



LES CHIMISTES ET L'ÉNERGIE DANS LE MONDE



En 2014, six couples d'étudiants, journalistes et chimistes sont partis caméra au poing, explorer les contributions des industriels de la chimie aux défis de la transition énergétique.

Leurs vidéos sont accessibles sur http://actions.maisondelachimie/world_tour_2014.html

Ces reportages montrent que grâce à la chimie :

- on a une nouvelle colle époxy avec laquelle on peut presque tout coller dans une voiture, notamment les éléments de carrosserie réalisés en nouveaux matériaux 30 % plus légers, ce qui permet de réduire la consommation de carburant et la production de gaz à effet de serre (reportage de Tyna et Sylvain) ;



- l'énergie est stockée sous forme d'hydrogène, en toute sécurité, sous un volume réduit et pendant longtemps dans des galettes, pour une utilisation ultérieure dans les véhicules électriques ou dans l'industrie (reportage de Marion et Hady) ;
- un nouvel aérogel permet, à performances égales, de réduire de 50 % l'épaisseur des panneaux d'isolation thermique (reportage de Marie et William) ;
- les performances des batteries des véhicules électriques doivent beaucoup à un nouveau poly fluorure de vinylidène (reportage de Anna et Axel) ;
- on peut contribuer à la diminution des gaz à effet de serre en dormant sur un nouveau et très confortable matelas (reportage de Marie et Estéban) ;
- l'avion solaire n'aurait sans doute pas fait le tour du monde si les cellules photovoltaïques qui couvrent ses ailes n'étaient pas protégées par un nouveau film polymère transparent et très résistant (reportage de Fleur et Pierre).

Nous allons vous raconter leur périple ; venez découvrir la fabrication sur site industriel de toutes ces innovations et constater que derrière tout cela se cachent de nombreux métiers passionnants et porteurs pour votre avenir.

La colle qui contribue à économiser la consommation de carburants

Destination Suisse/Allemagne et France : Tina (journaliste IEJ, Paris) et Sylvain (élève ingénieur ENSGTI, Pau) sont partis étudier une nouvelle colle.

Pour réduire la consommation des carburants fossiles et diminuer par la même occasion la production de CO₂, un bon moyen est de diminuer



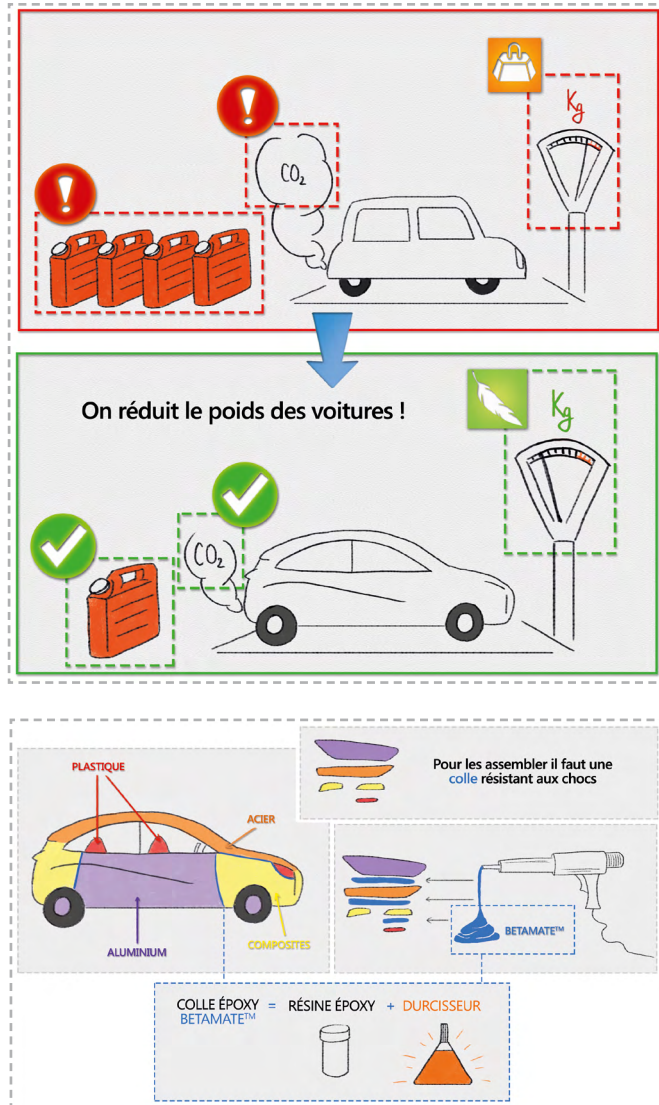


le poids des véhicules en remplaçant le maximum de pièces métalliques des carrosseries, par de nouveaux matériaux plus légers.

Mais pour assembler ces nouveaux matériaux, on a besoin d'une colle qui résiste aux chocs même violents (Fig. 1).

Figure 1

Quelle solution pour réduire la consommation des énergies fossiles et émissions de CO₂ ?





Renault travaille à la mise au point de ce type de véhicule, et Philippe Michel, expert adhésifs structuraux chez Renault, explique à Tyna et Sylvain que ce type d'approche permet, par exemple, de réduire le poids d'une Clio de 1 400 à 900 kg. On voit sur la *figure 2* un exemple de pièces de carrosserie collées.



Figure 2

Pièces de carrosserie collées.

Pour réaliser ces voitures, Renault utilise la colle **Betamate** qui a été créée et mise au point dans le centre de Recherche et Développement de Dow chemicals, à Horgen en Suisse, tout près de Zurich. Tyna et Sylvain y ont rencontré le Dr Stéphane Schmatloch, directeur R&D, pour découvrir la **recette de la fabrication du betamate** (*Fig. 3*).

Une résine époxy est mélangée avec des pigments pour la couleur souhaitée et un **agent épaississant**, dont la formule est un **secret industriel**, y est ajouté qui va donner à cette colle ses propriétés exceptionnelles, notamment l'absorption de l'énergie lors de crash.

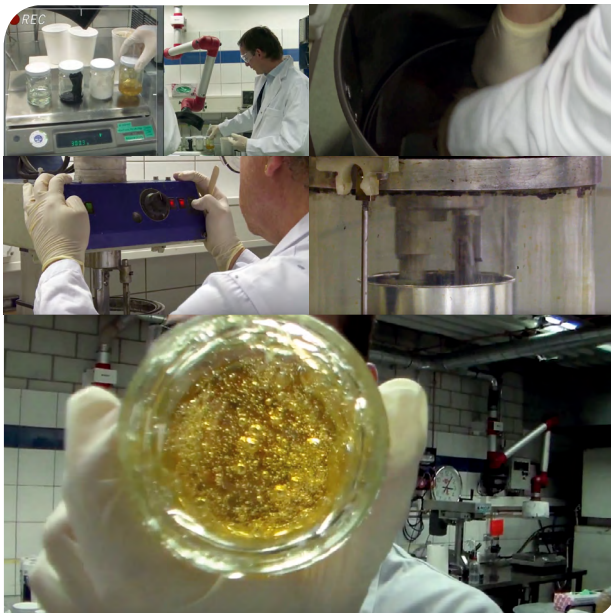


Figure 3

La préparation du Betamate en laboratoire.



Remarque

Le betamate peut aussi être utilisé pour coller l'acier, l'aluminium, le magnésium et remplacer avantageusement les soudures et fixations métalliques.



Les tests en laboratoire spécialisé permettent de vérifier et d'améliorer les performances de collage et les résistances au crash-collision (Fig. 4).

Figure 4

Test de résistance au crash-collision des pièces collées au betamate.



La fabrication industrielle du betamate est réalisée en Allemagne dans l'usine de Schkopan.

Elviera Muller, chef des opérations, fait visiter l'atelier de fabrication à nos deux reporters (Fig. 5).

Figure 5

Atelier de fabrication du betamate.



La qualité de la fabrication est vérifiée sur chaque lot préparé (Fig. 6).

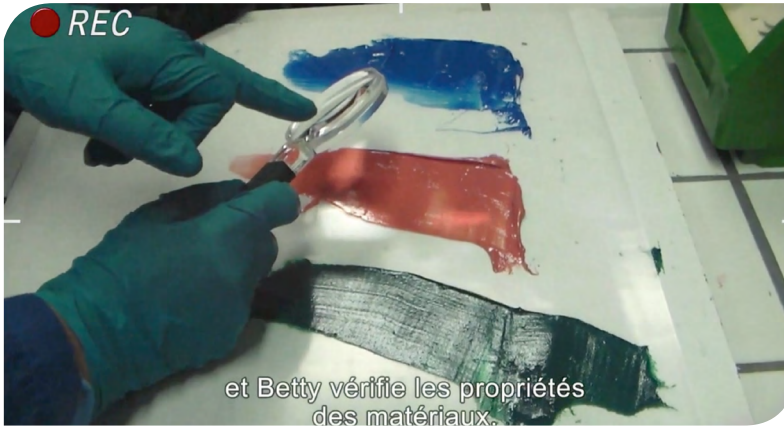


Figure 6

Test qualité de production du betamate.

Les différentes étapes de la fabrication sont automatisées et conduites à partir d'un centre de contrôle (Fig. 7).



Figure 7

Le centre de contrôle automatisé de fabrication du betamate.

Le directeur commercial explique les nombreuses variétés (20) de betamate préparées et leurs diverses applications (Fig. 8).



Figure 8

Variétés de betamate proposées au client selon le type d'application.

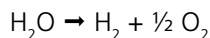


L'éponge à hydrogène : une solution pour le stockage des énergies renouvelables

Destination Grande-Bretagne (et France) : Marion (journaliste IEJ, Paris) et Hady (élève ingénieur ENSIC, Nancy) partent à la découverte de l'éponge à hydrogène.

Nous avons vu précédemment (voir chapitre « Le challenge de l'électricité verte ») que le problème majeur pour développer les énergies renouvelables était leur intermittence et donc de pouvoir stocker de l'énergie quand il y a du vent ou du soleil, pour pouvoir récupérer cette énergie quand on en a besoin.

L'électricité peut être stockée sous forme chimique en l'utilisant pour électrolyser l'eau avec production d'oxygène et d'hydrogène selon la réaction :



La *figure 1* montre le prototype d'électrolyseur industriel du laboratoire qui réalise des tests sur le stockage de l'hydrogène à l'université de Nottingham en Angleterre.

Figure 1

Électrolyse de l'eau pour stocker l'énergie sous forme d'hydrogène.





Le professeur Gavin Walken montre à Marion et Hady comment l'hydrogène est récupéré et stocké, pour être ensuite réutilisé pour produire de l'électricité en employant la réaction inverse dans une pile utilisant l'hydrogène comme combustible : la pile à combustible (voir chapitre sur le stockage).

Stocker de l'hydrogène sous pression, d'une part prend de la place, d'autre part pose des problèmes de sécurité car l'hydrogène est un gaz inflammable qui peut conduire avec l'air à un mélange explosif dans certaines conditions.

Résoudre ce problème a été l'objectif de la société française McPhy Energy localisée à la Motte-Fanjas, qui exploite une licence CNRS sur le **stockage de l'hydrogène sous forme solide** mis au point au laboratoire CNRS Louis Néel.

Cédric Dupuis, ingénieur de R&D, explique le principe de fonctionnement et l'intérêt de cette véritable éponge à hydrogène (Figs. 2 et 3).



Figure 2

Cédric Dupuis, ingénieur de R&D chez McPhy Energy.

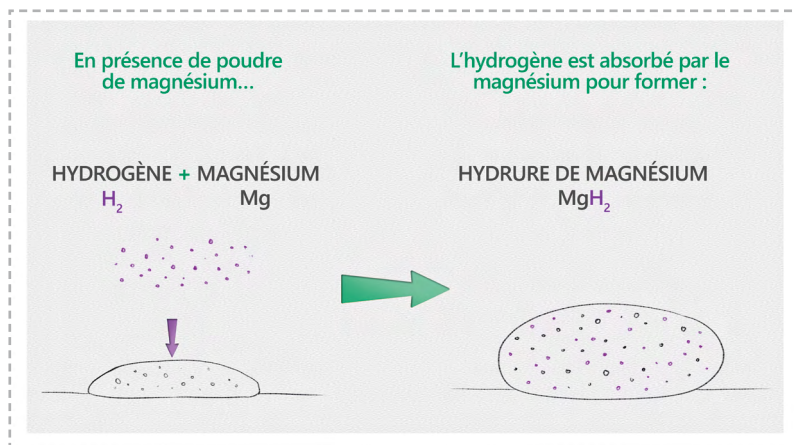


Figure 3

Principe de l'éponge à hydrogène.



Remarque

Cette réaction est lente et prend plusieurs heures. Le procédé innovant mis au point au CNRS permet de faire cette réaction en quelques minutes.



On sait depuis longtemps que le magnésium stocke l'hydrogène sous forme d'hydruure de magnésium MgH_2 selon la réaction :

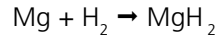


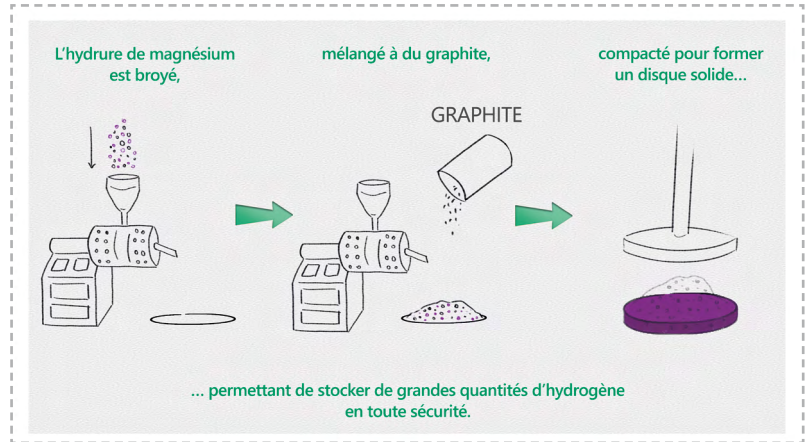
Figure 4

Fabrication de la galette d'hydruure de magnésium.



Remarque

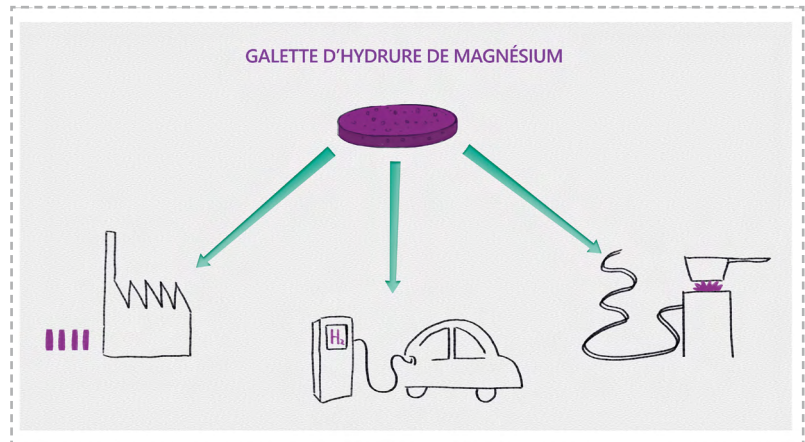
La seconde innovation consiste fabriquer des galettes d'hydruure de magnésium en compactant sous presse la poudre broyée et mélangée à du graphite. 600 litres d'hydrogène peuvent être stockés dans chaque galette (Fig. 4).



Ces galettes permettent de stocker l'hydrogène, en toute sécurité en attendant son utilisation par un industriel, pour un véhicule électrique, ou pour l'injecter dans le réseau de gaz (Fig. 5).

Figure 5

Les utilisations des galettes à hydrogène.





Économiser l'énergie : la slentite, un nouveau matériau qui améliore de 50 % l'isolation des bâtiments



Destination Allemagne et France : Marie (doctorante ICPEE, Strasbourg) et William (journaliste IEJ, Paris).

La meilleure façon d'économiser l'énergie est l'isolation : une bonne isolation permet plus de 35% d'économie de chauffage l'hiver et de ne pas avoir trop chaud en été.

De nombreux matériaux isolants sont issus de la chimie, les plus connus étant le polystyrène et le polyuréthane expansé. Ces deux matériaux contiennent plus de 95 % d'air, immobilisé dans des pores ce qui en fait des bons isolants. **Ces polymères expansés isolants sont obtenus à partir de mousses.**

Afin de ne pas diminuer la surface habitable, surtout dans le cas d'une rénovation, on isole souvent les murs d'une maison avec des panneaux extérieurs. Les panneaux actuellement utilisés comme isolants de façade ont une épaisseur d'environ 20 cm.

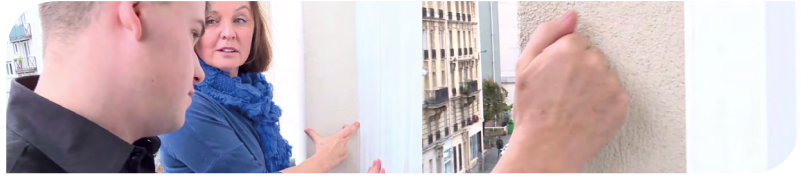
Il est très intéressant de pouvoir diminuer l'épaisseur de ces panneaux isolants pour en faciliter l'utilisation, et encore plus si veut les utiliser en intérieur.

Guillaume Dethan, **expert en construction durable**, explique à Marie et William que l'objectif de BASF a donc été d'améliorer de 50 % la qualité de l'isolation, en divisant par deux l'épaisseur tout en gardant les mêmes performances d'isolation (*Fig. 1*).



Figure 1

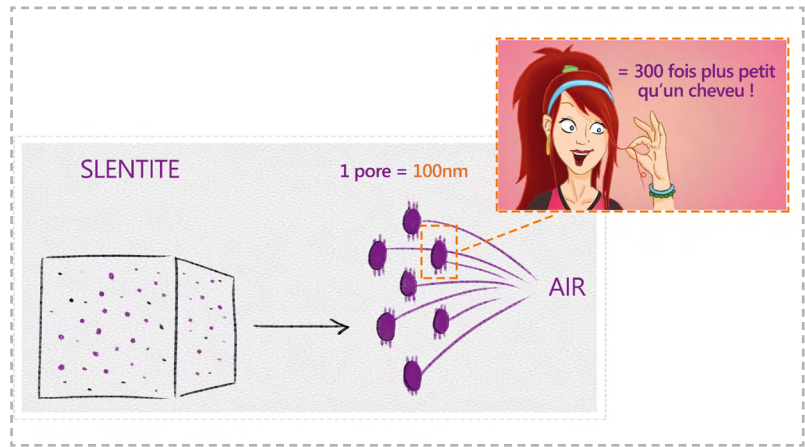
Même isolation thermique avec une épaisseur de panneau divisée par 2.



C'est la quantité d'air emprisonné dans les pores qui crée l'isolation. Pour emprisonner la même quantité d'air dans un volume deux fois plus petit, il faut diminuer la taille des pores et les remplacer par des nanopores (Fig. 2).

Figure 2

Un nanopore est une cavité qui a un diamètre de l'ordre du nanomètre c'est-à-dire 5000 fois plus petite qu'un cheveu.



Pour obtenir ce résultat, les chercheurs de BASF ont remplacé la mousse polymère de départ par un aérogel et ont créé la slentite. Marie et William sont allés visiter le Centre de R&D de BASF à Lemford en Allemagne où a été créée et où est fabriquée la slentite (Fig. 3).

Figure 3

Marc Frick chef de projet et inventeur de la Slentite.





La slentite est le premier aérogel organique issu de la chimie des polyuréthanes.

Sa nanostructure le rend plus résistant à la pression, et plus facile à découper que les plaques obtenues à partir des mousses.

Marc montre sur la *figure 4* l'aérogel obtenu à partir du gel de polyuréthane par séchage cryogénique en milieu super critique.



Comme dans le cas des mousses, le gel de polyuréthane est préparé par la réaction de polyols avec de l'isocyanate. **Mais selon les fonctionnalités des polyols et la composition du milieu réactionnel, on obtient un gel mesoporeux au lieu d'une mousse.** Bien entendu, cette composition est un secret industriel qui résulte d'un travail de recherche en partenariat avec le laboratoire ISIS (Institut de Science et d'ingénierie supramoléculaire de Strasbourg).

La visite se termine par celle du showroom de BASF (*Fig. 5*) qui présente toutes les formes possibles d'obtention des panneaux de slentite utilisable aussi bien pour l'isolation extérieure qu'intérieure.



Figure 4

Les différents types de panneaux de slentite.



Un aérogel est
un gel dans lequel
on remplace le

liquide par un gaz. Sa structure moléculaire crée des nanopores ouverts dans lesquels les molécules d'air emprisonnées ne peuvent pas circuler à travers le maillage de la structure, ce qui conduit à des propriétés isolantes remarquables (Fig. 2). Très léger, il peut contenir jusqu'à 99,8 % d'air, c'est-à-dire beaucoup plus que les mousses.

Figure 4

Gel de polyurethane.



Séchage supercritique :
Un gaz est dans

les conditions supercritiques quand on ne peut plus distinguer la phase liquide de la phase gazeuse. Le matériau à sécher est introduit dans un autoclave et soumis à un balayage de CO_2 à une température supérieure à sa température critique (30,98 °C) et à une pression supérieure à sa pression critique (73,77 bars). Dans ces conditions, le CO_2 s'échange avec le solvant de synthèse contenu dans les pores du gel. Une détente est ensuite effectuée, ce qui permet d'évacuer le CO_2 et d'obtenir le squelette solide de l'aérogel.



Le Kynar® PVDF, un polymère indispensable au développement du véhicule électrique

Destination Chine : Région de Shanghai (Changshu à 120 km au nord de Shanghai) pour Anna (élève ingénieur ECPEM, Strasbourg) et Axel (étudiant journaliste IEJ, Paris)

Le véhicule électrique n'est pas une alternative au véhicule thermique. Il a son propre marché qui est important notamment en milieu urbain pour diminuer la pollution et c'est particulièrement le cas pour les grandes métropoles chinoises.

La Chine investit donc beaucoup dans le véhicule électrique : il est notamment prévu d'ici 2020, 150 millions de scooters électrique et cinq millions de voitures électriques ainsi qu'un investissement de 13 milliards d'euros d'aide aux municipalités pour s'équiper en bornes de recharge.

Dès à présent, comme Anna et Axel, on circule en scooter électrique (*Fig. 1*) à Shanghai et en 2015, plus de 170 000 véhicules électriques et hybrides rechargeables ont été commercialisés. Le principal fournisseur d'énergie en Chine a pour ambition d'installer 10 000 bornes de recharge rapide qui permettent de retrouver 80 % de la capacité en 30 min.

Figure 1

Anna et Axel en scooter électrique.





Il n'est donc pas étonnant que 95 % des batteries pour véhicule électrique soient actuellement fabriquées en Chine. Ces batteries utilisent actuellement la technologie

Lithium-ion mais il faut toujours en augmenter :

- la puissance ;
- l'autonomie ;
- la rapidité de la recharge.

C'est précisément la fonction du polymère Kynar® PVDF fabriqué par le groupe français Arkema qui est un liant de choix pour augmenter les performances des batteries et leur longévité et faciliter la charge et la décharge.

Anna et Axel sont donc allés visiter le centre de Recherche et Développement d'Arkema à Changshu à 120 km au nord de Shanghai où est mis au point et fabriqué le Kynar® PVDF (Fig. 2).



Figure 2

L'ingénieur de recherche Shirley Chai au centre R&D ARKEMA.

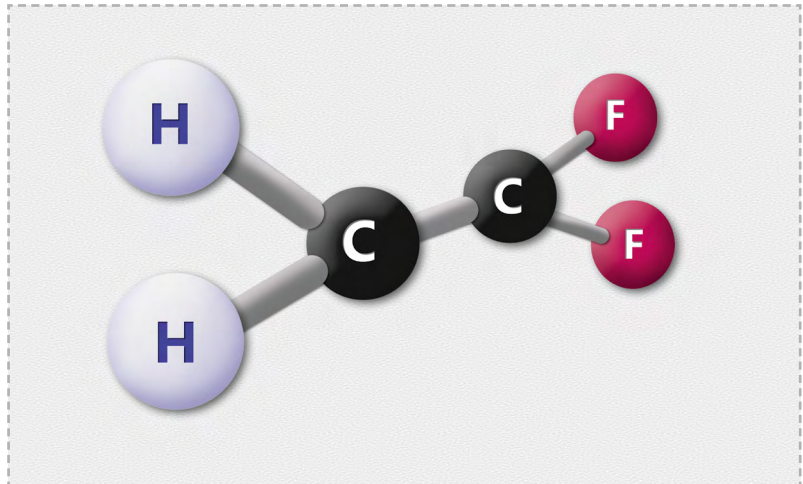
Le Kynar® PVDF est utilisé comme liant polymère de l'électrode négative dont il assure le maintien mécanique de l'ensemble en cours d'utilisation. Sans ce lien, les batteries se déformeraient.

Le Kynar est un polyfluorure de Vinylidène (CH_2-CF_2)_n (Fig. 3).



Figure 3

Représentation tridimensionnelle de la molécule de Poly fluorure de vinylidène

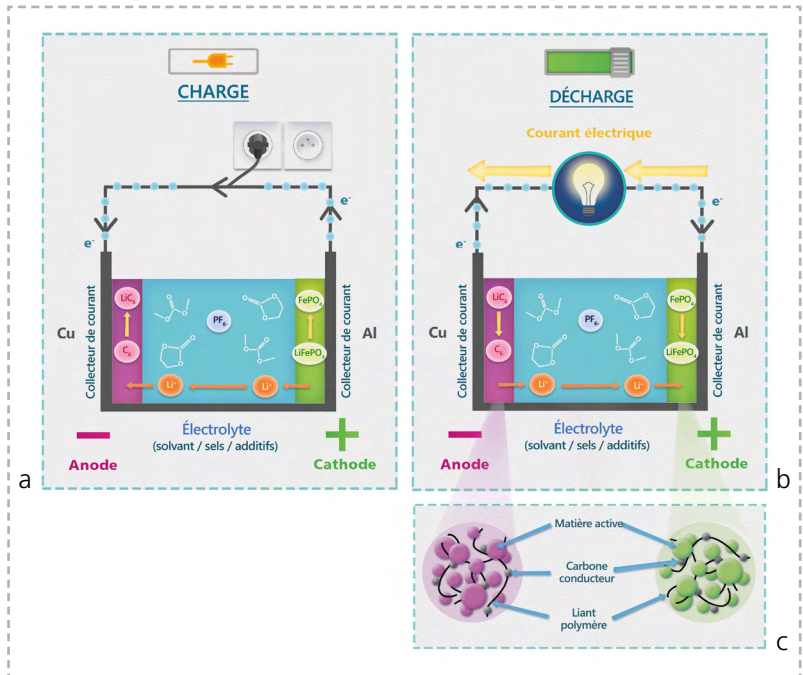


Ce polymère est ajouté au matériau actif de stockage du lithium, tel que le graphite, durant la charge (à raison de 1 à 2 % en poids).

La Figure 4 présente le schéma de fonctionnement simplifié d'une batterie lithium-ion durant la charge (Fig. 4a) et la décharge (Fig. 4b).

Figure 4

Schéma simplifié d'une batterie lithium-ion durant la charge et la décharge.





Sur cet exemple à la cathode (électrode positive) :

- le matériau actif est le LiFePO_4 ;
- le collecteur de courant est en aluminium ;
- le matériau actif de l'anode (électrode négative) est en graphite ;
- le collecteur de courant est en cuivre.

Durant la charge, des électrons quittent l'électrode positive (à gauche) par l'intermédiaire du circuit électrique externe et sont captés par l'électrode négative de graphite C_6 (à droite).

Cette circulation électrique externe est compensée dans la batterie par le déplacement équivalent des ions Li^+ de l'électrode positive (la cathode), au travers de l'électrolyte organique, vers l'électrode négative (l'anode) où ils sont stockés sous forme de lithium.

Durant la décharge, les deux processus sont inversés (Fig. 4b).

Les atomes de lithium quittent le graphite en libérant des électrons dans le circuit extérieur. Dans la batterie, les ions Li^+ formés migrent vers l'électrode négative où ils réagissent avec FePO_4 pour former le composé FeLiPO_4 .

Les grains actifs des matériaux d'électrode sont représentés sur la figure 4c.

Shirley Chai, ingénieur de recherche, explique à Anna et Axel la fabrication des batteries. Le matériau actif de l'anode est préparé sous forme d'une pâte visqueuse constituée d'un mélange dans un solvant de graphite, de poudre de noir de carbone et de Kynar (Fig. 5).

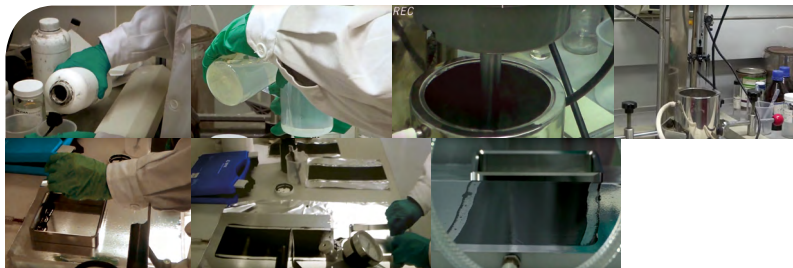


Figure 5

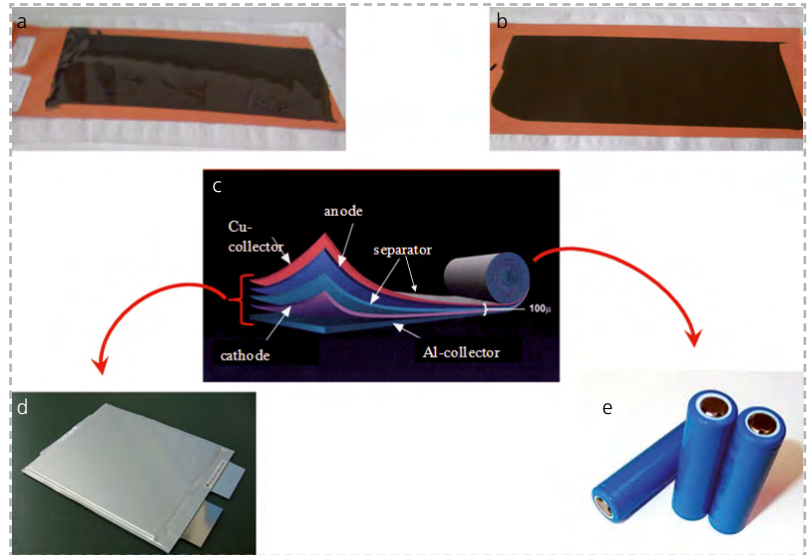
Préparation du matériau de l'anode.

La pâte visqueuse obtenue est ensuite uniformément étalée sur le collecteur de courant en cuivre (Figs. 6a et b).



Figure 6

Fabrication de la batterie.
a) anode ; b) Anode ;
c) Séparateur ;
d) batterie prismatique ;
e) batterie cylindrique.



Le solvant est ensuite évaporé au four de manière contrôlée pour obtenir un dépôt solide de quelques dizaines de micromètres d'épaisseur fortement adhérent au collecteur.

On procède de même pour la cathode. On place entre les deux électrodes, un séparateur isolant électrique qui est généralement un film de polymère poreux qui est aussi une résine de Kynar® PVDF gonflante qui laisse passer les ions lithium (Fig. 6c).

Ces assemblages multicouches sont empilés pour obtenir des cellules de batterie dites prismatiques (Fig. 6d) ou cylindriques (Fig. 6e).

Shirley montre une batterie cylindrique terminée. Dans une voiture électrique Tesla, il y a 7 000 cellules de ce type (Fig. 8).

Figure 8

Batterie cylindrique.





Monsieur Michael Zhu, directeur des ventes et du marketing pour l'Asie, explique à Anna et Axel que Arkema vend le Kynar® PVDF aux fabricants de batterie chinois (Fig. 9).



Figure 9

Rencontre avec Monsieur Michael Zhu, directeur des ventes et du marketing pour l'Asie.

Ces batteries équipent déjà les bus chinois (Fig. 10) comme l'explique le directeur des ventes du fabricant de batterie.



Figure 10

Batterie au Kynar d'un bus chinois.

C'est au volant d'une voiture équipée de batteries au Kynar que nos deux amis jouent les touristes (Fig. 11).



Figure 11

Départ d'Anna et Axel dans une voiture électrique.



Le plastique qui recycle le CO₂



Destination Allemagne : à Leverkusen, Marie (journaliste IEJ, Lille) et Esteban (IUT, Strasbourg) ont découvert un matelas qui lutte contre le changement climatique en utilisant une mousse de polyuréthane fabriquée à partir de CO₂ d'origine industriel recyclé.

C'est au Centre de R&D sur le polyuréthane de la Société Bayer que cette mousse est produite dans le cadre d'un programme joliment appelé **Dream production**.

Le Dr Karsten Malsh, Chef du projet Dream production, explique que les 10 % de CO₂ dans ces mousses sont issus de centrales thermiques dans le cadre d'un partenariat avec un industriel producteur d'électricité.

Figure 1

Un matelas en polyuréthane fabriqué à partir de CO₂ industriel recyclé.



Le Docteur Hofman, Directeur du laboratoire de chimie, présente la fabrication du polyuréthane par réaction entre un polyol et l'isocyanate (Fig. 2) qui forme rapidement une mousse de polyuréthane (Fig. 3).



Le premier, c'est l'isocyanate.

Figure 2

Fabrication du polyurethane.

L'innovation dans cette fabrication réside dans le fait que le polyol est produit à partir du CO₂ industriel recyclé, en présence d'un catalyseur dont bien entendu la composition est un secret industriel.



Figure 3

Production du Polyol à partir de CO₂ industriel recyclé.



Figure 4

Voici une bien agréable façon de participer à la lutte contre l'effet de serre !



Sur les ailes de l'avion solaire



Destination Suisse : C'est à Payerne que Fleur (Journaliste IEJ, Paris) et Pierre (élève ingénieur ENSC, Lille) ont rencontré André Borschberg, pilote et cofondateur de Solar Impulse, qui leur a présenté l'avion solaire (Fig. 1).



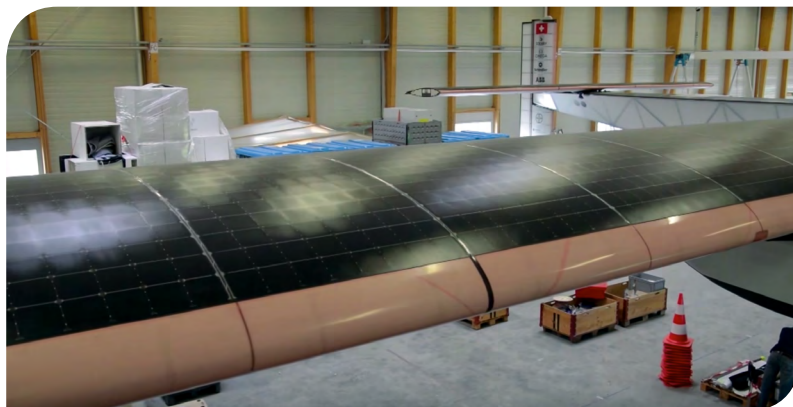
Figure 1

L'avion solaire.

L'avion solaire ne vole que grâce à l'énergie solaire. Pour cela, ses ailes de 36 m de long sont recouvertes chacune de 17 000 cellules photovoltaïques (Fig. 2).

Figure 2

Les cellules photovoltaïques des ailes de l'avion solaire.



De fait, les ailes représentent 90 % de l'avion solaire qui doit être le plus léger possible, et il faut les protéger, notamment de l'humidité au-dessus et au-dessous.

Pour les protéger, on les recouvre d'un film polymère, ultra-fin, ultra-résistant et bien sûr ultra-transparent : le Halar® ECTFE, fabriqué par Solvay.



Pierre et Fleur sont donc allés visiter le centre de Recherche et Développement de Solvay à Bollate près de Milan où est fabriqué le Halar® ECTFE. Serena Carella, responsable R&D, leur explique comment il est obtenu par copolymérisation de l'éthylène et du trifluoro-chloroéthylène (Fig. 3). Le trifluoroéthylène donne au copolymère sa résistance et ses bonnes propriétés mécaniques.

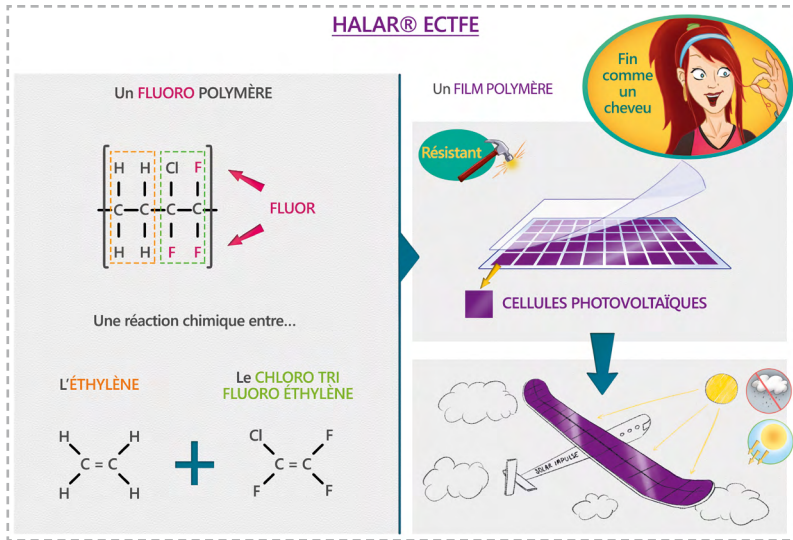


Figure 3

Principe de préparation du Halar.

Le Halar est obtenu sous forme de pastilles ou de granulés qui sont ensuite mis en forme selon le type d'application souhaité. Pour protéger les ailes de l'avion solaire, les granulés de Halar sont fondus puis étalés sous forme de film de 20 µm d'épaisseur (l'épaisseur d'un cheveu) (Fig. 4).

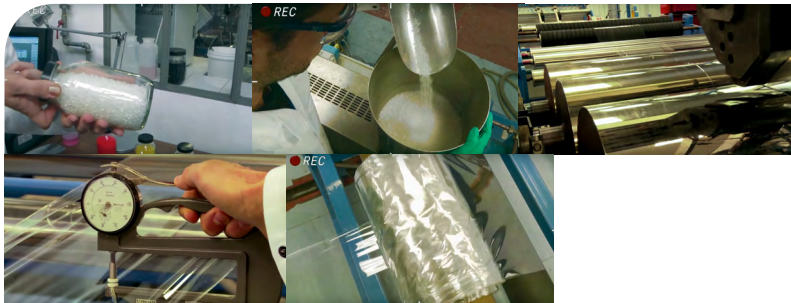


Figure 4

Préparation du film de Halar.

Luciano Mozzo est directeur de R&D pour les applications aux cellules photovoltaïques.



Sur la *figure 5*, il montre à Fleur et Pierre comment on encapsule les cellules photovoltaïques de l'avion solaire avec le film de Halar.

Figure 5

Encapsulation des cellules photovoltaïques de l'avion solaire dans un film de Halar.



Ensuite, il faut tester la transparence et vérifier que le film de Halar est aussi transparent que le verre.

Le Halar est également utilisé pour protéger les modules photovoltaïques commerciaux que l'on met sur les toits des maisons (*Fig. 6*).

Figure 6

Les autres applications photovoltaïques du Halar.

