



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2014/07/17
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2015/03/12
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2021/06/01
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2016/02/29
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2014/051833
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2015/033038
(30) Priorité/Priority: 2013/09/05 (FR13.58485)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *H01M 4/62* (2006.01),
H01M 10/0525 (2010.01), *H01M 4/02* (2006.01),
H01M 4/13 (2010.01)
(72) Inventeur/Inventor:
SCHMIDT, GREGORY, FR
(73) Propriétaire/Owner:
ARKEMA FRANCE, FR
(74) Agent: NORTON ROSE FULBRIGHT CANADA
LLP/S.E.N.C.R.L., S.R.L.

(54) Titre : ADDITIFS POUR AMELIORER LA CONDUCTIVITE IONIQUE DES ELECTRODES DE BATTERIES LITHIUM-ION

(54) Title: ADDITIVES FOR IMPROVING THE IONIC CONDUCTIVITY OF LITHIUM-ION BATTERY ELECTRODES

(57) Abrégé/Abstract:

L'invention revendiquée se rapporte à un matériau d'électrode - de préférence d'électrode positive - pour une batterie lithium-ion, à sa méthode de préparation, et à une batterie lithium-ion incorporant le dit matériau d'électrode. Ce matériau d'électrode composite comprend : - un additif conducteur électronique, tel du carbone; - un matériau actif étant un oxyde, un phosphate, un fluorophosphate ou un silicate de lithium; - un liant polymère tel du PVDF; et - un sel organique répondant à des formules chimiques définies, par exemple LiPDI, LiTDI, LiPDCI, LiDCTA, LiFSI, LiTFSI, éventuellement en mélange. Le sel organique permet d'augmenter la conductivité ionique de l'électrode.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
12 mars 2015 (12.03.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/033038 A1

(51) Classification internationale des brevets :

H01M 4/62 (2006.01) *H01M 4/13* (2010.01)
H01M 10/0525 (2010.01) *H01M 4/02* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2014/051833

(22) Date de dépôt international :

17 juillet 2014 (17.07.2014)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

13.58485 5 septembre 2013 (05.09.2013) FR

(71) Déposant : **ARKEMA FRANCE** [FR/FR]; 420 rue d'Estienne d'Orves, F-92700 Colombes (FR).

(72) Inventeur : **SCHMIDT, Grégory**; 17 rue Waldwisse, F-69440 Mornant (FR).

(74) Mandataire : **DANG, Doris**; Arkema France, Département Propriété Industrielle, 420 rue d'Estienne d'Orves, F-92705 Colombes Cedex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,

BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))

(54) Title : ADDITIVES FOR IMPROVING THE IONIC CONDUCTIVITY OF LITHIUM-ION BATTERY ELECTRODES

(54) Titre : ADDITIFS POUR AMÉLIORER LA CONDUCTIVITÉ IONIQUE DES ÉLECTRODES DE BATTERIES LITHIUM-ION

(57) Abstract : The invention claimed relates to an electrode material, preferably a positive electrode material, for a lithium-ion battery, to the method of preparing same, and to a lithium-ion battery incorporating said electrode material. This composite electrode material comprises: - an electronically conductive additive, such as carbon; - an active material that is an oxide, a phosphate, a fluorophosphate or a silicate of lithium; - a polymer binder such as PVDF; and - an organic salt corresponding to defined chemical formulae, for example LiPDI, LiTDI, LiPDCI, LiDCTA, LiFSI, LiTFSI, optionally as a mixture. The organic salt makes it possible to increase the ionic conductivity of the electrode.

(57) Abrégé : L'invention revendiquée se rapporte à un matériau d'électrode - de préférence d'électrode positive - pour une batterie lithium-ion, à sa méthode de préparation, et à une batterie lithium-ion incorporant le dit matériau d'électrode. Ce matériau d'électrode composite comprend : - un additif conducteur électronique, tel du carbone; - un matériau actif étant un oxyde, un phosphate, un fluorophosphate ou un silicate de lithium; - un liant polymère tel du PVDF; et - un sel organique répondant à des formules chimiques définies, par exemple LiPDI, LiTDI, LiPDCI, LiDCTA, LiFSI, LiTFSI, éventuellement en mélange. Le sel organique permet d'augmenter la conductivité ionique de l'électrode.



WO 2015/033038 A1

ADDITIFS POUR AMÉLIORER LA CONDUCTIVITÉ IONIQUE DES ÉLECTRODES DE BATTERIES LITHIUM-ION

5 DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention a trait de manière générale au domaine du stockage d'énergie électrique dans des batteries secondaire lithium de type Li-ion. Plus précisément, l'invention se rapporte à un matériau d'électrode de batterie Li-ion, sa méthode de préparation et son utilisation en batterie Li-ion.

10 L'invention a aussi pour objet les batteries Li-ion fabriquées en incorporant ce matériau d'électrode.

ARRIERE-PLAN TECHNIQUE

Une cellule élémentaire d'une batterie secondaire Li-ion ou accumulateur

15 au lithium comporte une anode (à la décharge), généralement en lithium métallique ou à base de carbone, et une cathode (idem : à la décharge), généralement en un composé d'insertion du lithium de type oxyde métallique tel que LiMn_2O_4 , LiCoO_2 ou LiNiO_2 , entre lesquelles se trouve intercalé un électrolyte conducteur des ions lithium.

20 En cas d'utilisation, donc lors de la décharge de la batterie, le lithium relâché par oxydation au pôle (-) par l'anode sous forme ionique Li^+ , migre à travers l'électrolyte conducteur et vient s'insérer par une réaction de réduction dans le réseau cristallin du matériau actif de la cathode pôle (+). Le passage de chaque ion Li^+ dans le circuit interne de l'accumulateur est exactement

25 compensé par le passage d'un électron dans le circuit externe, générant un courant électrique qui peut servir à alimenter divers appareils dans le domaine de l'électronique portable tels que des ordinateurs ou téléphones, ou dans le domaine des applications de plus grande densité de puissance et d'énergie, tels que les véhicules électriques.

30 Lors de la charge, les réactions électrochimiques sont inversées, les ions lithium sont libérés par oxydation au pôle (+), « cathode » (la cathode à la décharge devient l'anode à la recharge), ils migrent à travers l'électrolyte conducteur dans le sens inverse de celui dans lequel ils circulaient lors de la décharge, et viennent se déposer ou s'intercaler par réduction au pôle (-),

35 « anode » (de même l'anode à la décharge devient la cathode à la recharge) où ils peuvent former des dendrites de lithium métallique, causes possibles de courts-circuits.

Une cathode ou une anode comprennent généralement au moins un collecteur de courant sur lequel est déposé un matériau composite qui est constitué par : un ou plusieurs matériaux dits actifs car ils présentent une activité électrochimique vis-à-vis du lithium, un ou plusieurs polymères qui jouent le rôle de liant et qui sont généralement des polymères fluorés fonctionnalisés ou non comme le poly difluorovinyle ou des polymères à base aqueuse, de type Carboxyméthylcellulose ou des latex styrène-butadiène, plus un ou plusieurs additifs conducteurs électroniques qui sont généralement des formes allotropiques du carbone.

Les matériaux actifs classiques à l'électrode négative sont généralement le lithium métal, le graphite, les composites silicium/carbone, le silicium, les graphites fluorés de type CF_x avec x compris entre 0 et 1 et les titanates type $LiTi_5O_{12}$.

Les matériaux actifs classiques à l'électrode positive sont généralement du type $LiMO_2$, du type $LiMPO_4$, du type Li_2MPO_3F , du type Li_2MSiO_4 où M est Co, Ni, Mn, Fe ou une combinaison de ces derniers, du type $LiMn_2O_4$ ou du type S_8 .

Récemment, des additifs permettant d'améliorer la perméabilité de l'électrolyte au cœur de l'électrode ont été utilisés. Du fait de la demande croissante en batterie haute énergie c'est-à-dire avec des capacités de stockage électrique plus élevées, l'épaisseur des électrodes augmente et donc la perméabilité de l'électrolyte devient importante dans la résistance globale de la batterie. Dans le but d'améliorer cette perméabilité, le brevet WO2005/011044 décrit l'ajout de charge dite minérale d'oxyde de métaux tels qu' Al_2O_3 et SiO_2 .

Ces charges minérales sont ajoutées au cours du procédé classique de fabrication des électrodes. Ce procédé classique consiste à mélanger les différents constituants dans un solvant ou un mélange de solvants comme par exemple la N-méthylpyrrolidone, l'acétone, l'eau ou l'éthylène carbonate:

- a) au moins un additif conducteur à un taux allant de 1 à 5% en poids, de préférence de 1,5 à 4% ou 1 à 2,5% en poids, de préférence de 1,5 à 2,2% en poids par rapport au poids total du matériau composite ;
- b) un oxyde, un phosphate, un fluorophosphate ou un silicate de lithium comme matériau actif d'électrode capable de former de façon réversible un composé d'insertion avec le lithium, ayant un

potentiel électrochimique supérieur à 2V par rapport au couple Li/Li⁺ ;

c) un liant polymère.

5 L'encre obtenue est ensuite enduite sur le collecteur de courant et le ou les solvants sont évaporés par chauffage allant de 30 à 200 °C.

Les défauts de ces charges minérales sont de diminuer la quantité de matière active dans l'électrode et donc la capacité de la batterie mais également ces charges ne permettent d'améliorer que la diffusion macroscopique de l'électrolyte.

10 Or dans l'électrode, c'est la résistance de charge à l'interface matériau actif / électrolyte qui est limitant pour les performances de la batterie. Cette résistance est un effet microscopique qui ne peut être améliorée par l'ajout de charge minérale macroscopique.

15 Le demandeur a découvert que l'ajout d'un sel constitué d'un anion organique, choisi pour avoir une interaction favorable à la surface du matériau actif, permet d'augmenter la conductivité ionique de l'électrode.

RESUME DE L'INVENTION

20 L'invention concerne en premier lieu l'utilisation de sels organiques comme additifs de conductivité ionique dans la formulation d'électrodes de batteries secondaires Li-ion, de préférence dans la formulation de cathode. Ces sels peuvent également être utilisés dans la formulation d'électrodes de batteries Na-ion.

25 L'invention a également pour objet l'utilisation de ladite formulation comme électrode de batteries.

30 L'additif de conducteur ionique doit être capable de supporter les conditions du procédé de préparation des électrodes décrit précédemment. Par exemple, le LiPF₆, le sel de lithium actuellement utilisé dans la plupart des électrolytes, de part son instabilité à la température et aux solvants nucléophiles, ne peut être utilisé comme additif de conductivité ionique.

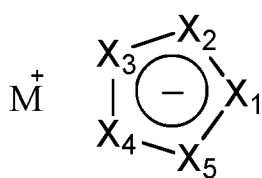
L'invention concerne aussi un matériau composite d'électrode de batterie Li-ion, de préférence matériau d'électrode positive comprenant :

35 a) au moins un additif conducteur électronique à un taux allant de 1 à 5% en poids, de préférence de 1,5 à 4% ou de 1 à 2,5% en poids, de préférence de 1,5 à 2,2% en poids par rapport au poids total du matériau composite ;

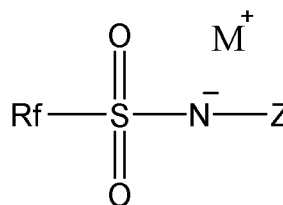
b) un oxyde, un phosphate, un fluorophosphate ou un silicate de lithium comme matériau actif d'électrode capable de former de façon réversible un composé d'insertion avec le lithium, ayant un potentiel électrochimique supérieur à 2V par rapport au couple Li/Li^+ ;

c) un liant polymère ;

d) au moins un sel organique de formule A ou/et B,

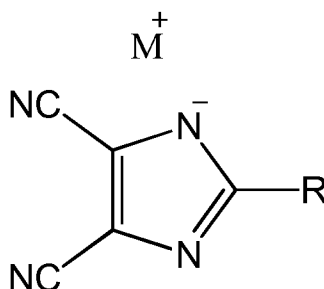


(A)



(B)

Dans la formule (A), -Xi- représente indépendamment les groupements ou atomes suivants : $-\text{N}=$, $-\text{N}^-$, $-\text{C}(\text{R})=$, $-\text{C}^-(\text{R})-$, $-\text{O}-$, $-\text{S}(=\text{O})(\text{R})=$ ou $-\text{S}(\text{R})=$ et R représente un groupement choisi parmi F, CN, NO_2 , S-CN, $\text{N}=\text{C}=\text{S}$, $-\text{OC}_n\text{H}_m\text{F}_p$, $-\text{C}_n\text{H}_m\text{F}_p$ avec n, m et p des nombres entiers. Les composés de formule (A) particulièrement préférés sont les imidazolates représentés ci-dessous et avantageusement des imidazolates de lithium :



Où R représente F ou $-\text{C}_n\text{H}_m\text{F}_p$. Ces sels de lithium sont particulièrement intéressants de par leur insensibilité à l'eau ce qui permet une utilisation simplifiée dans le processus de préparation de l'électrode.

Dans la formule (B), R_f représente F, CF₃, CHF₂, CH₂F, C₂HF₄, C₂H₂F₄, C₂H₃F₂, C₂F₅, C₃F₆, C₃H₂F₅, C₃H₄F₃, C₄F₉, C₄H₂F₇, C₄H₄F₅, C₅F₁₁, C₃F₅OCF₃, C₂F₄OCF₃, C₂H₂F₂OCF₃ ou CF₂OCF₃ et Z représente un groupement électro-attracteurs choisi parmi F, CN, SO₂R_f, CO₂R_f ou COR_f.

Dans les formules générales ci-dessus, M⁺ représente un cation lithium, un cation sodium, un ammonium quaternaire ou un imidazolium.

De préférence, le constituant (d) peut varier entre 0,01 et 10% et avantageusement de 0,05 à 5 % en poids par rapport au poids total du matériau.

Le liant polymère est avantageusement choisi parmi polymères fluorés fonctionnalisés ou non comme le polydifluorovinyle (PVDF) ou des polymères à base aqueuse, de type Carboxyméthylcellulose ou des latex styrène-butadiène.

L'additif conducteur électronique est de préférence choisi parmi les différentes formes allotropiques du carbone ou des polymères organiques conducteurs.

10

PREPARATION DE L'ELECTRODE

La présente invention a également pour objet un procédé de préparation du matériau composite d'électrode décrit ci-dessus, qui comprend

- i) au moins une étape de préparation d'une suspension mettant en jeu :
- un ou des sels organiques de formule A et/ou B ;
 - un additif conducteur électronique ;
 - un liant polymère ;
 - un ou plusieurs solvants volatils ;
 - un matériau actif d'électrode choisi parmi un oxyde, un phosphate, un fluorophosphate ou un silicate de lithium,
- ii) et une étape d'élaboration d'un film à partir de la suspension préparée en (i).

La suspension peut être obtenue par dispersion et homogénéisation par tout moyen mécanique, par exemple à l'aide d'un rotor stator, d'une ancre d'agitation ou par ultrasons.

La suspension peut être préparée à partir du polymère à l'état pur ou sous forme d'une solution dans un ou plusieurs solvant(s) volatil(s), des sels organiques à l'état pur ou sous forme d'une suspension dans un ou plusieurs solvants volatils, de l'additif conducteur électronique et de la matière active à l'état pur, éventuellement après une étape de séchage à une température comprise entre 50 et 150°C.

De préférence, le ou les solvants volatils est ou sont choisi(s) parmi un solvant organique ou l'eau. Comme solvant organique, on peut citer notamment les solvants organiques la N-méthyle pyrrolidone (NMP) ou le diméthyle sulfoxyde (DMSO).

La préparation de la suspension peut être effectuée en une seule étape ou en deux ou trois étapes successives. Lorsqu'elle est effectuée en deux étapes successives, un mode de réalisation consiste à préparer dans la première étape une dispersion contenant le solvant, le ou les sels organiques et éventuellement tout ou partie du liant polymère, à l'aide de moyens mécaniques, puis à ajouter dans une deuxième étape à cette première dispersion les autres constituants du matériau composite. Le film est ensuite obtenu à partir de la suspension à l'issue de la deuxième étape.

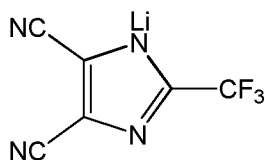
Lorsqu'elle est réalisée en trois étapes successives, un mode de réalisation consiste à préparer dans la première étape une dispersion contenant le ou les sels organiques et éventuellement tout ou partie du liant polymère dans un solvant, puis à ajouter dans la deuxième étape le matériau actif et à éliminer le solvant pour obtenir une poudre, ensuite à ajouter du solvant et le restant des constituants du matériau composite pour obtenir une suspension. Le film est ensuite obtenu à partir de la suspension à l'issue de la troisième étape.

La mise en solution des sels organiques de formule A et/ou B peut se faire à des températures allant de 0 à 150°C de préférence entre 10 et 100°C.

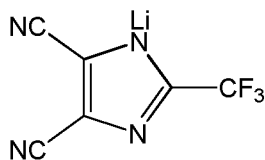
Un autre objet de la présente invention est l'utilisation d'au moins un sel organique de formule A et/ou B comme additif de conductivité ionique dans la fabrication d'un matériau composite d'électrode.

La présente invention a en outre pour objet des batteries Li-ion incorporant ledit matériau.

Exemple 1 :



L'agitation se fait à l'aide d'un rotor stator. Dans un flacon, mettre 0,0197 g de LiTDI (formule ci-dessus). Solubiliser avec 7,08 g de NMP, laisser agiter pendant 10 min à 25°C. Ajouter 0,1974 g de PVDF (Kynar[®]), laisser agiter pendant 30 min à 50°C. Ajouter ensuite 0,1982 g de carbone Super P (Timcal[®]) et laisser agiter pendant 2h. Enfin ajouter 4,5567 g de LiMn₂O₄ et 2,52 g de NMP et laisser agiter pendant 3h. Etaler ensuite la suspension sous forme de film avec une épaisseur de 100 µm sur une feuille d'aluminium. Laisser sécher le film pendant 5h à 130°C.

Exemple 2 :

5

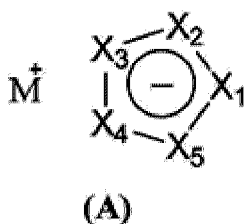
L'agitation se fait à l'aide d'un rotor stator. Dans un flacon, mettre 0,0212 g de LiTDI. Solubiliser avec 2,84 g de NMP, laisser agiter pendant 10 min à 25°C. Ajouter 0,1063 g de PVDF (Kynar®), laisser agiter pendant 30 min à 50°C. Ajouter ensuite 0,1059 g de carbone Super P (Timcal®) et laisser agiter pendant 2h. Enfin ajouter 4,5580 g de $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ et 4,52 g de NMP et laisser agiter pendant 3h. Etaler la suspension sous forme de film avec une épaisseur de 250 μm sur une feuille d'aluminium. Laisser sécher le film pendant 8h à 130°C.

10

REVENDICATIONS

1. Matériau composite d'électrode de batterie, comprenant :

- a) au moins un additif conducteur électronique à un taux allant de 1 à 5% en poids par rapport au poids total du matériau composite ;
- b) un oxyde, un phosphate, un fluorophosphate ou un silicate de lithium comme matériau actif d'électrode capable de former de façon réversible un composé d'insertion avec le lithium, ayant un potentiel électrochimique supérieur à 2V par rapport au couple Li/Li⁺ ;
- c) un liant polymère, et
- d) au moins un sel organique de formule A et



avec -Xi- dans la formule A représentant indépendamment les groupements ou atomes suivants : -N=, -N⁻, -C(R)=, -C⁻(R)-, -O-, -S(=O)(R)= ou -S(R)= avec R représentant un groupement dans le groupe constitué parmi F, CN, NO₂, S-CN, N=C=S, -OC_nH_mF_p, et -C_nH_mF_p avec n, m et p des nombres entiers ; M⁺ représentant un cation lithium, sodium, quaternaire ou imidazolium, les composés de formule A étant des imidazolates.

2. Matériau selon la revendication 1 caractérisé en ce que le matériau d'électrode positive comprenne au moins un additif conducteur électronique à un taux allant de de 1,5 à 4% en poids par rapport au poids total du matériau composite.

3. Matériau selon la revendication 1 caractérisé en ce que le matériau d'électrode positive comprenne au moins un additif conducteur électronique à un taux allant de de 1 à 2.5% en poids par rapport au poids total du matériau composite.
4. Matériau selon la revendication 1 caractérisé en ce que le matériau d'électrode positive comprenne au moins un additif conducteur électronique à un taux allant de de 1,5 à 2.2% en poids par rapport au poids total du matériau composite.
5. Matériau selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les composés de formule A sont des imidazoles de lithium.
6. Matériau selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le ou les sel (s) organiques représente entre 0,01 et 10% en poids par rapport au poids total du matériau.
7. Matériau selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le ou les sel (s) organiques représente entre 0,05 et 5 % en poids par rapport au poids total du matériau.
8. Matériau selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le liant polymère est choisi dans le groupe parmi les polymères fluorés, les polymères à base aqueuse et latex styrène-butadiène.
9. Matériau selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'additif à conducteur électronique est choisi dans le groupe parmi les différentes formes allotropiques du carbone et des polymères organiques conducteurs.
10. Procédé de préparation du matériau selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend (i) au moins une étape de préparation d'une suspension mettant en jeu :
 - un ou des sels organiques de formule A

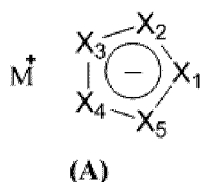
- un additif conducteur électronique ;
 - un liant polymère ;
 - un ou plusieurs solvants volatils ;
 - un matériau actif d'électrode choisi dans le groupe parmi un oxyde, un phosphate, un fluorophosphate et un silicate de lithium, et
- ii) une étape d'élaboration d'un film à partir de la suspension préparée en (i).

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que le ou les solvant(s) volatil(s) est ou sont choisi(s) dans le groupe parmi des solvants organiques et l'eau.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que les solvants organiques sont choisis dans le groupe parmi la N-méthyle pyrrolidone et le diméthyle sulfoxyde.

13. Batterie Li-ion comprenant le matériau selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.

14. Utilisation d'au moins un sel de formule A



avec -Xi- dans la formule A représentant indépendamment les groupements ou atomes suivants : -N=, -N-, -C(R)=, -C-(R)-, -O-, -S(=O)(R)= ou -S(R)= avec R représentant un groupement dans le groupe constitué parmi F, CN, NO₂, S-CN, N=C=S, -OC_nH_mF_p, et -C_nH_mF_p avec n, m et p des nombres entiers et M⁺ représentant un cation lithium, sodium, quaternaire ou imidazolium, les composés de formule A étant des imidazolates, comme additif de conducteur ionique dans la fabrication d'un matériau composite d'électrode.