

⑤④ BANC DE CARACTERISATION MECANIQUE D'OBJETS MINCES.

②② Date de dépôt : 20.12.19.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement Public — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 25.06.21 Bulletin 21/25.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 10.12.21 Bulletin 21/49.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : MATHIEU Benoit, CHANDESRIS
Marion, GILLIA Olivier, LEYS Côte-Emmanuel et
MARIAGE Nicolas.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement Public.

⑦④ Mandataire(s) : BREVALEX.



Description

Titre de l'invention : BANC DE CARACTERISATION MECANIQUE D'OBJETS MINCES

[0001] **DOMAINE TECHNIQUE ET ETAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

[0002] La présente invention se rapporte à un banc de caractérisation mécanique d'objets minces, en particulier à un banc de caractérisation des propriétés mécaniques des cellules de batteries et plus particulièrement des électrodes négatives des batteries électriques, par exemple pour caractériser leur gonflement/dégonflement sous charge et décharge électrique.

[0003] Les électrodes négatives des batteries au Lithium-Ion à base de graphite et silicium connaissent une variation d'épaisseur très importante, de l'ordre d'au moins 10% de l'épaisseur, lors de la charge (gonflement) et de la décharge (dégonflement). Le premier cycle de « formation » de la cellule voit un gonflement du même ordre de grandeur. Par exemple, dans le cas d'une électrode en silicium, l'épaisseur de l'électrode augmente de 20% lors de la formation, puis dégonfle de 10% lors de la première décharge et gagne environ 10% d'épaisseur à la charge suivante.

[0004] Des électrodes négatives contenant du silicium peuvent être utilisées dans les batteries au Lithium-Ion. Or le gonflement du silicium pose plusieurs types de problèmes dont :

- un vieillissement accéléré dû à une sorte de fatigue mécanique de l'électrode,
- un risque de défaillance prématurée, potentiellement par court-circuit interne pouvant résulter d'un écrasement et rupture du séparateur,
- des problèmes de conception de l'emballage de la cellule et du pack de batterie. En effet, une certaine souplesse de l'emballage est à prévoir et les variations de volume sont à prendre en compte dans la conception de l'emballage.

[0005] Il est donc souhaitable de pouvoir caractériser de manière précise le gonflement des électrodes, et plus généralement de la cellule et de la dépendance de ce gonflement au niveau de charge et aux efforts appliqués, afin de pouvoir optimiser les matériaux et la conception des cellules et des emballages de batterie.

[0006] Un banc de caractérisation est décrit dans le document « *Effects of physical constraints on Li cyclability* », D.P. Willkinson et Al, *Journal of Power Sources*, 36(1991) 517-527. Il comporte un bâti, deux montants supportant une presse, un capteur de pression, un capteur de déplacement et un logement pour la cellule dans lequel la presse lui applique un effort vertical. Lors de l'application de l'effort vertical sur la cellule, le bâti se déforme. En outre l'effort est appliqué à toute la cellule et non uniquement aux électrodes. Il en résulte l'application d'une pression inhomogène sur la

cellule. Les mesures sont alors peu précises. De plus, les mesures obtenues ne sont pas caractéristiques uniquement du gonflement de l'électrode négative.

Exposé de l'invention

- [0007] C'est par conséquent un but de la présente invention d'offrir un banc de caractérisation mécanique d'objets minces fiable et précis, par exemple permettant une mesure précise de la variation d'épaisseur sous contrainte d'objets minces, par exemple de cellules de batterie.
- [0008] Le but énoncé ci-dessus est atteint par un banc de caractérisation mécanique d'objets minces comportant un bâti, un équipement mobile, des moyens d'application d'un effort par l'intermédiaire de l'équipage mobile, les moyens d'application étant montés sur des montants fixés au bâti, au moins un capteur de force, au moins un capteur de déplacement pour mesurer la variation d'épaisseur de l'objet mince et une face de compression, qui avec l'équipage mobile applique l'effort de compression à l'objet mince. La face de compression est supportée par le bâti et est conçue avec le bâti pour isoler la face de compression de la déformation du bâti résultant de l'action des montants sur le bâti lors de l'application d'un effort de compression. Ainsi les mesures faites par le capteur de déplacement ne sont pas faussées par la déformation du bâti due à l'action des montants.
- [0009] Avantageusement un évidement est formé dans le bâti autour de la zone où se situe la face de compression, cette zone est relativement épaisse, ce qui permet d'homogénéiser la pression appliquée à l'objet, et évite de transmettre la déformation parasite du bâti à la face de compression.
- [0010] De préférence, la face de compression comporte une partie centrale en saillie délimitant une zone d'application de pression de surface déterminée. La partie centrale présente une surface inférieure ou égale à la zone de l'objet que l'on souhaite caractériser. Grâce à la mise en œuvre de la partie centrale en saillie, l'uniformité de la pression appliquée sur la cellule est deux fois meilleure, pour la même précision de positionnement de la cellule dans le banc de test, qu'en l'absence de la partie centrale en saillie.
- [0011] Avantageusement la force de compression est transmise des moyens d'application de la force à la zone d'application de la force par au moins une liaison de type contact ponctuel, ce qui permet de réduire le rotulage.
- [0012] Dans un exemple de réalisation, les moyens d'application d'un effort vertical comportent au moins un ressort de compression.
- [0013] Dans un autre exemple de réalisation, les moyens d'application d'un effort vertical comportent un motoréducteur électrique, des poulies, au moins un câble et des leviers.
- [0014] Dans un autre exemple de réalisation, les moyens d'application de l'effort vertical

comportent un vérin hydraulique ou pneumatique.

[0015] Dans un autre exemple de réalisation, les moyens d'application de l'effort vertical comportent un vérin mécanique à vis.

[0016] La présente invention a alors pour objet un banc de caractérisation mécanique d'un objet fin par application d'une force de compression selon un axe de compression donné comportant :

- un bâti,
- une première face de compression,
- un équipement mobile qui est mobile le long de l'axe de compression par rapport au bâti et portant une deuxième face de compression en regard de la première face de compression,
- des montants fixés au bâti,
- des moyens d'application d'une force selon l'axe de compression et d'intensité déterminée à l'objet destiné à être situé entre les première et deuxième faces de compression, ladite force étant orthogonale aux première et deuxième faces de compression, les moyens d'application étant fixés auxdits montants,
- au moins un capteur de force interposé entre l'équipage mobile et les moyens d'application d'une force,
- au moins un capteur de déplacement disposé de sorte à mesurer le déplacement entre les première et deuxième faces de compression dans la direction de l'axe de compression.

[0017] En outre, au moins l'une des première et deuxième faces de compression comporte une zone de compression en saillie dont la surface est inférieure ou égale à une partie d'intérêt de l'objet, et le bâti comporte un évidement entourant dans le bâti une zone de bâti de plus grande épaisseur formant un piédestal supportant la première face de compression.

[0018] De préférence, la zone de compression a une surface égale à la surface de la partie d'intérêt de l'objet.

[0019] Par exemple, la première face de compression est portée par une première plaque de compression comportant la zone de compression et une zone de mesure entourant la zone de compression, et au moins un capteur de déplacement est porté par l'équipage mobile et vient en contact avec la zone de mesure.

[0020] Le banc peut comporter par exemple trois capteurs de déplacement répartis autour de l'axe de compression et des moyens configurés pour comparer leurs mesures et détecter un défaut de planéité.

[0021] Le piédestal a avantageusement une section transversale de surface égale à celle de la zone compression.

[0022] De préférence, le piédestal présente une hauteur et/ou l'évidement présente une

largeur telles que la première plaque de compression n'est pas en contact avec le bâti en dehors du piédestal.

- [0023] De préférence, la force de compression est transmise des moyens d'application d'une force aux première et deuxième faces de compression par au moins une liaison de type contact ponctuel. Par exemple, le capteur de force est relié aux moyens d'application de force par une liaison de type contact ponctuel.
- [0024] Par exemple, l'équipage mobile comporte une plaque support de la deuxième face de compression, et le capteur de force est lié à la plaque support par un appui plan, avantageusement un appui plan annulaire.
- [0025] L'équipage mobile comporte avantageusement une plaque d'homogénéisation des contraintes interposée entre le capteur de force et la plaque support.
- [0026] De manière avantageuse, les moyens d'application d'une force comportent des moyens pour modifier l'intensité de la force appliquée.
- [0027] Dans un exemple de réalisation, les moyens d'application d'une force comportent au moins un ressort hélicoïdal d'axe longitudinal aligné ou sensiblement aligné avec la droite passant par le centre de la liaison de type contact ponctuel et le centre de gravité de la zone de compression.
- [0028] Le banc de caractérisation comporte avantageusement des moyens pour régler l'orientation de la direction de la force appliquée par le ressort hélicoïdal, de sorte à aligner la direction avec la droite passant par le centre de la liaison de type contact ponctuel et le centre de gravité de la zone de compression.
- [0029] Dans un exemple de réalisation, les moyens d'application d'une force comportent un motoréducteur pas à pas, au moins une première poulie en prise directe avec l'arbre de sortie du motoréducteur, une deuxième poulie, un câble entre les première et deuxième poulies, au moins un premier levier portant la deuxième poulie, un deuxième levier articulé sur le premier levier, et une tige de compression est prévue entre le deuxième levier et la deuxième face de compression.
- [0030] Le capteur de force peut être disposé entre le deuxième levier et la tige de compression.
- [0031] De préférence, la transmission de la force entre les moyens d'application de la force et la deuxième face de compression a lieu à travers deux liaisons de type contact ponctuel.
- [0032] La tige de compression est avantageusement en contact ponctuel avec le deuxième levier et le capteur de force.
- [0033] Le banc de caractérisation peut comporter des moyens d'alignement des première et deuxième faces de compression.
- [0034] La présente invention a également pour objet une méthode de caractérisation d'un objet fin mettant en œuvre un banc de caractérisation selon l'invention, comportant :

- [0035] - la mise en place de l'objet sur la première face de compression de sorte à aligner la partie d'intérêt avec la zone de compression,
- [0036] - l'application de la deuxième face de compression sur l'objet,
- [0037] - la mesure du déplacement entre les deux faces de compression en fonction d'un effort de compression appliqué.
- [0038] Dans un exemple de réalisation, un stimulus est appliqué de sorte à provoquer une modification du volume de l'objet au cours de la mesure.
- [0039] Par exemple, l'objet fin est une cellule électrochimique de batterie dont la partie d'intérêt est la partie comportant l'empilement formé par l'électrode positive, le séparateur, l'électrode négative et un emballage autour de l'empilement, la méthode comportant, lors des mesures, une étape d'application d'un cycle de charge et/ou de décharge électrique.

Brève description des dessins

- [0040] La présente invention sera mieux comprise sur la base de la description qui va suivre et des dessins en annexe sur lesquels:
- [0041] [fig.1] est une représentation schématique d'un exemple de réalisation d'un banc de caractérisation mécanique d'un objet mince
- [0042] [fig.2] est une vue de détail du bâti du banc de la figure 1 au niveau de la zone d'application de la force,
- [0043] [fig.3] est une vue de détail du bâti d'un autre exemple de banc de caractérisation au niveau de la zone d'application de la force,
- [0044] [fig.4] est une vue de détail du bâti d'un autre exemple de banc de caractérisation au niveau de la zone d'application de la force,
- [0045] [fig.5] est une vue de détail de l'équipage mobile du banc de la figure 1,
- [0046] [fig.6] est une représentation schématique d'une cellule que l'on souhaite caractériser avec le banc,
- [0047] [fig.7] est une représentation schématique d'une méthode de centrage de la cellule sur la première plaque de compression,
- [0048] [fig.8] est une représentation schématique d'un autre exemple de banc de caractérisation mécanique.
- [0049] **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**
- [0050] Le banc de caractérisation mécanique selon l'invention va être décrit plus particulièrement pour la mesure du gonflement sous contrainte de cellules pour batterie, plus particulièrement des électrodes négatives. Mais il sera compris que le banc de caractérisation sous contrainte s'applique à tout autre objet mince et pour caractériser d'autres propriétés du l'objet par exemple le module d'Young.
- [0051] On entend par « objet mince » un objet s'étendant principalement dans un plan et

dont les dimensions les plus importantes sont dans ce plan. L'objet peut comporter un seul élément ou couche, ou d'un empilement de plusieurs éléments ou de plusieurs couches de nature identique, similaire ou différente. Un ou plusieurs de ces éléments peuvent réagir à un stimulus ou plusieurs stimuli et modifier le volume de l'objet dans une direction transversale au plan de l'empilement. Le banc permet de suivre cette variation de volume.

[0052] Sur la figure 6, on peut voir une représentation schématique d'une cellule qui est un objet mince adapté à une caractérisation par le banc selon l'invention. Elle comporte une électrode positive E_p , une électrode négative E_n , un séparateur S et l'emballage EB entourant les électrodes séparées par le séparateur.

[0053] On désignera par « épaisseur nominale » No l'épaisseur de l'empilement formé par l'électrode positive, l'électrode négative, le séparateur et l'emballage.

[0054] La section d'épaisseur nominale est la partie de la cellule présentant l'épaisseur nominale. Elle présente une surface égale à celle de l'élément de la cellule présentant la plus petite surface, généralement il s'agit de la surface de l'électrode positive de façon à garantir le bon fonctionnement électrochimique.

[0055] Dans le cas de cellules électrochimiques, on cherche à caractériser la section d'épaisseur nominale de manière fiable et précise.

[0056] Dans le cas d'une cellule de batterie, le stimulus est la charge et/ou décharge électrique.

[0057] Sur la figure 1, on peut voir une représentation schématique d'un exemple de réalisation de banc de caractérisation selon l'invention.

[0058] Le banc de caractérisation comporte un bâti 2 formant une base pour le banc, un équipement mobile 4 monté mobile en translation dans la direction verticale Z , et des moyens 5 pour appliquer un effort selon la direction verticale Z . Les directions X et Y sont des directions orthogonales à l'axe Z . le bâti a la forme d'une plaque épaisse.

[0059] Les moyens 5 pour appliquer un effort selon la direction verticale Z sont montés sur deux montants 6 fixés chacun par une extrémité dans le bâti 2. Les montants 6 permettent d'assurer une orientation acceptable de la force appliquée selon la direction souhaitée, i.e. la direction Z , et permettent de réduire les forces et moments parasites sur l'équipage mobile et donc sur la cellule à tester.

[0060] Dans cet exemple, les moyens d'application de la force comportent un ressort hélicoïdal 7 maintenu en compression, le ressort étant coaxial à l'axe Z . De préférence, les moyens d'application de la force permettent de modifier l'intensité de la force appliquée. Dans l'exemple représenté, le ressort 7 est en appui par ses extrémités longitudinales entre deux traverses 9 perpendiculaires à la direction Z et fixés aux montants 6 et dont la distance relative dans la direction verticale est réglable, permettant de modifier la compression du ressort 7 et donc l'effort appliqué à la

cellule. De préférence, les moyens de compression sont capables d'appliquer une force de 10 kN sur 10 cm², i.e. 10 MPa.

- [0061] De manière avantageuse les traverses 9 comportent chacune un siège 9.1, 9.2 logeant respectivement l'extrémité longitudinale supérieure et l'extrémité longitudinale inférieure du ressort 7 et fixant l'alignement de son axe avec l'axe Z le long duquel la force est à appliquer.
- [0062] De manière avantageuse, des moyens peuvent être prévus pour régler l'alignement de l'axe du ressort avec l'axe Z. Par exemple le siège 9.1 de la traverse supérieure 9 peut présenter plusieurs positions dans une direction perpendiculaire à l'axe Z pour régler l'alignement du ressort à l'axe Z.
- [0063] Le banc comporte une zone d'application de contrainte 8 configurée pour recevoir l'objet mince, par exemple une cellule C de batterie, et lui appliquer une compression. A des fins de simplicité, l'objet mince sera désigné par « cellule ».
- [0064] La zone d'application de contrainte comporte une plaque de compression inférieure 10 et une plaque de compression supérieure 12.
- [0065] La plaque de compression inférieure 10 repose sur le châssis et est fixe le long de la direction verticale et dans le plan XY. La plaque de compression 10 inférieure comporte une zone de compression ZC qui se situe au centre de la plaque et une zone de mesure ZM entourant la zone de compression ZC. Le ou les capteurs de déplacement décrits ci-dessous sont en contact avec la zone de mesure.
- [0066] La plaque de compression supérieure 12 est portée par l'équipage mobile de sorte à être au droit verticalement de la plaque de compression inférieure 10.
- [0067] De préférence, la plaque de compression inférieure 10 est en matériau dur, par exemple en un matériau ayant un module de Young supérieur à 160GPa, par exemple en un acier évitant l'écrasement par la pression.
- [0068] De préférence, la plaque de compression supérieure 12 est également en matériau dur, par exemple présentant un module de Young supérieur à 160 GPa, par exemple elle est réalisée en acier.
- [0069] Les plaques de compression inférieure et supérieure présentent une certaine planéité pour assurer l'application homogène des contraintes au sein de la cellule, par exemple les faces des plaques de compression sont rectifiées présentant avantageusement un écart de planéité inférieur à 1 µm.
- [0070] Il est possible de réduire le nombre de pièces, notamment en réunissant les fonctions des plaques de compression avec les pièces adjacentes. Néanmoins la mise en œuvre de pièces séparées offre les avantages de pouvoir les remplacer en cas de défaut et de changer la géométrie en fonction des objets à tester.
- [0071] L'équipage mobile comporte une plaque support 14 sur laquelle est fixée la plaque de compression supérieure 12, par exemple au moyen de vis, au moins un capteur de

déplacement 16 destiné à mesurer le déplacement selon Z entre la plaque de compression inférieure 10 et la plaque de compression supérieure 12. Dans l'exemple représenté et de manière avantageuse, trois capteurs de déplacement 16 répartis autour de l'axe Z sont mis en œuvre. Le ou les capteurs de déplacement 16 comporte(nt) un corps fixé sur la plaque support et un doigt sensible au déplacement en contact avec la zone de mesure ZM de la plaque de compression inférieure 10. De préférence, le ou les capteurs de déplacement est ou sont un ou des capteurs électriques passifs de déplacements linéaires ou LVDT (Linear Variable Differential Transformer en terminologie anglo-saxonne). En variante, il peut s'agir d'un ou de capteurs capacitifs. Plusieurs capteurs de déplacement sont avantageusement mis en œuvre, ce qui permet de détecter les défauts de planéité lors de la compression, i.e. par exemple une mise en biais de l'équipage mobile.

- [0072] Dans l'exemple représenté, les corps des capteur(s) de déplacement sont fixés à la plaque et les doigts traversent la plaque support par des passages traversants verticaux ménagés dans celle-ci. La section des passages est suffisante pour éviter toute interaction entre les capteurs et la plaque support 14, notamment dans le cas où le capteur est équipé d'un soufflet, par exemple lors que le capteur est un capteur électrique passif de déplacements linéaires ou LVDT (Linear Variable Differential Transformer en terminologie anglo-saxonne), permettent d'éviter un contact entre les soufflets et la plaque 14.
- [0073] Par exemple, lorsque l'on caractérise des cellules de batterie, on choisit de préférence des capteurs de déplacement ayant des spécifications de reproductibilité des mesures au maximum de 150 nm et une course de 2 mm.
- [0074] Le banc comporte également un capteur de force 18 interposé entre l'équipage mobile et les moyens d'application d'un effort 5. Le capteur d'effort 18 est aligné avec l'axe Z le long duquel l'effort est appliqué. Le capteur d'effort 18 mesure l'effort appliqué sur la cellule. Il est à noter que le poids de l'équipage mobile (plaque support, plaque de compression supérieure, capteur(s) de déplacement et éventuellement plaque d'homogénéisation) est à prendre en compte pour corriger la force mesurée par le capteur 18.
- [0075] A titre d'exemple, le capteur de force peut être un capteur utilisant une pièce déformable élastiquement et comportant des jauges de déformation, de préférence des capteurs à quatre jauges organisées en « pont complet » et calibrées en température afin de garantir une mesure précise et sans dérive dans le temps, qui ne nécessite donc pas de calibration périodique. A titre d'exemple uniquement on peut utiliser un capteur de déplacement D-Mesure®, modèle K450H-10kN.
- [0076] Dans l'exemple représenté, l'équipage mobile comporte également avantageusement une plaque d'homogénéisation 20 assurant la planéité de la surface de compression en

présence de la force du ressort en homogénéisant les contraintes dans la plaque support 14. La plaque d'homogénéisation 20 est réalisée de préférence en matériau dur, de préférence ayant un module d'Young supérieur à 160 GPa, par exemple en acier et a une épaisseur d'au moins 20 mm. Cette plaque d'homogénéisation 20 est de préférence mise en œuvre lorsque la plaque support 14 présente une épaisseur faible n'assurant pas directement l'homogénéisation des contraintes en son sein.

- [0077] Le capteur d'effort 18, la plaque d'homogénéisation 20 et la plaque support présentent avantageusement une position relative fixe dans une direction transversale à l'axe Z pour assurer à la fois l'absence de force de cisaillement sur la cellule et le centrage du point d'application de la force sur le centre de gravité de la surface de la cellule, permettant l'obtention d'une pression uniforme sur la surface de la cellule.
- [0078] Par exemple, notamment lorsqu'un capteur D-Mesure® est utilisé, la plaque d'homogénéisation comporte dans sa face supérieure une empreinte (non représentée) pour loger le fond du capteur de force et l'immobiliser transversalement, et la plaque d'homogénéisation et la plaque support sont fixées l'une à l'autre par des vis. Des moyens de fixation, par exemple des vis peuvent être mis en œuvre entre le capteur de force 18 et la plaque d'homogénéisation 20 ou entre le capteur de force 18 et la plaque support 14 lorsqu'aucune plaque d'homogénéisation n'est mise en œuvre.
- [0079] De préférence, la liaison entre les moyens d'application d'un effort 5 et l'équipage mobile 4 comporte au moins une liaison de type contact ponctuel de direction l'axe Z d'application de la force. Dans l'exemple représenté la liaison de type contact ponctuel est de centre P2 (point de contact entre les moyens d'application de la force et le capteur de contact) et. Une telle liaison permet de transmettre uniquement un effort selon Z sans moment, ni autre effort.
- [0080] Dans l'exemple représenté, la liaison de type contact ponctuel est réalisée directement par le contact entre une forme hémisphérique du capteur de force 18 et la face plane du siège 9.2 de l'extrémité longitudinale inférieure du ressort.
- [0081] Nous allons maintenant décrire en détail la zone d'application de contrainte 8. Sur la figure 2, on peut voir une vue agrandie du banc de la figure 1 au niveau de la zone d'application de la force 8.
- [0082] La plaque de compression inférieure 10 comporte une zone de compression ZC en saillie du reste de la face supérieure de la plaque, notamment de la zone de mesure ZM. La surface de la zone de compression ZC est inférieure ou égale à la surface de la section d'épaisseur nominale de la cellule. Ainsi, lors de la mesure, la section en compression comporte sur toute sa surface les deux électrodes. De préférence, la hauteur de la saillie est choisie afin de ne pas comprimer des pattes d'alimentation ou tout autre élément sortant latéralement des électrodes.
- [0083] En utilisant une zone de compression présentant la surface au plus égale à la surface

de la section d'épaisseur nominale à ± 2 mm, i.e. et en centrant cette zone sur la section d'épaisseur nominale qui est d'épaisseur constante, la pression appliquée à la cellule est homogène et les mesures réalisées sont fiables. En effet, il peut être démontré par le calcul qu'un désalignement entre le centre de gravité de la surface d'application de pression et la section de l'objet présentant l'épaisseur nominale, provoque l'application d'une pression inhomogène au sein de la cellule.

- [0084] En variante la zone de compression en saillie peut être réalisée sur la plaque supérieure, voire à la fois sur la plaque supérieure et sur la plaque inférieure.
- [0085] En outre, en variante également les capteurs de déplacement peuvent être fixés sur la plaque inférieure et palper la position de la plaque supérieure.
- [0086] De préférence, la plaque de compression inférieure 10 comporte des moyens pour centrer la cellule sur la zone de compression, i.e. centrer la section d'épaisseur nominale sur la zone de compression ZC. Dans cet exemple les moyens de centrage comportent quatre trous aux sommets de la zone de compression ZC permettant de centrer visuellement la section d'épaisseur nominale, qui correspond à la surface de l'électrode de plus petite surface. Sur la figure 7, on peut voir schématisé la mise en œuvre de ces moyens de centrage. Les coins de l'électrode de plus petite surface sont repérés, par exemple, en marquant au feutre les coins de l'électrode négative de la cellule par des flèches pointant vers chaque coin, partant de l'extérieur.
- [0087] L'opérateur place la plaque compression inférieure à l'envers par-dessus la cellule à tester, la zone de compression en regard de la face de la cellule portant les flèches. Il aligne la plaque de sorte à aligner les flèches vers le côté intérieur des trous de la plaque de compression inférieure. La plaque de compression inférieure est mise en appui contre la cellule qui est ensuite avantageusement fixée à la plaque de compression inférieure 10 par exemple avec un adhésif.
- [0088] En variante, la cellule peut être positionnée précisément et fixée sur la partie de compression de l'ensemble de compression supérieur et ensuite être positionné sur l'équipage mobile en regard de l'ensemble de compression supérieur.
- [0089] La mise en place et la fixation en position de la cellule sur la plaque de compression avec de l'adhésif est facilitée si la plaque sur laquelle la cellule est fixée est celle qui ne porte pas les capteurs.
- [0090] De préférence, la plaque de compression inférieure 10 et/ou le bâti 2 comportent des moyens pour centrer la plaque de compression inférieure 10 par rapport à l'axe Z.
- [0091] Le bâti comporte dans sa face supérieure un évidement 30 entourant un élément en saillie 32, formant un piédestal sur lequel repose la plaque de compression inférieure 10. Le bâti se déforme sous l'effet des forces de traction latérales des deux montants et de la pression centrale de la cellule. La mise en œuvre d'un élément 32 en saillie sur lequel repose la cellule et par lequel est appliquée la pression à la cellule permet

d'uniformiser les pressions appliquées à la plaque de compression inférieure 10.

- [0092] De préférence, la profondeur de l'évidement 30 est supérieure ou égale à la largeur de la surface d'application de la force de compression, ainsi la déformation de la surface d'application de la force de compression diminue fortement. Par exemple, la déformation de la surface de contact avec la cellule sous l'effet de la traction des deux montants devient inférieure à 300nm sous une force de 10kN dès que la profondeur de l'évidement dépasse 30mm pour une surface d'application de la force carrée de 32mm de côté.
- [0093] De préférence, la hauteur de l'élément en saillie 32 est telle que la plaque de compression inférieure est située au-dessus de la face supérieure du bâti, de sorte à limiter, de préférence éviter, toute interférence mécanique entre les bords de la plaque de compression inférieure 10 et la face supérieure du bâti, ce qui réduit les risques de fausser les mesures de capteurs de déplacement.
- [0094] L'évidement 30 entoure de manière continue l'élément en saillie 32. Dans cet exemple l'élément en saillie 32 présente une forme correspondante à la zone de compression. Dans l'exemple représenté, l'élément en saillie a une forme rectangulaire voire carrée correspondant à celle de zone de compression ZC et sa surface est inférieure ou égale et avantageusement égale à la surface de la zone de compression ZC
- [0095] De préférence, les risques d'interférence mécanique entre les bords de la plaque de compression inférieure 10 et les bords de l'évidement 30 sont réduits soit en utilisant des dimensions extérieures de l'évidement 30 plus grandes que les dimensions extérieures de la plaque de compression, soit en utilisant un plot central 32 qui surélève la plaque de compression suffisamment pour éviter tout contact avec la plaque de compression y compris lorsque la force maximal prévue pour le banc est appliquée. En général une surélévation de 1mm est suffisante, selon la forme précise du support 2, un calcul de déformation mécanique permet de déterminer la surélévation minimale nécessaire.
- [0096] De préférence, le banc comporte des moyens de positionnement 22 permettant de fixer la position de l'équipage mobile, en particulier la plaque de compression supérieure 12, dans le plan XY par rapport au bâti, et ainsi à assurer l'alignement des points P1, P2, P3.
- [0097] En fixant la position de la plaque de compression inférieure 10 par rapport au bâti dans le plan XY et en fixant la position de la plaque de compression supérieure 12 dans le plan XY par rapport au bâti, on peut assurer l'alignement des plaques de compression et assurer l'application d'une pression homogène dans la section d'épaisseur nominale de la cellule.
- [0098] Dans l'exemple représenté, les moyens de positionnement 22 comportent au moins deux tiges 24 fixées au bâti et s'étendant verticalement, coopérant avec deux trous tra-

versants 26 dans la plaque support 14, de diamètre supérieur au diamètre des tiges 24 et deux bagues de centrage 28 utilisées pour le positionnement de l'équipage mobile. Les bagues de centrage 28 sont de préférence retirées lors des mesures pour éviter tout coincement de la plaque support 14 sur les tiges 24. Les bagues de centrage 28 comportent un diamètre intérieur très légèrement supérieur à celui des tiges 24, une portion axiale 28.1 dont le diamètre extérieur est légèrement inférieur à celui des trous 26 et une portion axiale 28.2 de diamètre plus grand de sorte à ménager un épaulement 28.3 destiné à venir en appui sur la face supérieure de la plaque support 14. Les tiges 24 évitent l'éjection accidentelle de l'équipage mobile. Les bagues de centrage 28 permettent de positionner précisément l'équipage mobile et en particulier d'aligner selon l'axe Z les points P1 et P2 avec le centre de la plaque de compression inférieure 10.

- [0099] Le banc est tel que les points P1, P2 et P3 représentés sur la figure 1 sont alignés sur l'axe Z, le long duquel la force de compression est appliquée.
- [0100] P1 est le centre de gravité de la zone de compression ZC, P2 est le point de liaison de type contact ponctuel entre le capteur de force 18 et la plaque support 14 et P3 est l'extrémité longitudinale supérieure du ressort 7 opposée celle du côté du capteur de force 18. L'axe Z le long duquel on souhaite appliquer la force de compression à la cellule passe par les points P1 et P2. Comme décrit ci-dessus, la position du point P3 dans le plan XY est avantageusement réglable pour l'aligner avec les points P1 et P2.
- [0101] Par ailleurs, la mise en place de la cellule entre les plaques de compression 10, 12 est telle qu'elle assure que la section d'épaisseur nominale est centrée sur le point P1.
- [0102] Avantageusement en choisissant une zone de compression ZC ayant la surface de la section d'épaisseur nominale le centrage de la cellule est simplifié et toute la section d'épaisseur nominale est caractérisée.
- [0103] Sur la figure 3, on peut voir un autre exemple de réalisation du bâti et de la plaque de compression inférieure. Dans cet exemple, le bâti 102 comporte un évidement 130 et un élément en saillie 132 de faible épaisseur et la plaque de compression inférieure 110 comporte une partie centrale épaisse dont la face supérieure forme la zone de compression qui est bordée au niveau de sa face supérieure par un plateau formant la zone de mesure. Les dimensions extérieures de l'évidement et les dimensions extérieures de la plaque de compression extérieure sont choisies pour éviter tout contact en cas de déformation importante du bâti.
- [0104] Sur la figure 4, on peut voir un autre exemple de réalisation d'un bâti et d'une plaque de compression inférieure dans lequel le bâti 02 et la plaque de compression inférieure 210 sont réalisés d'un seul tenant, par exemple par usinage.
- [0105] Le bâti comporte un évidement 230 et un élément en saillie 232 portant à son extrémité libre une zone de compression dont la surface correspond avantageusement à

la plus petite zone à laquelle on souhaite appliquer une pression.

[0106] Sur la figure 5, on peut voir une vue agrandie d'un équipage mobile selon un autre exemple de réalisation dans lequel la plaque d'homogénéisation est structurée de sorte à assurer une homogénéisation de la contrainte appliquée dans la plaque support et dans la plaque de compression supérieure tout en présentant une épaisseur réduite.

[0107] Dans cet exemple, la plaque d'homogénéisation 20 comporte sur sa face en contact avec la plaque support 14, un anneau en saillie 21 de la surface formant un appui annulaire contre la plaque support 14, qui limite la déformation de la plaque de compression inférieure. Par exemple pour une surface de pression de 32 mm × 32 mm, un anneau de rayon extérieur de 15 mm permet de minimiser cette déformation. En effet, dans ce cas, sous une force de 10kN et avec une plaque de support 14 de 10mm d'épaisseur en acier, l'écart à la planéité de la surface d'appui avec la cellule atteint 220 nm. Cet écart passe à 400nm si le rayon extérieur de l'anneau est de 14 mm ou 16mm par exemple. La valeur de 15mm est donc particulièrement avantageuse pour la surface de contact de 32x32mm. Avantagusement, un anneau présentant un rayon intérieur proche du rayon extérieur, par exemple égale à 14mm pour un rayon extérieur de 15 mm, permet de limiter les défauts de planéité de l'anneau lui-même, par exemple s'il est réalisé par tournage.

[0108] En variante, l'anneau peut être remplacé par trois points de contact répartis régulièrement autour de l'axe Z.

[0109] Dans cet exemple la face inférieure du capteur de force 18 est en appui contre la plaque d'homogénéisation par une face d'appui annulaire 23.

[0110] Dans le cas d'une caractérisation d'un objet d'épaisseur non homogène, tel que par exemple une cellule de batterie qui comporte une électrode négative et une électrode positive, l'électrode positive ayant une surface plus petite que celle de l'électrode négative, la zone d'application de la pression est au plus égale à la section de l'objet à caractériser ayant une épaisseur sensiblement constante, i.e. dans le cas d'une cellule il s'agit de la section de surface égale à celle de l'électrode positive.

[0111] Le banc de caractérisation est particulièrement adapté à la mesure du gonflement/dégonflement des cellules sous charge. Le banc comporte avantagusement des moyens pour relier électriquement la cellule à une générateur/ à une charge en fonction de la mesure faite.

[0112] Il peut également avantagusement être prévu de disposer le banc dans un environnement stable thermiquement pour atteindre une bonne reproductibilité des mesures. Le banc de caractérisation peut être disposé dans une enceinte régulée en température, dans laquelle le banc serait protégé des flux d'air et des sources de rayonnement thermique. Il est alors possible d'atteindre une reproductibilité des mesures de déplacements meilleure que +/-50 nm avec le banc selon l'invention.

- [0113] Sur la figure 8, on peut voir un autre exemple de réalisation d'un banc de caractérisation qui diffère du banc de la figure 1 notamment par ses moyens d'application d'une force 305.
- [0114] Dans cet exemple, le banc comporte un bâti 302, deux montants 306 de part et d'autre de la zone d'application de la force et formés chacun par une paire de flasques disposés à distance l'un de l'autre. Le banc comporte une plaque de compression inférieure 310 reposant sur un piédestal 332 entouré par un évidement 330 réalisé dans le bâti 302, et une plaque de compression supérieure 312. Des capteurs de déplacement 316 sont portés par la plaque support 314 et sont destinés à être en contact avec la zone de mesure ZM.
- [0115] Les moyens de compression 305 sont portés par les montants 306. Ils comportent un motoréducteur électrique 334 dont l'arbre de sortie est en prise directe avec un tambour d'enroulement 336, une poulie 338 portée par une première extrémité d'un premier levier 340 qui est articulé par une deuxième extrémité à une paire de flasques autour d'un axe horizontal, un câble 341 enroulé sur le tambour 336 et la poulie 338, un deuxième levier 342 articulé en rotation sur l'autre paire de flasques autour d'un axe horizontal et relié au premier levier 340 par une bielle 343. En variante, le palan simple illustré sur la figure 8 peut être remplacé par un palan multiple en ajoutant des poulies sur l'axe du levier et sur un axe solidaire du bâti, afin de multiplier davantage la force de compression obtenue pour un couple moteur donné.
- [0116] Le capteur de force 318 est fixé sur le deuxième levier 342 orienté en direction de la zone d'application de la force. Une tige de compression 344 est interposée entre le capteur de force 318 et la plaque support 314 et transmet la force jusqu'à la deuxième plaque de compression.
- [0117] Dans l'exemple représenté et de manière très avantageuse, la force est transmise entre les moyens 305 et la zone d'application de la force par deux contacts ponctuels ou quasi-ponctuels. Dans cet exemple, la tige de compression 344 est en contact ponctuel par sa première extrémité avec le capteur de force 318 et par sa deuxième extrémité avec la plaque support 314. Dans l'exemple représenté, la plaque support 314 comporte un élément hémisphérique en appui contre une extrémité plane de la tige de compression 344 et l'extrémité hémisphérique du capteur de force 318 est en appui contre l'autre extrémité plane de la tige de compression 344.
- [0118] La mise en œuvre de deux liaisons ponctuelles ou quasi-ponctuelles permet de réduire, voire supprimer les efforts de rotulage.
- [0119] L'activation du motoréducteur 334 modifie la position du premier et deuxième levier l'un par rapport à l'autre, modifiant la force appliquée.
- [0120] Les moyens d'application de la force 305 en utilisant un palan multiple à 6 brins peuvent permettre d'amplifier la force d'un facteur 100. La souplesse du système dans

son ensemble permet alors qu'un moteur muni d'un réducteur permettant 6000 pas/tour permet de réguler la force appliquée à moins de 1N près.

- [0121] Le motoréducteur peut être piloté pour modifier la force appliquée en fonction du gonflement, et ainsi maintenir la force de compression constante ou faire varier la force de compression.
- [0122] Les moyens 305 présentent l'avantage de stocker une énergie faible relativement au ressort, les risques d'éjection de l'équipage mobile sont donc réduits. Les tiges de centrage 324 peuvent être choisies fines puisqu'elles n'ont plus qu'un rôle de centrage.
- [0123] De manière avantageuse, la tige de compression présente une longueur variable, pour cela elle peut comporter deux parties liées l'une à l'autre par vissage, ce qui permet son retrait aisé et de libérer une grande hauteur entre les moyens 305 et l'équipage mobile, permettant de pouvoir accéder à la plaque de compression inférieure et aux capteurs de déplacement, et de retirer facilement la plaque de compression inférieure et les capteurs de déplacement.
- [0124] En variante le capteur de force est disposé entre la plaque support et la tige de compression. La liaison de type contact ponctuel est alors réalisée entre le capteur et le plaque support. L'autre extrémité de la tige de compression est par exemple munie d'une pointe qui vient se placer dans une cavité conique afin de la centrer sur l'axe Z. Une liaison de type contact ponctuel est ainsi obtenue. Le système permet d'assurer un appui quasiment ponctuel de la tige de compression sur le levier afin d'annuler les efforts de rotulage.
- [0125] De préférence des ressorts sont prévus pour maintenir les leviers en position haute permettant de retirer facilement la tige de compression et donc la plaque de compression inférieure.
- [0126] Dans cet exemple, deux capteurs de déplacement sont mis en œuvre. Ils sont disposés symétriquement par rapport au centre de gravité de la zone de compression et la moyenne des mesures des deux capteurs est utilisée.
- [0127] Un exemple de fonctionnement du banc de caractérisation de la figure 1 pour caractériser une cellule va maintenant être décrit.
- [0128] La cellule est positionnée sur la plaque de compression inférieure 10 comme cela a été expliqué ci-dessus, i.e. en alignant la section d'épaisseur nominale avec la zone de compression ZC.
- [0129] L'équipage mobile est bloqué dans une position haute pour permettre la mise en place de la plaque de compression inférieure 10.
- [0130] La plaque de compression inférieure est ensuite positionnée sur l'élément en saillie 32 du bâti. Des moyens, par exemple des plots de centrage, fixent la position de la plaque de compression inférieure dans une position donnée dans le plan XY par rapport au châssis.

- [0131] L'équipage mobile a été positionné préalablement par rapport au châssis au moyen des tiges 24 et des bagues 28. Ensuite les bagues 28 sont retirées. Le point P2 et le point P1 sont alignés.
- [0132] L'équipage mobile est libéré de sa position haute et la plaque de compression supérieure vient en contact avec la cellule. L'effort fixé par le ressort est appliqué à la cellule. Cette force est mesurée par le capteur de force 18 en tenant compte du poids de l'équipage mobile.
- [0133] Un cycle de charge ou décharge est appliqué à la cellule. Les mesures peuvent commencer. Les moyens de déplacement mesurent le déplacement entre l'équipage mobile 4 et la zone de mesure ZM de la plaque de compression inférieure 10, qui est l'image du gonflement ou dégonflement de la cellule sous une contrainte donnée.
- [0134] On peut envisager de modifier la contrainte appliquée au cours de la mesure, par exemple pour simuler un boîtier de batterie plus ou moins rigide. Ainsi il est possible de connaître le comportement de la cellule en reproduisant au plus près les conditions de fonctionnement de celle-ci.
- [0135] Le banc de caractérisation est particulièrement adapté à l'étude des cellules de batterie, notamment des électrodes négatives des cellules Lithium-ion comprenant du silicium.
- [0136] Il permet de réaliser une cartographie complète du comportement de l'électrode en fonction de l'état de charge et de la pression appliquée.
- [0137] Le banc permet d'appliquer une pression uniforme sur une surface d'un unique couple d'électrodes sur une surface représentative de la réalité par exemple une surface de de 10cm². Ainsi on obtient un état électrochimique et mécanique uniforme dans toute la cellule, ce qui permet d'acquérir des données très précises utilisables pour la modélisation du matériau d'électrode à l'échelle électrode.
- [0138] Le banc permet d'appliquer des pressions allant jusqu'à 10MPa permettant d'étudier toute la gamme des pressions rencontrées dans les cellules jusqu'à des contraintes dommageables pour la cellule, ce qui permet également d'acquérir des données utiles pour les études de sûreté sur le comportement des cellules soumises à des contraintes accidentelles.
- [0139] Le banc peut permettre d'atteindre une précision de +/-50nm dans la direction de l'épaisseur de l'électrode qui est la direction d'application de la force, permet de mesurer à 1% près les variations d'épaisseur des électrodes courantes (les variations d'épaisseur typiques sont de 5 à 10µm) pour les matériaux graphite-silicium dans les épaisseurs courantes.
- [0140] Son fonctionnement à force imposée permet de balayer les caractéristiques mécaniques soit à force constante en faisant varier l'état de charge, soit à état de charge constante en faisant varier la force.

- [0141] Le banc de caractérisation motorisé tel que celui de la figure 8 permet de simuler le comportement de l'électrode dans un emballage de cellule ou de pack ayant des caractéristiques mécaniques arbitraires. Dans ce cas la force appliquée est asservie à l'épaisseur mesurée via une fonction préprogrammée.
- [0142] Dans les exemples décrits, la zone de compression est configurée pour appliquer un effort de compression à la section d'épaisseur nominale de la cellule, i.e. sa section de plus grande épaisseur, puisque c'est la partie de la cellule que l'on souhaite caractériser. Il sera compris que la partie à caractériser d'un objet n'est pas nécessairement celle de plus grande épaisseur, il pourrait s'agir de la partie de plus faible épaisseur. La surface de la zone de compression est choisie inférieure ou égale à la partie de l'objet que l'on souhaite caractériser.
- [0143] Ce banc peut par exemple être utilisé pour caractériser l'écrasement sous effort de matériaux poreux en couches minces, par exemple mis en œuvre dans les cellules de piles à combustibles PEMFC.
- [0144] Le banc permet de mesurer les caractéristiques mécaniques des différents éléments de la cellule, notamment le module de Young. Pour cela, on applique différents niveaux de force sur les éléments à tester, par exemple sur la cellule complète ou sur les éléments séparés de la cellule, et on mesure le déplacement engendré sous l'effet de cette force. La courbe déplacement/pression constitue une loi de comportement de l'objet mesuré. Pour certains éléments, la mesure est dynamique. Par exemple pour le séparateur de la cellule, imprégné d'électrolyte, le déplacement n'est pas instantané. Il se stabilise après plusieurs dizaines de minutes à plusieurs heures après un changement de force appliquée.

Revendications

- [Revendication 1] Banc de caractérisation mécanique d'un objet fin par application d'une force de compression selon un axe de compression donné (Z) comportant :
- un bâti (2),
 - une première face de compression,
 - un équipement mobile (4) qui est mobile le long de l'axe de compression (Z) par rapport au bâti (2) et portant une deuxième face de compression en regard de la première face de compression,
 - des montants (6) fixés au bâti (2),
 - des moyens d'application (5) d'une force selon l'axe de compression (Z) et d'intensité déterminée à l'objet destiné à être situé entre les première et deuxième faces de compression, ladite force étant orthogonale aux première et deuxième faces de compression, les moyens d'application (5) étant fixés auxdits montants (6),
 - au moins un capteur de force (18) interposé entre l'équipement mobile (4) et les moyens d'application d'une force (5),
 - au moins un capteur de déplacement (16) disposé de sorte à mesurer le déplacement entre les première et deuxième faces de compression dans la direction de l'axe de compression (Z),
- dans lequel au moins l'une des première et deuxième faces de compression comporte une zone de compression (ZC) en saillie dont la surface est inférieure ou égale à une partie d'intérêt de l'objet, et dans lequel le bâti (2) comporte un évidement (30) entourant dans le bâti une zone de bâti de plus grande épaisseur formant un piédestal (32) supportant la première face de compression.
- [Revendication 2] Banc de caractérisation selon la revendication 1, dans lequel la zone de compression (ZC) a une surface égale à la surface de la partie d'intérêt de l'objet.
- [Revendication 3] Banc de caractérisation selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la première face de compression est portée par une première plaque de compression (10) comportant la zone de compression (ZC) et une zone de mesure (ZM) entourant la zone de compression (ZC), et dans lequel au moins un capteur de déplacement (16) est porté par l'équipement mobile (4) et vient en contact avec la zone de mesure (ZM).
- [Revendication 4] Banc de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 3, comportant trois capteurs de déplacement (16) répartis autour de l'axe de com-

- pression (Z) et des moyens configurés pour comparer leurs mesures et détecter un défaut de planéité.
- [Revendication 5] Banc de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le piédestal (32) a une section transversale de surface égale à celle de la zone compression (ZC).
- [Revendication 6] Banc de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 5 en combinaison avec la revendication 3, dans lequel le piédestal (32) présente une hauteur et/ou l'évidement (30) présente une largeur telles que la première plaque de compression (10) n'est pas en contact avec le bâti en dehors du piédestal (32).
- [Revendication 7] Banc de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la force de compression est transmise des moyens d'application d'une force aux première et deuxième faces de compression par au moins une liaison de type contact ponctuel.
- [Revendication 8] Banc de caractérisation selon la revendication 7, dans lequel le capteur de force (18) est relié aux moyens d'application de force par une liaison de type contact ponctuel.
- [Revendication 9] Banc de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel l'équipage mobile (4) comporte une plaque support (14) de la deuxième face de compression et dans lequel le capteur de force (18) est lié à la plaque support par un appui plan, avantageusement un appui plan annulaire.
- [Revendication 10] Banc de caractérisation selon la revendication 9, dans lequel l'équipage mobile comporte une plaque d'homogénéisation (20) des contraintes interposée entre le capteur de force (18) et la plaque support (14).
- [Revendication 11] Banc de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel les moyens d'application d'une force (5) comportent des moyens pour modifier l'intensité de la force appliquée.
- [Revendication 12] Banc de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 11 en combinaison avec la revendication 7 ou 8, dans lequel les moyens d'application d'une force (5) comportent au moins un ressort hélicoïdal (7) d'axe longitudinal aligné ou sensiblement aligné avec la droite passant par le centre de la liaison de type contact ponctuel et le centre de gravité de la zone de compression (ZC).
- [Revendication 13] Banc de caractérisation selon la revendication 12, comportant des moyens pour régler l'orientation de la direction de la force appliquée par le ressort hélicoïdal (7), de sorte à aligner la direction avec la droite passant par le centre de la liaison de type contact ponctuel et le centre de

- gravité de la zone de compression (ZC).
- [Revendication 14] Banc de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel les moyens d'application d'une force comportent un moto-réducteur pas à pas, au moins une première poulie en prise directe avec l'arbre de sortie du motoréducteur, une deuxième poulie, un câble entre les première et deuxième poulies, au moins un premier levier portant la deuxième poulie, un deuxième levier articulé sur le premier levier, et dans lequel une tige de compression est prévue entre le deuxième levier et la deuxième face de compression.
- [Revendication 15] Banc de caractérisation selon la revendication 14, dans lequel le capteur de force est disposé entre le deuxième levier et la tige de compression.
- [Revendication 16] Banc de caractérisation selon la revendication 14 ou 15, dans lequel la transmission de la force entre les moyens d'application de la force et la deuxième face de compression a lieu à travers deux liaisons de type contact ponctuel.
- [Revendication 17] Banc de caractérisation selon la revendication 16, dans lequel la tige de compression est en contact ponctuel avec le deuxième levier et le capteur de force.
- [Revendication 18] Banc de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 17, comportant des moyens d'alignement des première et deuxième faces de compression.
- [Revendication 19] Méthode de caractérisation d'un objet fin mettant en œuvre un banc de caractérisation selon l'une des revendications précédentes, comportant :
- la mise en place de l'objet sur la première face de compression de sorte à aligner la partie d'intérêt avec la zone de compression,
 - l'application de la deuxième face de compression sur l'objet,
 - la mesure du déplacement entre les deux faces de compression en fonction d'un effort de compression appliqué.
- [Revendication 20] Méthode de caractérisation selon la revendication 19, dans laquelle un stimulus est appliqué de sorte à provoquer une modification du volume de l'objet au cours de la mesure.
- [Revendication 21] Méthode de caractérisation selon la revendication 19 ou 20, dans laquelle l'objet fin est une cellule électrochimique de batterie dont la partie d'intérêt est la partie comportant l'empilement formé par l'électrode positive, le séparateur, l'électrode négative et un emballage autour de l'empilement, la méthode comportant, lors des mesures, une étape d'application d'un cycle de charge et/ou de décharge électrique.

[Fig. 3]

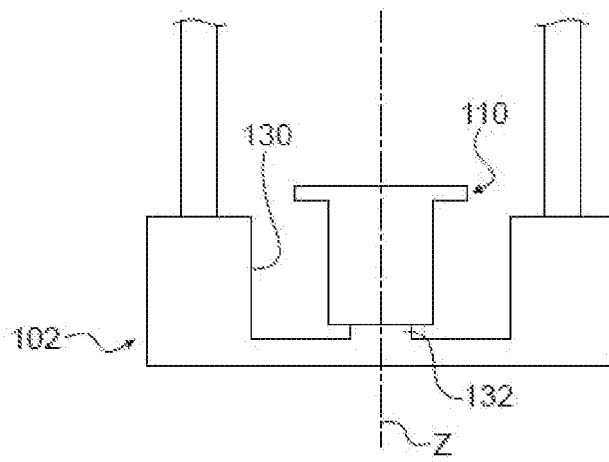


FIG.3

[Fig. 4]

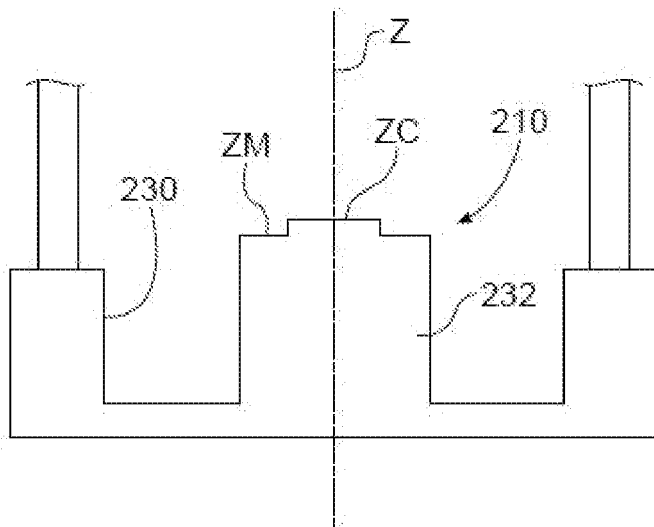


FIG.4

[Fig. 5]

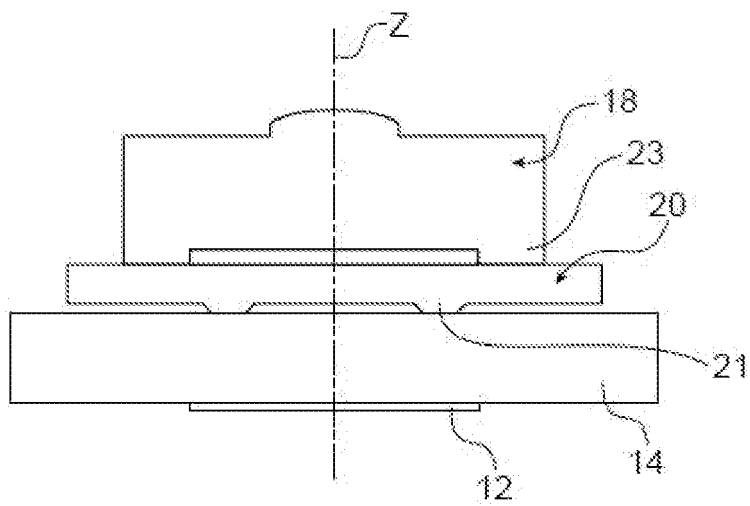


FIG.5

[Fig. 6]

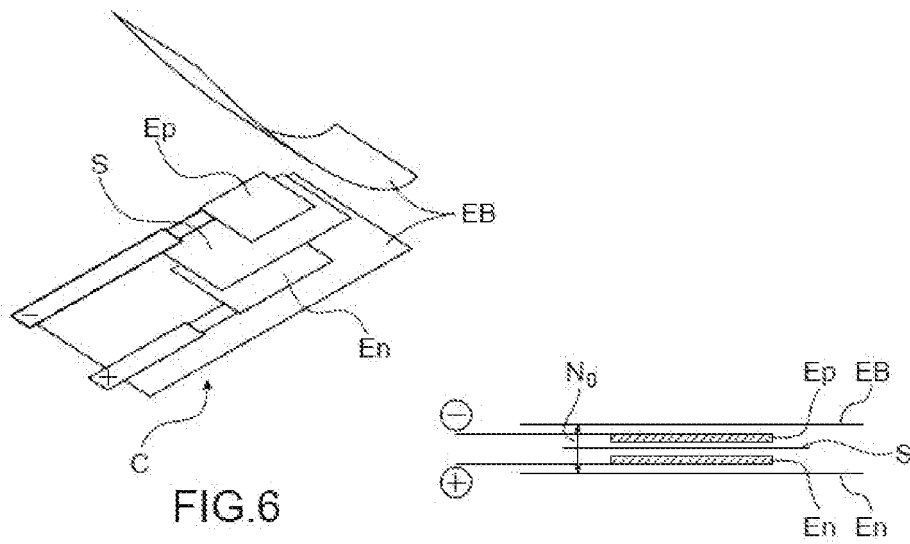
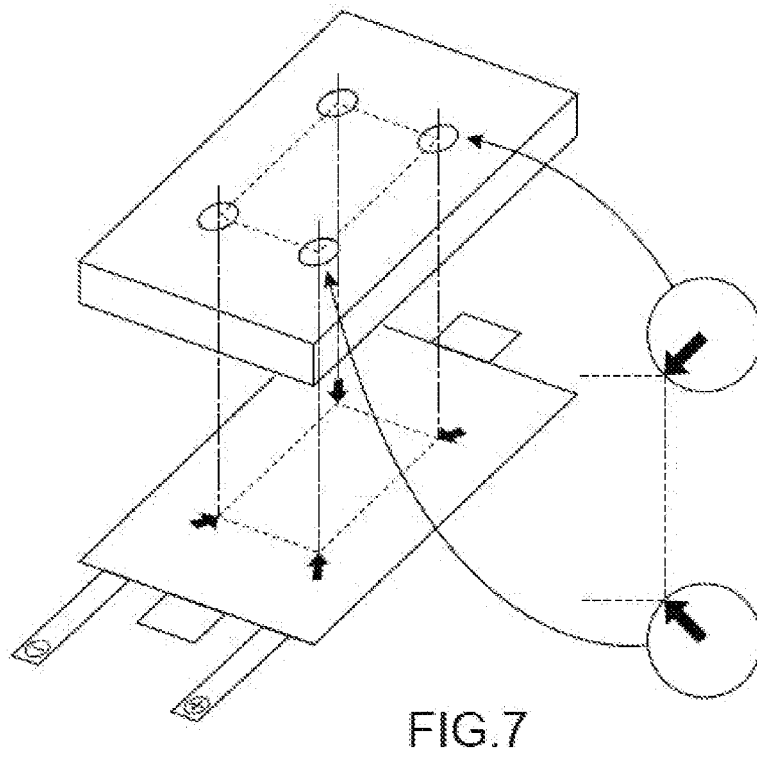


FIG.6

[Fig. 7]



[Fig. 8]

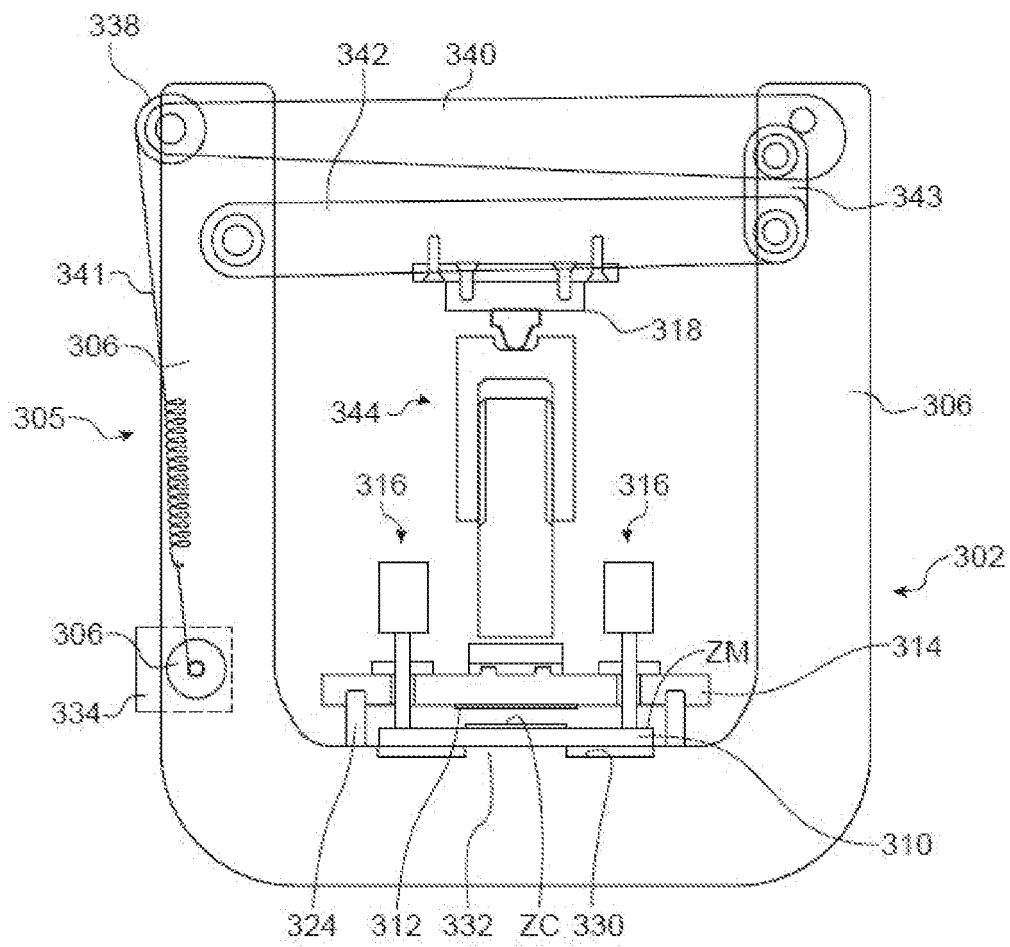


FIG.8

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**FR 2 806 804 A1 (INNOTHERA LAB SA [FR])
28 septembre 2001 (2001-09-28)**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT