

Typiquement, la première couche de recouvrement 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'hexaméthylsiloxane (HMDSO)), les résines epoxy, le polyimide, le polyamide, le poly-para-xylylène (appelé aussi poly(p-xylylène), plus connu sous le terme parylène), et/ou un mélange de ceux-ci. 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 .

Différentes variantes de parylène peuvent être utilisées. 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 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

5 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,

10 de préférence inorganique. Elle est déposée par dépôt de couches atomiques (ALD), de manière à 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

15 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 chimiques différentes aura une croissance inhomogène, pouvant engendrer une perte d'intégrité de cette couche de protection.

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

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

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 Al_2O_3 , de

30 nitrure, de phosphates, d'oxynitrure, ou de siloxane. Cette deuxième couche de recouvrement présente, de préférence, une épaisseur comprise entre 10 nm et 50 nm.

Cette deuxième couche de recouvrement déposée par ALD 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 ainsi la durée de vie de la batterie encapsulée.

L'empilement des feuilles anodiques entaillées **2e** et cathodiques entaillées **5e** ainsi
5 encapsulé dans cette séquence du système d'encapsulation, de préférence dans z séquences, 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
10 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 μm à 15 μm ; une telle gamme d'épaisseur permet de protéger la batterie contre
15 l'endommagement mécanique.

Cette dernière couche de recouvrement est de préférence à base de résine époxy, de polyéthylène naphthalate (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.

20 L'empilement de feuilles anodiques entaillées **2e** et cathodiques entaillées **5e** ainsi enrobée est ensuite découpée par tout moyen approprié selon les lignes de coupes **D'n** et **Dn** de manière à mettre à nu les zones de connexions anodiques et cathodiques et à obtenir des batteries unitaires.

Des terminaisons (contacts électriques) sont ajoutées au niveau où les zones de
25 connexions cathodiques, respectivement anodiques 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 terminaisons sont disposées sur au moins la zone de connexion cathodique et sur au moins la zone de connexion anodique, de préférence sur la face de l'empilement enrobé et découpé comprenant au
30 moins la zone de connexion cathodique et sur la face de l'empilement enrobé et découpé comprenant au moins la zone de connexion anodique.

Les zones de 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 zones de connexions cathodique et anodique, d'un premier empilement de couches comprenant successivement une première couche d'un matériau chargé en graphite, de préférence en résine époxy chargée de graphite, et une deuxième couche comprenant du cuivre
5 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.

En fonction de l'utilisation finale de la batterie, les terminaisons peuvent comprendre, de
10 manière additionnelle, un deuxième empilement de couches disposé sur le premier empilement des terminaisons comprenant successivement une première couche d'un alliage étain-zinc déposée, 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 d'étain pur déposée par électrodéposition ou une deuxième couche comprenant un alliage
15 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,
20 seules les connexions cathodiques sortent sur une extrémité, et les connexions anodiques sont disponibles sur une autre extrémité.

Le procédé selon l'invention est particulièrement adapté à la fabrication de batteries 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.

25 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 :

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

L'épaisseur du séparateur est avantageusement inférieure à 10 μm , et préférentiellement compris entre 2,5 μm et 4,5 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
5 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.

REVENDICATIONS

1. Batterie (1000) comprenant au moins une cellule élémentaire (100), ladite cellule élémentaire (100) comprenant successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique (10), au moins une couche d'anode (20), au moins une couche d'un matériau d'électrolyte (30) ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte (31), au moins une couche de cathode (50), et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique (40),
ladite batterie (1000) comprenant des bords longitudinaux (1011, 1012), un premier bord latéral (1001) comprenant au moins une zone de connexion anodique (1002) et un second bord latéral (1005) comprenant au moins une zone de connexion cathodique (1006), lesdites zones de connexion anodique (1002) et cathodique (1006) étant de préférence latéralement opposés, caractérisée en ce que chaque cellule élémentaire (100) comprend un corps primaire (111), un corps secondaire (112) et un corps tertiaire (113), ledit corps secondaire et ledit corps tertiaire étant disposé de part et d'autre dudit corps primaire, étant entendu que chacun des corps primaire (111), secondaire (112) et tertiaire (113) comprend successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique (10), au moins une couche d'anode (20), au moins une couche d'un matériau d'électrolyte (30) ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte (31), au moins une couche de cathode (50), et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique (40),
ledit corps secondaire (112) étant séparé du corps primaire (111) par une échancrure (120) libre de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant anodique, étant entendu que ladite échancrure s'étend d'un bord longitudinal (1011) au bord longitudinal opposé de la batterie (1012) selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie, et
ledit corps tertiaire (113) étant séparé du corps primaire (111) par un évidement (130) libre de tout matériau d'anode, d'électrolyte, de séparateur imprégné d'un électrolyte, de cathode et de substrat collecteur de courant cathodique, étant entendu que ledit évidement (130) s'étend d'un bord longitudinal (1011) au bord longitudinal opposé de la batterie (1012) selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie.
2. Batterie (1000) selon la revendication 1, comprenant une pluralité de cellules élémentaires, caractérisée en ce que toutes les échancrures de chacune des

- cellules élémentaires, sont superposées, selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie, de manière à ce que chaque substrat plan collecteur de courant cathodique collecte le courant cathodique de la cellule élémentaire au travers de la zone de connexion cathodique, et
- 5 que tous les évidements de chacune des cellules élémentaires sont superposés, selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie, de manière à ce que chaque substrat plan collecteur de courant anodique collecte le courant anodique de la cellule élémentaire au travers de la zone de connexion anodique.
- 10 3. Batterie selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce qu'elle 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.
- 15 4. Batterie selon la revendication précédente, caractérisée en ce que 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,

20 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,

25 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 $z \geq 1$.

30 5. Batterie selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la zone de connexion anodique et la zone de connexion cathodique sont recouvertes par des terminaisons.

35 6. Batterie selon la revendication précédente, caractérisée en ce que les terminaisons comprennent :

 - une première couche d'un matériau chargé en graphite, de préférence à base de résine époxy chargée en graphite disposée sur au moins la zone de connexion cathodique et/ou au moins la zone de connexion anodique,

- une seconde couche dense de cuivre métallique disposée sur la première couche du système de terminaison,
 - optionnellement, une troisième couche à base d'un alliage étain-zinc d'étain, disposée sur la deuxième couche,
 - 5 - 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.
7. Batterie selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la largeur de ladite échancrure est comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm.
- 10 8. Batterie selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la largeur dudit évidement est comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm.
- 15 9. Batterie selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la largeur des corps secondaires est comprise entre 0,5 mm et 20 mm.
- 20 10. Batterie selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'il s'agit d'une batterie à ions de lithium.
- 25 11. Procédé de fabrication d'une batterie (1000), ladite batterie comprenant au moins une cellule élémentaire (100), ladite cellule élémentaire (100) comprenant successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique (10), au moins une couche d'anode (20), au moins une couche d'un matériau d'électrolyte (30) ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte (31), au moins une couche de cathode (50), et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique (40), ledit procédé de fabrication comprenant :
- 30 (a) l'approvisionnement d'au moins une feuille de substrat plan collecteur de courant anodique (10) revêtue d'une couche d'anode (20), et optionnellement revêtue d'une couche d'un matériau d'électrolyte (30) ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte (31), appelée ci-après feuille anodique (2), ladite feuille anodique comprenant au moins une fente anodique (80), ladite fente anodique (80) comprenant deux cavités principales verticales anodiques et parallèles (82), lesquelles sont reliées dans leur partie supérieure par un canal horizontal anodique (84),
- 35 sensiblement perpendiculaire aux deux cavités principales anodiques

verticales (82), ces cavités principales verticales anodiques étant destinées à délimiter les bords longitudinaux de la batterie,

- 5 (b) l'approvisionnement d'au moins une feuille de substrat plan collecteur de courant cathodique (40) revêtue d'une couche de cathode (50), et optionnellement revêtue d'une couche d'un matériau d'électrolyte (30) ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte (31), appelée ci-après feuille cathodique (5), ladite feuille cathodique comprenant au moins une fente cathodique (70), ladite fente cathodique comprenant deux cavités principales verticales cathodiques et parallèles (72), lesquelles sont reliées dans leur partie supérieure par un canal horizontal cathodique (74), sensiblement perpendiculaire aux deux cavités principales verticales cathodiques (72), ces cavités principales verticales cathodiques étant destinées à délimiter les bords longitudinaux de la batterie,
- 10 (c) la réalisation d'une première et d'une deuxième entailles, au voisinage de chaque fente anodique (80), respectivement cathodique (70) d'au moins la feuille approvisionnée à l'étape a), respectivement à l'étape b), de manière à former des tranchées anodiques (86, 88), respectivement des tranchées cathodiques (76, 78), selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie et selon une direction parallèle au canal horizontal anodique (84), de la fente anodique (80), respectivement au canal horizontal cathodique (74) de la fente cathodique (70), étant entendu que
- 15
- les première et deuxième entailles sont réalisées de part et d'autre de la feuille anodique (2), respectivement cathodique (5),
 - la deuxième entaille est réalisée dans le prolongement de la première entaille, et
 - que les tranchées anodiques (86, 88), respectivement les tranchées cathodiques (76, 78), obtenues à partir des première et deuxième entailles sont libres de tout matériau d'électrolyte ou de séparateur imprégné d'un électrolyte et de tout matériau d'anode, respectivement sont libres de tout matériau d'électrolyte ou de séparateur imprégné d'un électrolyte et de tout matériau de cathode, et
 - que lesdites tranchées anodiques (86, 88), respectivement les tranchées cathodiques (76, 78) s'étendent entre les bords longitudinaux (1011, 1012) opposés de la batterie selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie de manière à relier les
- 20
- 25
- 30
- 35

- deux cavités principales verticales anodiques et parallèles de chaque fente anodique (80), respectivement à relier les deux cavités principales verticales cathodiques et parallèles de chaque fente cathodique (70), la feuille obtenue après la réalisation de ces entaillles étant appelée ci-après feuille anodique entaillée (2e), respectivement feuille cathodique entaillée (5e),
- 5
- (d) la réalisation d'un empilement (I) alterné d'au moins une feuille anodique entaillée (2e) et d'au moins une feuille cathodique entaillée (5e), de manière à obtenir successivement au moins un substrat plan collecteur de courant anodique (10), au moins une couche d'anode (20), au moins une couche d'un matériau d'électrolyte (30) ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte (31), au moins une couche de cathode (50), et au moins un substrat plan collecteur de courant cathodique (40) ; de manière à ce que, pour chaque
- 10
- fente anodique (80) d'au moins une feuille anodique entaillée (2e), respectivement pour chaque fente cathodique (70) d'au moins une feuille cathodique entaillée (5e), les tranchées anodiques (86, 88) d'au moins la feuille anodique entaillée, respectivement les tranchées cathodiques (76, 78), d'au moins la feuille cathodique entaillée (5e), sont disposées dans le prolongement du canal horizontal cathodique (74) de la fente cathodique
- 15
- (70) de la feuille adjacente cathodique entaillée (5e), respectivement du canal horizontal anodique (84) de la fente anodique (80), de la feuille adjacente anodique entaillée (2e) selon une direction perpendiculaire au plan principal de la batterie,
- 20
- (e) la réalisation d'un traitement thermique et/ou d'une compression mécanique de l'empilement de feuilles alternées obtenu à l'étape d), de manière à former un empilement consolidé,
- 25
- (f) la réalisation de deux découpes (Dn, D'n) s'étendant au moins partiellement à l'intérieur de ladite fente anodique (80), respectivement cathodique (70), selon un plan parallèle au canal horizontal anodique (84), respectivement cathodique (74), la première découpe s'étendant entre le canal horizontal anodique (84) de la fente anodique (80) et l'extrémité en regard des bords longitudinaux, alors que la seconde découpe s'étend entre le canal horizontal cathodique (74) de la fente cathodique (70) et l'extrémité en regard des bords longitudinaux, de manière à former un empilement découpé mettant à nu au moins les zones de connexion anodique et
- 30
- 35
- cathodique.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'on réalise, après l'étape (e), une étape (g) d'encapsulation de l'empilement consolidé, 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
 - 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 $z \geq 1$.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 ou 12, caractérisé en ce qu'on réalise après l'étape (f), les terminaisons de la batterie en déposant successivement sur au moins les zones de connexion anodique et cathodique :
- 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 du système de terminaison,
 - 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.
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, caractérisé en ce que les deux entailles réalisées à l'étape (d) formant des tranchées (76, 78, 86, 88) sont effectuées par ablation laser.
15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, caractérisé en ce qu'on réalise chaque découpe par laser.
16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, caractérisée en ce que chaque cellule élémentaire définit sur une première face, une zone de

continuité du substrat plan collecteur de courant anodique et une échancrure (120) débouchante, et sur la face opposée, une zone de continuité du substrat plan collecteur de courant cathodique et un évidement (130) débouchant.

- 5 17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 16, caractérisée en ce que la zone de continuité du substrat plan collecteur de courant anodique est située en regard de l'échancrure (120), et la zone de continuité du substrat plan collecteur de courant cathodique est située en regard de l'évidement (130) selon une direction perpendiculaire au plan de la batterie.
- 10 18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 17, caractérisée en ce que :
- le substrat plan collecteur de courant anodique est le substrat collecteur de courant anodique de deux cellules élémentaires adjacentes, et en ce que
 - 15 ○ le substrat plan collecteur de courant cathodique est le substrat collecteur de courant cathodique de deux cellules élémentaires adjacentes. ...