

encapsulé dans un autre tube métallique. L'alumine utilisée ne conduit pas les électrons, mais elle est perméable aux ions sodium lorsque la température atteint environ 300 °C. Lorsque l'on charge l'élément à cette température de fonctionnement, les ions sodium traversent le tube d'alumine et sont réduits en sodium métallique, tandis que le nickel métallique est oxydé en ions nickel qui se combinent avec les ions chlorure. Le contact entre le chlorure de nickel ainsi formé et l'alumine est assuré par le chlorure d'aluminium et de sodium, liquide et conducteur des ions sodium à cette température. Le sodium métallique, très inflammable à l'air, ne se forme que pendant la charge, alors que l'ensemble est scellé.

Tout le courant qui circule dans l'accumulateur est utilisé dans la réaction que nous venons de décrire (ou pour la réaction inverse lors de la décharge) : il n'y a pas d'autre réaction

chimique possible. Il suffit de suivre en permanence le courant avec un dispositif électronique d'intégration pour connaître à tout instant le niveau de charge de la batterie. En outre, à température ambiante, l'alumine n'est pas perméable aux ions sodium : l'accumulateur peut rester chargé très longtemps sans être utilisé.

Une telle cellule a une tension à vide de 2,58 volts et une capacité de 32 ampères-heures. En associant une centaine de cellules en série, on obtient une tension d'environ 300 volts et, en associant en parallèle des groupes de cellules en série, on atteint des capacités de 64 ou 96 ampères-heures. La résistance électrique des cellules est telle que, si elles n'ont pas toutes le même niveau de charge, la répartition du courant s'équilibre.

Les cellules élémentaires sont assemblées debout, dans un boîtier isolé de l'extérieur par une double paroi sous vide. La température interne est

ajustée par un chauffage électrique et un réfrigérant qui assurent un bon fonctionnement de la batterie entre les températures extérieures de -40 °C à 75 °C. Les réactions de charge et de décharge de la batterie sont indépendantes de son niveau de charge : la même densité de puissance est fournie jusqu'à 80 pour cent d'utilisation de la charge.

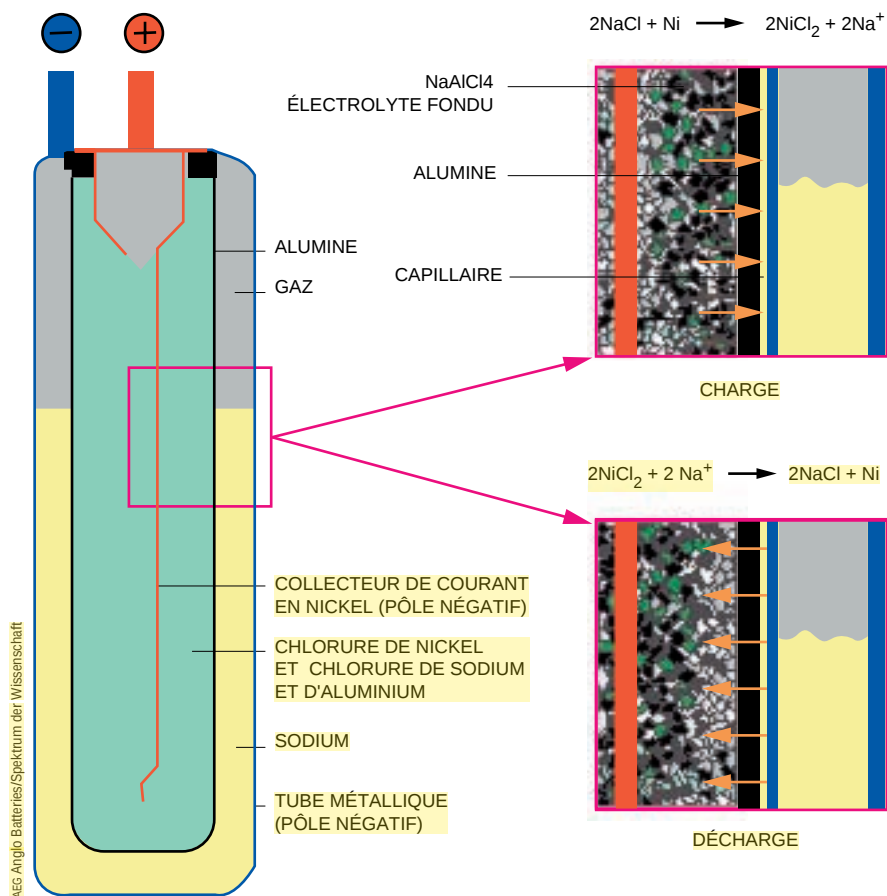
Cette batterie est fiable et sûre. Si une cellule tombe en panne, la capacité est réduite de moins d'un pour cent. Si le tube en alumine se casse, le sodium et le chlorure d'aluminium et de nickel réagissent, ce qui conduit à la formation d'aluminium métallique : les deux électrodes sont alors court-circuitées et le courant circule librement à travers la cellule, ce qui préserve le fonctionnement global de la batterie. La puissance ne diminue pas notablement tant que moins de cinq pour cent des cellules sont hors service.

Nous avons analysé le fonctionnement des batteries Zebra dans des conditions défavorables, et nous avons testé 210 spécimens dans des conditions normales d'utilisation, sur des bancs d'essai, ainsi que sur 75 véhicules dont les conducteurs ont parcouru au total 1,6 million de kilomètres. Quelques batteries ont fonctionné pendant quatre ans, certaines plus de 100 000 kilomètres, sans qu'une seule cellule ait été changée. Une durée de fonctionnement de dix ans paraît donc réaliste.

Une batterie sûre

Nous avons éliminé les deux risques que les accumulateurs font courir en cas d'accident : l'électrocution et la fuite de produits toxiques. Tout d'abord, un interrupteur général isole la batterie du reste du véhicule, en cas de choc violent. En cas de fausse manœuvre ou de panne des systèmes électroniques de contrôle ou de charge, le court-circuit déjà évoqué protège la batterie contre une charge ou une décharge excessives. Si des composants sont détériorés, le système s'éteint automatiquement.

En outre, lors d'une déformation violente d'une cellule, le tube d'alumine est le premier élément endommagé : le sodium liquide est immédiatement oxydé par le chlorure de sodium et d'aluminium, ce qui forme de l'aluminium et du chlorure de sodium ; toute fuite est ainsi bloquée.



3. UNE CELLULE DE LA BATTERIE ZEBRA est composée d'un tube en alumine encapsulé dans un tube métallique. Lors de la charge (à droite, en haut), le chlorure de sodium et le nickel contenus dans le tube d'alumine sont transformés en sodium et en chlorure de nickel. Les ions sodium traversent l'alumine et sont réduits en sodium métallique dans le tube métallique. La réaction inverse se produit lors de la décharge (à droite, en bas). Du chlorure de sodium et d'aluminium, liquide à la température de fonctionnement, assure la conduction dans le tube d'alumine.

Cette réaction chimique ne dégage que les deux tiers de l'énergie libérée par la réaction normale de décharge, qui ne peut plus se produire : l'aluminium et le chlorure de sodium formés recouvrent l'électrode négative d'une couche isolante.

Le boîtier métallique et les joints résistent à des températures atteignant 800 °C, et les températures d'ébullition élevées des matériaux contenus dans la cellule évitent une trop grande augmentation de la pression interne : il n'y a pas de dégagement gazeux. De même, dans le cas extrême où toute l'énergie serait dissipée sous forme de chaleur lors d'un court-circuit, la température interne resterait inférieure à 1 000 °C, et les parois externes atteindraient à peine 100 °C.

Au cours d'un essai, nous avons laissé tomber verticalement, sur une glissière fixe de sécurité, une batterie entièrement chargée et à la température interne de 300 °C. Le choc s'est produit à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure : toutes les cellules ont été détruites, et presque toute l'énergie contenue dans la batterie s'est transformée en chaleur. Toutefois, il ne s'en est échappé qu'un peu de fumée blanche : de l'hydroxyde d'aluminium, inoffensif, et des traces d'acide chlorhydrique.

Naturellement, la batterie *Zebra* est en concurrence avec d'autres accumulateurs et, notamment, avec les batteries qui sont composées de nickel et d'hydrures métalliques. Leur densité d'énergie est inférieure de 30 à 40 pour cent, mais leur puissance massique est supérieure. Elles conviendraient particulièrement aux véhicules hybrides qui rechargent eux-mêmes leurs batteries pendant qu'ils roulent avec un moteur thermique.

Dans moins de dix ans, les batteries à base de lithium et d'hydrures métalliques, dont les caractéristiques électriques sont comparables à celles des batteries *Zebra*, seront utilisables dans les véhicules. La concurrence conduira les ingénieurs à améliorer leurs systèmes et à en mettre au point de nouveaux, et permettra ainsi le développement des voitures électriques.

Cord-Henrich DUSTMANN est directeur commercial de la Société *AEG Anglo Batteries*, à Ulm.
