

**[Transcript] Monde Numérique - Actu Technologies / [INTERVIEW] Sébastien Patoux, CEA : où en est la batterie du futur à électrolyte solide ?**

La batterie lithium-ion existe depuis 30 ans et on est sur une évolution progressive des composants, une adaptation des composants aux besoins du marché, avec des progrès qui sont encore possibles.

Bonjour Sébastien Patou.

Bonjour.

Vous êtes chef du service des technologies batteries au CEA et vous travaillez sur les batteries du futur.

Qu'est-ce qui va changer dans les systèmes de batteries ?

Est-ce qu'il y a des révolutions, des évolutions et des révolutions qui se préparent véritablement ?

Il y a des évolutions, il y a rarement des révolutions en science et en particulier sur les pays.

Ce qui se passe vraiment, c'est le marché qui croit une façon très importante et qui va finalement amener à beaucoup de recherches en amont pour des pistes à plus long terme.

On travaille à plusieurs échelles de temps, on travaille tout d'abord à l'échelle long terme en lien avec les gigafactories, les sociétés qui vont industrialiser des vacuumillateurs et des batteries et on travaille nous au CEA aussi sur des programmes plus long termes pour les générations que l'on appelle batterie tout solide et aussi pour des générations qui vont au-delà, qui vont s'inscrire dans une plus faible empreinte environnementale parce que l'on comprend très bien que lorsque vous avez besoin de quantités extrêmement importantes de batterie, vous avez besoin de quantités extrêmement importantes de matériaux et que les matériaux pour certains sont sensibles, critiques, donc il faut penser à en utiliser moins ou à les éviter, donc c'est vraiment sur ça qu'on travaille pour le long terme.

Est-ce qu'on peut parler tout d'abord des fameuses batteries solides, pouvez-vous nous rappeler un petit peu de quoi il s'agit et où est-ce qu'on en est ?

Alors les batteries solides sont une évolution de la technologie lithium-ion classique dans lesquelles on a un électrolyte qui est liquide, c'est un liquide qui va transporter les ions lithium d'une électrode à l'autre dans le solide, on se transporte est beaucoup plus difficile.

Par contre, l'électrolyte solide apporte une certaine stabilité et sécurité et va permettre et va permettre d'utiliser des composants tels que le lithium métal qui vont permettre d'aboutir à des denses et d'énergie plus importantes et donc avoir plus de kilomètres d'autonomie pour votre véhicule électrique.

Donc vous comprenez qu'on a un intérêt technique mais aussi des verrous à passer pour améliorer la conduction, la conductivité, le transport des ions et pour pouvoir avoir une batterie fonctionnelle et donc le travail se situe à ce niveau-là.

Les verrous en question, qu'est-ce que c'est ? Où est-ce que ça bloque encore ?

Alors je vais pas tout redécrire le comment on fabrique un accumulateur mais il est beaucoup plus facile d'implémenter un liquide qui va baigner l'ensemble de la matière dans l'accumulateur.

L'électrolyte va rentrer en contact avec toute la matière.

Lorsque vous avez un électrolyte solide, vous avez une matière qui est figée, vous

**[Transcript] Monde Numérique - Actu Technologies / [INTERVIEW] Sébastien Patoux, CEA : où en est la batterie du futur à électrolyte solide ?**

avez une électrolyte positive, une électrolyte négative et un électrolyte solide entre les deux.

Et donc la gestion finalement des interfaces, comment on va implémenter l'ensemble, fait l'objet de travaux du moment.

C'est-à-dire qu'on veut vouloir diminuer les résistances et pouvoir avoir une bonne conductivité et donc ça va passer si je veux dire un mot finalement, c'est comment implémenter un électrolyte solide.

C'est l'implémentation, la mise en forme pour faire un accumulateur fonctionnel qui aujourd'hui est le VEAU.

On arrive déjà à faire des choses mais on ne sait pas encore directement à piquabre industriellement.

Et c'est pour ça qu'il y a un laps de temps entre ce qu'il va y avoir dans la gigafactory aujourd'hui, il y a déjà ce qu'il commence à sortir dans nos gigafactories en France et en Europe et ce qu'ils pourront implémenter dans 5, dans 10 ans, dans 15 ans à grande échelle.

Donc le solide arrivera dans quelques années mais sur des marchés de niche d'un promettant sans doute et pas tout de suite ne va pas remplacer les lignes de fabrication du moment.

Et à terme, ce sera dans les véhicules notamment etc ?

Alors en partie il y aura sans doute une partie peut-être pour les véhicules premium un apport de l'électrolyte solide et avec des densités d'énergie plus importantes, une autonomie plus importante.

La proportion en part de marché, je ne la connais pas, on ne le sait pas encore, ce qui prend beaucoup d'ampleur et ce sera sur le second temps, en tout cas c'est l'échelle que je vous disais après mais qui commence dès maintenant avec des matériaux déjà empruntés aujourd'hui dans une batterie vous avez du nickel, du cobalt, du manganèse.

On ne parlait plus du tout en Europe des matériaux à base de fer, le fossat de fer revient dans les roadmap au niveau mondial, on va voir comment ça arrive en Europe et en France.

C'est une solution qui est assez conventionnelle que l'on connaît bien, qui apporte moins d'énergie mais malgré tout qui permet de baisser les coûts et on voit que cet axe finalement, ce n'est plus tout à fait l'axe d'énergie, c'est l'axe finalement coût et empreinte environnementale qui prend de l'ampleur au niveau mondial et derrière ce matériau à base de fer qui est un exemple ou l'exemple que l'on connaît bien mais il y a toute une, on parlait sur des batteries sodiumion, potassiumion, des batteries tout organiques issus de la biomasse par exemple, ça serait sur du planterme et on n'est plus forcément en augmentation de l'autonomie, de la densité d'énergie mais vraiment une baisse de l'empreinte environnementale et une baisse des coûts et donc on a les deux qui finalement aujourd'hui qui commencent à se côtoyer, je ne sais pas du tout de quoi se aura fait l'avenir et comment ça apprendra en France, en Europe et dans le monde, sans doute géographiquement des orientations différentes entre l'Asie, l'Amérique du Nord, l'Europe, voilà.

Mais pour répondre à la question, il y en aura pour tout le monde, il y en aura pour toute la technologie.

**[Transcript] Monde Numérique - Actu Technologies / [INTERVIEW] Sébastien Patoux, CEA : où en est la batterie du futur à électrolyte solide ?**

Ça va véritablement changer la face des, notamment de la mobilité selon vous, cette évolution des batteries.

Alors aujourd'hui, on voit bien que si on est constructeur automobile, il faut modifier toutes ces usines finalement pour pouvoir adresser le véhicule électrique, les métiers sont différents et je ne parle pas que de la batterie, je parle de tous les auxiliaires, tout ce qui est autour le moteur, donc oui ça change drastiquement les choses, ça c'est d'un point de vue automobile et puis nous, les gens qui viennent de la batterie, ça change drastiquement dans le sens où les demandes, elles ne sont plus réel à voir, est-ce qu'elles étaient pour le téléphone et l'ordinateur portable, on voit bien, là, on a une attente très, très importante du citoyen, du grand public, beaucoup plus que lorsque c'était pour alimenter finalement de l'électronique portable et les volumes sont beaucoup plus importants.

Donc les changements sont à ce niveau-là en termes de chimie, en termes de chimie depuis 30 ans, la batterie lithium-ion existe depuis 30 ans et on est sur une évolution progressive des composants, une adaptation des composants aux besoins du marché avec des progrès qui sont encore possibles.

Est-ce que ça va changer beaucoup de choses par rapport au batterie lithium-ion qu'on connaît aujourd'hui ? C'est ça surtout.

Alors pour une batterie, c'est une boîte noire pour l'utilisateur.

Donc ce qu'on va attendre, c'est de l'autonomie, c'est durée de vie satisfaisante.

Donc aujourd'hui, typiquement, la durée de vie des batteries a beaucoup progressé ces dix dernières années et permet aujourd'hui, c'est ce qui est d'ailleurs permis aujourd'hui d'adresser

l'automobile. Quand vous avez une batterie qui fait 200, 300, 400 cycles comme pour l'ordinateur portable ou le téléphone, que vous changez tous les deux ans sans souci, à moindre coup, c'est pas viable pour l'automobile.

On ne peut pas changer un véhicule tous les deux ans.

En tout cas, la durée de vie d'un véhicule, c'est plus de deux ans.

Donc ça, la durée de vie a progressé, a permis d'adresser le marché automobile.

Maintenant, pour vous, utilisateurs au quotidien, à part ça, ça ne change pas grand chose.

On a fait progresser à denser l'énergie, la charge rapide également, des charges rapides, donc ça progresse.

Ce n'est pas, vous n'avez pas senti en la révolution, c'est pour ça que je n'aimais pas ce terme là tout à l'heure, instantanément, quand vous l'utilisez.

Le but, c'est que ce soit le plus presque, le plus neutre possible pour l'utilisateur.

La batterie, elle va rester une boîte noire pour l'utilisateur.

Oui, pour l'utilisateur, oui.

Mais après, il y a, vous le disiez, vous l'avez évoqué, l'aspect environnemental.

Le bénéfice au niveau environnemental, qu'est-ce que ça va être ?

Ça va être parce qu'on sait que la fabrication des batteries aujourd'hui est un très fort impact environnemental.

Est-ce que véritablement, ça va s'améliorer à ce niveau-là ?

Alors, la batterie aujourd'hui, elle a un fort impact environnemental, oui.

**[Transcript] Monde Numérique - Actu Technologies / [INTERVIEW] Sébastien Patoux, CEA : où en est la batterie du futur à électrolyte solide ?**

Maintenant, dans sa durée de vie, si on prend la batterie dans le véhicule, avec ce qui est quand même plus intéressant qu'un véhicule thermique, à partir du moment où vous allez rouler suffisamment.

Le suffisamment, il dépend de l'origine de la fabrication de la batterie et de l'endroit où vous allez recharger.

Est-ce que vous rechargez avec du nucléaire ? Est-ce que vous rechargez avec du charbon ?

Donc tout ça, ils apprennent en compte globalement, si on prend la situation de la France et de l'Europe en général, mais en particulier de la France, vous roulez de l'ordre de 50 000 km à l'ordre de grandeur et vous avez finalement votre bilan qui est équilibré par rapport au véhicule thermique et tout ce que vous allez rouler en plus, ces 50 000 km, va être en faveur de la batterie.

Donc vous allez baisser l'entraine environnementale du véhicule au global.

Donc ça, c'est la situation d'aujourd'hui.

Demain, avec des matériaux moins critiques, moins sensibles, moins de cobalt, moins nickel, on va encore améliorer l'empreinte environnementale qui va aller au-delà du CO<sub>2</sub>, qui va être sur le lot utilisé pour la fabrication, qui va être sur le matériau en eux-mêmes pour les extraire, donc l'énergie associée.

Et donc, idéalement, on va encore diminuer cette empreinte.

Donc on est déjà aujourd'hui sur un bilan qui est positif par rapport au thermique, contrairement à ce qu'il peut être dit dans certains articles ou parfois.

Mais il est connu et reconnu que le bilan est positif, pas en sortie d'usine, mais après un certain nombre de kilomètres d'usage.

Et donc demain, ça va encore diminuer.

On va encore diminuer cette empreinte CO<sub>2</sub>, empreinte hydrique et tout ce qui empreinte matériaux.

Et alors, si on se projette encore plus loin, vraiment le futur de la batterie, ce sera quoi, Sébastien Pato?

Alors, on peut imaginer des batteries sans lithium, avec du sodium, batterie à base de sodium, donc c'est un ion sodium qui va faire des allers-retours entre les électrodes négatives et positives et qui va générer le courant.

Après-demain, on peut imaginer des batteries au potassium.

Alors, je cite le sodium et le potassium parce que le fonctionnement est similaire à du lithium-ion.

On a à peu près la même façon de fabriquer un accumulateur et de fabriquer des matériaux.

Ce n'est pas tout à fait les mêmes matériaux, c'est tout.

Mais on va s'affranchir d'un matériau critique.

Et puis, peut-être, après-demain, on pourra s'affranchir de tous les matériaux, enfin, de tous les métaux.

On a parlé de cobalt nickel manganèse et de fer, qui est nettement mieux, mais on peut encore aller en-deçà et avoir des matériaux organiques, peut-être même issus de la biomasse, issus du maïs, issus de je ne sais quoi dans le sous-sol, qui soit complètement eco-friendly.

Qui se régénère.

Et d'ailleurs, ils ont des batteries, et finalement, sans emprunt ou avec une très faible empreinte.

**[Transcript] Monde Numérique - Actu Technologies / [INTERVIEW] Sébastien Patoux, CEA : où en est la batterie du futur à électrolyte solide ?**

L'emprunte, ce sera l'emprunte de la fabrication, mais pas l'emprunte d'une extraction de matière dans le sous-sol. Et ça, vous avez vraiment bon espoir d'arriver un jour à ces batteries-là ou c'est purement théorique ?

Alors, la réponse, c'est plutôt positive.

Elle tout va dépendre, finalement, des concessions qu'on est prêt à faire.

Il est clair qu'il s'agit d'une batterie avec une très faible empreinte environnementale, issu uniquement de carbone ou de choses qu'on trouve dans le sous-sol.

Enfin, quand j'ai des carbones, c'est issu de la biomasse, issu de ressources naturelles.

On imagine, avec du sodium issu du sel de mer,

j'extrapole un petit peu, mais l'énergie sera quand même un peu moins que l'énergie qu'on a aujourd'hui à une batterie.

Et donc, je pense que ce type de batterie peut alimenter

tous les véhicules, à terme, d'entrée de gamme, milieu de gamme.

Pour le premium, il restera des batteries à plus fortes empreintes environnementales qui permettront de faire plus de kilomètres, de se charger plus rapidement.

Donc, elle est limitée à ce frein-là, mais oui, on peut s'attendre à long terme à des batteries de ce type.

Parce qu'on n'est pas sur les choses utopiques.

J'ai mis de côté un certain nombre de choses de technologies qui ont déjà été regardées.

Je citais le lithium-air, par exemple, et je ne rentre ça pas dans le détail.

Ça a longtemps été dit comme une alternative au lithium-ion,

mais il y a tellement de véros, et finalement, quand on fait l'équilibre global,

on voit qu'il n'y a pas d'intérêt à priori, en tout cas aujourd'hui, à ce jour de l'applémenter.

Je cite le sodium-ion, le potassium-ion, les batteries organiques,

parce que là, aujourd'hui, on voit bien que la danse d'énergie est un peu plus faible.

Reste aura sans doute plus faible qu'un bon lithium-ion,

mais ça peut apporter un avantage dans la mesure où le critère coût et le critère empreinte

deviennent prépondérants sur le critère d'efficacité.

Mais je pense qu'il y aura plusieurs solutions sur le marché.

Alors qu'aujourd'hui, il n'y a quasiment que du lithium-ion.

Alors aujourd'hui, il n'y a quasiment que du lithium-ion,

mais dans le lithium-ion, il y a plusieurs déclinaisons.

On a, je l'ai parlé notamment, les deux grandes familles avec les matériaux d'électrode positive à base de

phosphates de fer, le fer, et puis les matériaux d'électrode positive à base de nickel-cobalt-manganés qu'on appelle les NMC.

C'est NMC.

Donc vous avez ces deux grandes familles, et après, quand vous rentrez en détail,

il y a encore des déclinaisons sur plusieurs, pas plusieurs niveaux.

Mais il y a déjà sur le marché, deux grandes familles.

Et on va voir arriver du tout solide qui seront encore une autre famille.

**[Transcript] Monde Numérique - Actu Technologies / [INTERVIEW] Sébastien Patoux, CEA : où en est la batterie du futur à électrolyte solide ?**

Donc il y a quand même dans le lithium-ion, c'est pas une technologie, c'est un ensemble de technologies comme le sodium-ion, le potassium-ion, les batteries organiques.

On a des ensembles de technologies dans ces grandes familles de Chine.

Merci Sébastien Patou, chef du service technologie batterie au CEA.