

> (feuillets de carbone). En décharge, c'est-à-dire quand la cellule fournit de l'électricité à un appareil, les atomes de lithium liés au carbone de l'anode se dissocient en ions positifs, Li^+ , et en électrons (selon la réaction $\text{Li}_x\text{C}_6 \rightarrow x\text{Li}^+ + xe^- + \text{C}_6$) ; les électrons partent dans le circuit externe, tandis que les ions Li^+ se déplacent en sens inverse à travers l'électrolyte jusqu'à la cathode ; ces ions s'insèrent dans le matériau de l'électrode et se recombinaient avec les électrons provenant du circuit électrique externe (selon la réaction $\text{MO}_2 + x\text{Li}^+ + xe^- \rightarrow \text{Li}_x\text{MO}_2$, où MO_2 désigne l'oxyde métallique). En situation de charge, c'est l'inverse.

La différence entre les potentiels électrochimiques des matériaux des deux électrodes détermine la tension électrique fournie par la cellule. L'étendue des réactions (traduite par le facteur x dans les réactions indiquées ci-dessus) détermine quant à elle la capacité de stockage de charge, c'est-à-dire la charge électrique maximale accumulée. L'énergie stockée est le produit de la tension par la capacité ; elle s'exprime en wattheures par litre (Wh/L) ou en wattheures par kilogramme (Wh/kg), la puissance fournie s'exprimant en watts (W).

Vers le milieu du xx^{e} siècle, afin de mettre au point de meilleures batteries en termes de puissance (énergie fournie par unité de temps), d'autonomie ou de capacité (charge électrique stockée), de durée de vie, etc., les scientifiques ont commencé à s'intéresser au lithium, métal qui a l'avantage d'être très léger. Dans les années 1970, des chercheurs ont remarqué la faculté de certains matériaux à intégrer, de façon réversible, des ions Li^+ dans leur structure sans que celle-ci se déstabilise. Cette propriété, associée au fort pouvoir réducteur du lithium, c'est-à-dire la propension des atomes de lithium à céder un électron, promettait des densités d'énergie deux à trois fois supérieures à celles des batteries de l'époque.

Ainsi, en 1976, l'Américain Stanley Whittingham (Prix Nobel de chimie en 2019), travaillant chez Exxon, fit la démonstration d'une batterie lithium-métal, avec une anode métallique en lithium et une cathode constituée d'un matériau dit « d'insertion » ou « d'intercalation » à structure lamellaire, le disulfure de titane (TiS_2), où les ions Li^+ s'insèrent aisément ; l'eau étant incompatible avec le lithium, on a remplacé l'électrolyte aqueux des anciennes techniques par un électrolyte organique (du sel de lithium, LiPF_6 , dissous dans du carbonate de propylène).

Malheureusement, cette configuration de batterie présentait des problèmes de sécurité persistants. En effet, lors de la charge et décharge des accumulateurs, des dendrites de lithium (amas de cristaux de forme

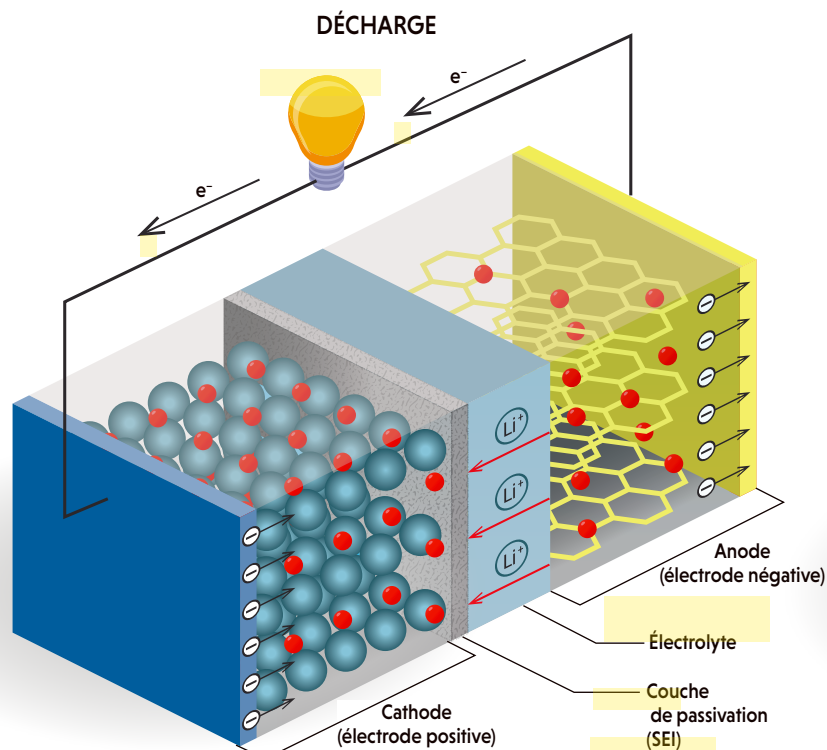
arborescente) se formaient sur l'anode et pouvaient croître suffisamment pour atteindre la cathode et ainsi provoquer un court-circuit. Les batteries pouvaient alors prendre feu, voire exploser, lors de leur utilisation.

Face à ce défi, les scientifiques ont adopté deux stratégies. L'une est d'interposer entre l'anode de lithium métallique et la cathode une barrière matérielle ; c'est le principe des batteries lithium-métal-polymère de Blue Solutions, filiale du groupe Bolloré. L'autre stratégie consiste à diminuer l'activité du lithium métallique de l'anode en le remplaçant par un matériau d'intercalation pour les ions Li^+ , généralement du graphite, forme lamellaire du carbone. C'est ce qui a donné naissance au concept des batteries Li-ion dans les années 1980 et qui a rendu possible la commercialisation par Sony, en 1991, des premières batteries de ce type.

Depuis, les performances des batteries Li-ion ont beaucoup progressé. Leur densité d'énergie produite a ainsi plus que doublé : elle est passée de 100 Wh/kg à 240 Wh/kg aujourd'hui (à comparer par exemple avec les 40-50 Wh/kg des batteries au plomb-acide). Un rythme de progression inédit, la densité d'énergie des batteries n'ayant jusque-là que doublé en un siècle.

LE FRUIT D'UN TRAVAIL DE LONGUE HALEINE

Le succès des batteries Li-ion est le fruit d'un travail de longue haleine mené par de nombreux scientifiques et ingénieurs, qui ont dû lever plusieurs verrous techniques et scientifiques tant au niveau des matériaux d'électrodes, des électrolytes et de leurs interfaces que des configurations de cellules.



Une batterie est un assemblage de cellules électrochimiques, chacune comportant une cathode, un électrolyte et une anode. Quand la batterie alimente un appareil électrique (décharge), l'anode fournit des électrons (e^-) au circuit externe, tandis que la cathode en reçoit ; simultanément, l'anode fournit des ions positifs au circuit interne, ions qui vont de l'anode à la cathode via l'électrolyte. Ainsi, lors de la décharge d'une batterie Li-ion, l'oxyde lamellaire de la cathode est le siège de réactions de « réduction » avec insertion d'un certain nombre x d'ions de lithium Li^+ et d'autant d'électrons, tandis que l'anode est le siège de réactions d'« oxydation » libérant x ions Li^+ et x électrons. En situation de charge, les réactions sont inversées.

PRIX BALZAN 2020

Jean-Marie Tarascon a été récompensé en 2020 par le prix Balzan (www.balzan.org) pour ses travaux « sur la science des matériaux pour les énergies renouvelables ».