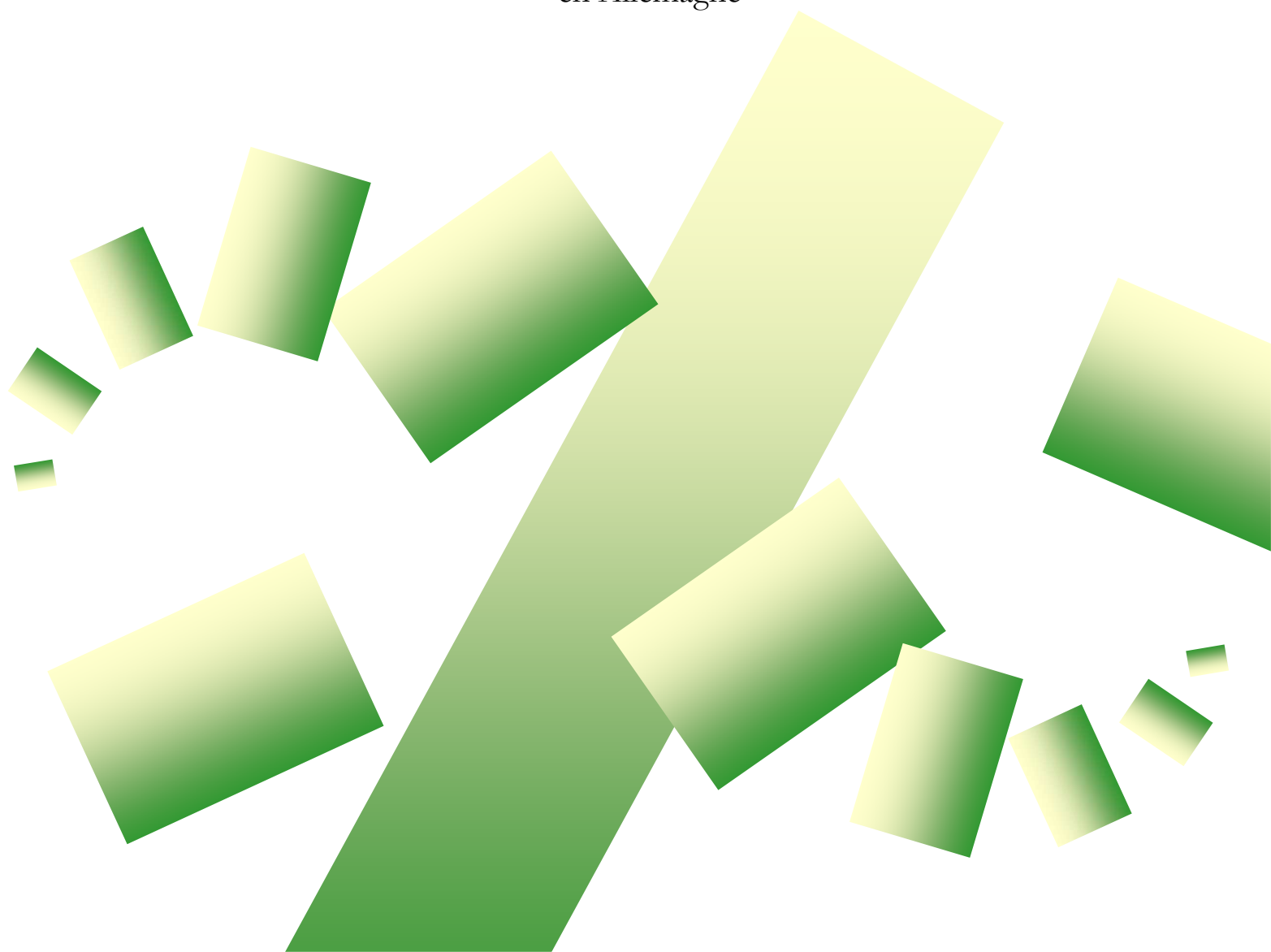


Technologies et développements pour les véhicules électriques de demain

Programmes de soutien pour l'hydrogène et les piles à combustible,
l'électromobilité et les travaux de recherche sur les batteries
en Allemagne



Directeur de publication : Mathieu J. Weiss
Directeur de la rédaction : Nadia Heshmati
Traduction : Jana Ulbricht

Publication gratuite de l'Ambassade de France en Allemagne. Tout ou partie de ce numéro ne peut être diffusé sans autorisation expresse du Service pour la Science et la Technologie de l'Ambassade de France en Allemagne.

Rédaction. Ambassade de France en Allemagne - Service pour la Science et la Technologie

Adresse postale : Pariser Platz 5, D-10117 BERLIN – Tél :+49 30 590 039 000, Fax:+49 30 590 039 265, Internet: <http://www.wissenschaft-frankreich.de>, E-mail : sciencetech@botschaft-frankreich.de

Sommaire

<i>Préface.....</i>	<i>3</i>
<i>Préparation du marché pour les technologies de propulsion et les carburants - Programme d'innovation national pour les technologies de l'hydrogène et les piles à combustible</i>	<i>5</i>
<i>Plan national de développement de l'électromobilité du Gouvernement fédéral allemand</i>	<i>8</i>
<i>La mobilité en mutation.....</i>	<i>12</i>
<i>L'alliance d'innovation LIB 2015 du BMBF pour la recherche sur les batteries lithium-ion.....</i>	<i>15</i>
<i>La région pilote Berlin-Potsdam – Une approche intégrative pour l'introduction de l'électromobilité.....</i>	<i>17</i>
<i>Gestion et contrôle de batteries dans les véhicules électriques et hybrides.....</i>	<i>20</i>
<i>Elaboration de concepts de sécurité pour les batteries de véhicules</i>	<i>23</i>
<i>Récupération des matières recyclables dans les futures batteries lithium-ion de véhicules</i>	<i>26</i>
<i>Intégration des véhicules électriques au réseau électrique</i>	<i>29</i>
<i>Véhicules à batterie et véhicules à piles à combustible - Partenaires ou concurrents ?.....</i>	<i>32</i>

Préface

Quel sera le véhicule de demain ? Une question à laquelle tentent actuellement de répondre nombre de politiques, chercheurs et industriels. De multiples solutions existent et les programmes de soutien mis en œuvre visent à encourager la recherche et le développement, notamment en matière de nouvelles technologies de propulsion et de stockage de l'énergie. Dans un contexte où les ressources pétrolières se font rares, le transport et ses effets sur l'environnement constituent un enjeu de la plus haute importance. Afin de relever le défi que constitue la diminution des émissions de CO₂, la filière automobile se doit de développer des propulsions alternatives innovantes, et l'Allemagne est l'un des acteurs majeurs en la matière. Le Gouvernement fédéral a lancé depuis quelques années de nombreux programmes de recherche et développement dans ce sens : l'un des objectifs actuels de l'Allemagne est de se positionner en tant que leader sur le marché de l'électromobilité qui cible les véhicules électriques et hybrides rechargeables. L'Allemagne s'est donné comme objectif de mettre en circulation un million de véhicules électriques sur le territoire allemand d'ici 2020.

Bien que la pile à combustible et l'hydrogène soient des solutions connues et développées depuis des décennies, leur transfert sur le marché n'est pas encore viable. Déjà en 2006, l'Allemagne avait lancé le programme national de soutien pour l'hydrogène et les piles à combustibles, basé sur un modèle de partenariat public-privé et visant à coordonner le développement d'applications stationnaires et mobiles de ces technologies, via des travaux de recherche appliquée et des projets pilotes.

Plus récemment, la batterie tire son épingle du jeu et suscite de grands espoirs par rapport aux autres technologies. A la suite d'une initiative créée en 2007 et rassemblant des industriels pour le développement de batteries lithium-ion, le Gouvernement fédéral a annoncé le lancement du plan national de l'électromobilité au mois d'août 2009, intégrant les travaux relatifs au stockage de l'énergie, avec un élargissement aux technologies de propulsion et à l'intégration des véhicules au réseau électrique. Dans le but de fédérer les acteurs et de favoriser le transfert technologique, des programmes et alliances pour l'électromobilité sont actuellement initiés par le Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche (BMBF) et les grands organismes de recherche allemands comme la communauté Helmholtz ou la société Fraunhofer, et de nombreuses alliances industrielles voient le jour. Les derniers développements s'orientent davantage vers un véhicule électrique alimenté par batterie : la batterie lithium-ion en particulier occupe une place importante dans les travaux actuels de recherche. En effet, de nombreux paramètres ne sont pas encore au point : autonomie de la batterie, taille, coûts, temps de recharge, sécurité, recyclage, intégration dans les véhicules, etc.

La présente édition du « Science-Allemagne » donne un aperçu des développements les plus récents en matière de batterie en Allemagne. Les grands programmes cadres de soutien aux différentes technologies mis en place au niveau fédéral et régional de propulsion alternatives y sont présentés : pour l'hydrogène et les piles à combustibles d'une part et pour le développement de batteries d'autre part. Plusieurs projets réalisés dans le développement et l'optimisation des batteries (matériaux, sécurité, recyclage, comparaison de technologies) sont également exposés. La mise en place des véhicules électriques engendre des synergies avec d'autres secteurs tels que celui de l'énergie. Ainsi, une analyse de l'intégration des véhicules électriques au réseau sera également intégrée à cette publication.

Préparation du marché pour les technologies de propulsion et les carburants - Programme d'innovation nationale pour les technologies de l'hydrogène et les piles à combustible

Klaus Bonhoff, Président du directoire de l'Organisation nationale dédiée aux technologies des piles à combustible et de l'hydrogène (NOW)

Klaus Bonhoff, né en 1968, a obtenu son doctorat à l'Institut de génie des procédés énergétiques au Centre de Recherche de Jülich (FZJ) en 1998, après avoir étudié le génie mécanique à l'Université RWTH d'Aix-la-Chapelle et à l'ENSTA à Paris.

Au cours de son parcours professionnel, Klaus Bonhoff a occupé différents postes dans le domaine des propulsions alternatives et du développement de piles à combustible (PAC). Dans le cadre de ces missions, Klaus Bonhoff a été, entre autres, porte-parole du Conseil stratégique allemand pour l'hydrogène et les PAC, directeur du groupe de travail « transportation » du panel d'implantation de la plate-forme euro-

péenne dédiée à l'hydrogène et aux piles à combustible (HFP), directeur du comité de pilotage du Clean Energy Partnership Berlin (CEP) ainsi que membre de la direction du World Fuel Cell Council / FC Europe.

Depuis février 2008, il est Président du directoire de l'Organisation nationale dédiée aux technologies des piles à combustible et de l'hydrogène (NOW). NOW est une société fédérale chargée de diriger et de coordonner la transposition du programme d'innovation nationale pour les technologies de l'hydrogène et les piles à combustible (NIP), qui repose sur un partenariat entre l'Etat, la recherche et l'industrie.

Il est difficile d'estimer combien de temps il reste avant que les réserves de pétrole ne s'épuisent. Les experts sont néanmoins d'accord sur un point : cette ressource sera, à l'avenir, de plus en plus rare et donc de plus en plus chère. Cette évolution doit être analysée dans le contexte suivant : les fortes émissions de CO₂ induisent des modifications climatiques. Au vu de ces données, nous nous retrouvons devant d'importants défis économiques et environnementaux. C'est pourquoi nous devons trouver des alternatives au pétrole et au gaz commercialisables et qui permettront de réduire l'impact négatif sur l'environnement tout en étant rentables. Surtout que le site d'activités économiques et industrielles qu'est l'Allemagne, veut garder, de façon durable, sa position de leader dans le domaine de la mobilité. Afin d'atteindre les deux objectifs de protection du climat et de rentabilité, l'industrie, la politique et la recherche doivent élaborer conjointement de nouvelles solutions pérennes.

L'hydrogène utilisé comme carburant dans le domaine du transport et les piles à combustibles, étant une technologie efficace dans tous les domaines d'approvisionnement en énergie, peuvent, dans un avenir proche, contribuer de façon importante au respect de l'environnement et à la création durable d'emplois en Allemagne. L'électromobilité doit également être considérée sous cet aspect, car, l'Allemagne mise pour l'avenir sur la diversification des technologies de propulsion et des carburants.

Dans ce contexte, l'Allemagne doit tirer parti de son excellente position de départ et bénéficier de son avance technologique actuelle pour développer le marché. En n'agissant pas assez vite, l'Allemagne

risque d'être devancée par d'autres pays. Les carburants, les technologies de propulsion et d'énergie ne seraient ainsi pas conçus en Allemagne, mais seraient importés depuis le Japon, la Corée ou les Etats-Unis.

NIP – Le programme d'innovation nationale pour les technologies de l'hydrogène et les piles à combustible

Le Gouvernement fédéral a reconnu cette problématique et mis en place, en coopération avec des partenaires importants de l'industrie et de la recherche, un programme national d'innovation sur les technologies des piles à combustible et de l'hydrogène (NIP). Le NIP doit contribuer à l'accélération de la préparation du marché allemand pour les applications des piles à combustibles et de l'hydrogène, afin d'arriver dans les meilleurs délais à commercialiser et à industrialiser ces produits. Outre les activités dans le domaine de la recherche fondamentale, ce sont notamment les grands projets de démonstration de systèmes qui sont soutenus par ce programme.

Le budget global du NIP prévu pour une période de 10 ans (jusqu'en 2016) s'élève à 1,4 milliard d'euros. Cette somme est prise en charge à part égale par l'Etat fédéral – via le Ministère fédéral de l'économie et de la technologie (BMW) et le Ministère fédéral des transports, de la construction et du développement urbain (BMVBS) – et par l'industrie. Pour la préparation du marché des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible, le NIP a identifié trois domaines : « transport et infrastructure de l'hydrogène », « approvisionnement en énergie stationnaire » et « marchés spéciaux ».

Au sein du NIP, les projets individuels sont regroupés selon les thématiques ou suivant les régions. Ainsi, des clusters de projets sont créés, permettant, d'une part, la réalisation de larges projets de démonstration plus proches de l'utilisation quotidienne et, d'autre part, une meilleure visibilité des projets et un apprentissage réciproque des partenaires. Les projets ainsi regroupés sont appelés « projets-phares ». Ces projets de démonstration constituent la plus grande partie du NIP. Environ 65% des moyens financiers du NIP sont destinés à faire la preuve de la fonctionnalité et de la fiabilité des composants et des systèmes et, de cette manière, à préparer leur commercialisation de façon systématique.

NOW – Organisation nationale dédiée aux technologies des piles à combustibles et de l'hydrogène

Le Gouvernement fédéral a créé, en février 2008, par le billet du Ministère fédéral des transports, de la construction et du développement urbain (BMVBS), l'Organisation nationale dédiée aux technologies des piles à combustibles et de l'hydrogène (NOW) qui est chargée de la coordination et la gestion du NIP. Depuis, la NOW constitue l'interface d'une alliance stratégique entre l'Etat fédéral, l'industrie et la recherche. Outre l'organisation et la coordination du NIP, les missions de la NOW comprennent l'évaluation des projets de démonstration déposés, la mise en relation des projets de démonstration avec les activités de recherche et développement et les tâches transversales (travaux d'étude, communication des objectifs du NIP et maintien des relations internationales dans le domaine des piles à combustible et de l'hydrogène).

Dans cette fonction, elle complète les tâches classiques des gestionnaires de projet. Au sein de ses comités, la NOW réunit régulièrement développeurs de technologies, chercheurs et hommes politiques et met à leur disposition une plate-forme dédiée à l'avancement du NIP adaptée à leurs besoins. Formuler des objectifs politiques, faire avancer les technologies, préparer les marchés – un processus intégré, au sein duquel les partenaires se donnent sans cesse de nouvelles impulsions et réactions de qualité (feedbacks). Ainsi, les qualités spécifiques de chaque partenaire sont idéalement mises en valeur.

Depuis la création récente de la NOW, de nombreux projets innovants ont déjà pu être lancés. Plusieurs entreprises ont en effet attendu le lancement de la NOW pour réaliser des projets en commun déjà planifiés. Jusqu'en avril 2009, 170 projets ont été déposés chez la NOW pour être discutés et évalués. Les projets déposés représentent un budget total de 663 millions d'euros. Les partenaires des projets sont non seulement les entreprises multinationales de l'industrie automobile, de l'énergie et des hydrocarbu-

res, mais aussi des PME (par exemple pour le chauffage et les articles de loisir), les transports publics, les organismes scientifiques spécialisés et les initiatives technologiques fédérales.

Mobilité – NIP

Le Clean Energy Partnership (CEP) sert de modèle pour les projets de mobilité soutenus par le NIP. En septembre 2008, le CEP est entré dans sa deuxième phase [1]. 48% du budget global du CEP sont depuis financés par le NIP. Les partenaires du CEP sont les 12 entreprises suivantes : BMW Group, Berliner Verkehrsbetriebe BVG, Daimler, Ford, General Motors/Opel, Hamburger Hochbahn, Linde, Shell, StatoilHydro, TOTAL, Vattenfall Europe, ainsi que Volkswagen. En collaboration avec ces entreprises, la NOW veut prouver que l'hydrogène peut déjà aujourd'hui être utilisé de façon sûre par n'importe quel usager de la circulation routière et qu'un recours aux énergies renouvelables sera bénéfique pour la mise à disposition de l'hydrogène (voir également [2]). Le CEP se concentre d'abord sur les villes-clés que sont Berlin et Hambourg. Il constitue le plus grand projet de démonstration de ce type en Europe.

Environ 40 véhicules circulent actuellement à Berlin et à Hambourg ainsi qu'une flotte de bus dans chacune de ces villes. Jusqu'en 2010, cette flotte de véhicules sera probablement considérablement agrandie. L'extension du réseau des stations-services sera accélérée en parallèle. Berlin dispose aujourd'hui d'une station-service fixe et de deux stations mobiles. D'autres stations fixes seront intégrées d'ici 2010 dans les stations-services traditionnelles et publiques déjà existantes. A Hambourg, une station-service dans la Hafencity complètera le système d'approvisionnement existant. La région du carburant à hydrogène Berlin-Hambourg prend de plus en plus d'ampleur.

Electromobilité

Au début de l'année 2009, le Gouvernement fédéral a annoncé un investissement de 500 millions d'euros dans le cadre de son deuxième plan de relance, notamment pour le développement de la technologie des accumulateurs (voir p. 9). Ce budget comprend également le programme « régions pilotes pour l'électromobilité » (voir p. 18) du BMVBS. Ce nouveau programme, géré par la NOW tout comme le NIP, vise à faire de l'Allemagne un leader sur le marché de l'électromobilité. Cela veut dire qu'outre le renforcement des compétences technologiques, c'est la création de régions pilotes – transport individuel, transport public, transport de biens – qui figure au premier plan. Dans ces régions pilotes, constructeurs, gérants des infrastructures et clients seront impliqués dans ce projet.

Coopération internationale – Conférence mondiale sur l'hydrogène en 2010 à Essen

Pour finir, la coopération internationale représente un facteur important pour le succès des piles à combustibles et de l'hydrogène. La NOW est intégrée dans le travail de l'International Partnership for the Hydrogen Economy (IPHE) et entretient des relations bilatérales intenses avec la Commission européenne ainsi qu'avec les pays réalisant des programmes ambitieux sur les piles à combustibles et l'hydrogène comme le Japon ou les Etats-Unis.

De plus, l'Allemagne accueillera la prochaine conférence mondiale sur l'hydrogène en 2010 à Essen [3]. L'un des objectifs principaux de cet événement est de donner aux entreprises allemandes spécialisées et aux organismes scientifiques et publics allemands un signal clair pour les technologies des piles à combustibles et de l'hydrogène. Les technologies des accumulateurs, des piles à combustibles et de l'hydrogène joueront un rôle essentiel pour la mobilité du futur. Pour l'Allemagne et l'Europe, il s'agit de garder des positions de leader du marché et de rendre les technologies commercialisables localement.

Liens complémentaires

[1] <http://www.cleanenergypartnership.de>

[2] <http://www.germanhy.de>

[3] <http://www.18whec2010.de>

Contact

Dr Klaus Bonhoff
Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW)
<http://www.now-gmbh.de>

Téléphone +49 (0)30 311 6110 10
E-mail klaus.bonhoff@now-gmbh.de

Plan national de développement de l'électromobilité du Gouvernement fédéral allemand

Dr Uwe Lahl, Directeur général, Ministère fédéral de l'environnement, de la protection de la nature et de la sûreté nucléaire (BMU)

Entre 1986 et 1991, Uwe Lahl, né le 20 mars 1951, a travaillé comme conseiller pour la ville de Bielefeld. Pendant la même période, il a été également chef du service de la protection de l'environnement et de la santé, et a dirigé l'installation d'incinération des déchets et le syndicat intercommunal de la décharge publique à Bielefeld-Herford. Entre 1992 et 1994, il a été secrétaire d'Etat auprès du sénateur de la protection de l'environnement et de l'aménagement du territoire du Land de Brême. Entre 1994 et 2001, il a

dirigé l'entreprise BZL (communication et direction de projet) à Oyten. En 1996-97, il a dirigé l'association d'ingénieurs pour la protection technique de l'environnement à Berlin-Sarrebruck. Depuis 2001, il est directeur général au sein du Ministère fédéral de l'environnement, de la protection de la nature et de la sûreté nucléaire (BMU) et directeur du service pour la protection contre les émissions, la santé, la sûreté des installations, le transport et la sécurité des substances chimiques.

Le Gouvernement fédéral a annoncé un plan national de développement de l'électromobilité (NEPE) dans le cadre de la réalisation du plan intégré « énergie et climat » (IEKP,[1]). Celui-ci a été adopté au Conseil des ministres fédéraux le 19 août 2009 [2].

L'objectif du plan NEPE, élaboré par les Ministères fédéraux de l'environnement, de l'économie, des transports et de la recherche (BMU, BMWi, BMVBS et BMBF), consiste à faire avancer la R&D, la préparation du marché et la commercialisation des véhicules électriques à batteries en Allemagne. Pour cela, le potentiel, les défis et les champs d'action ont été identifiés, les objectifs définis et les recommandations d'action formulées. Cette analyse sera appliquée à chacun des domaines suivants : les accumulateurs d'énergie, la technique des véhicules, l'intégration à l'infrastructure et au réseau ainsi que les conditions générales de ce secteur.

Dans le NEPE, le développement du marché est prévu en trois phases :

1. Préparation du marché jusqu'en 2011 ;
2. Lancement du marché jusqu'en 2016 ;
3. Marché de masse à partir de 2017.

D'ici à 2020, 1 million de véhicules électriques (VE) devraient être introduits sur le marché allemand, de façon à positionner l'Allemagne en tant que leader sur le marché de l'électromobilité [3].

500 millions d'euros provenant du deuxième plan de relance du Gouvernement fédéral ont été déjà prévus pour la première phase du NEPE [4]. Ces moyens permettent de soutenir des projets dans la fabrication de batteries, le développement de véhicules, l'intégration au réseau et d'établir des régions pilotes pour l'électromobilité. Pour les phases suivantes, le NEPE prévoit une pérennisation de ces moyens : un

programme d'incitation à l'achat devrait entre autres être testé. Selon le BMU, ce programme est nécessaire à moyen terme pour permettre la commercialisation de véhicules électriques. Toutefois, le moment devra être choisi de façon à ce que les véhicules produits en Allemagne profitent aussi de ce soutien.

Concernant la priorité du BMU de coupler les véhicules électriques aux énergies renouvelables [5], les propositions ont été améliorées dans le NEPE par rapport à celles de l'IEKP. Il est précisé dans le NEPE que l'exploitation des sources d'énergie renouvelable sera renforcée pour couvrir le besoin supplémentaire en électricité, si l'intégration des véhicules électriques au réseau n'induit pas déjà une augmentation (suffisante) de l'électricité de source renouvelable. Cela est uniquement valable pour les véhicules électriques qui s'intégreront aux réseaux des régions où l'offre en énergies renouvelables dépasse parfois la demande globale en électricité. C'est pourquoi il est indispensable que l'exploitation des énergies renouvelables soit renforcée.

Comme l'électromobilité concerne différents acteurs politiques, industriels, scientifiques, ainsi que les communes et les consommateurs, il est nécessaire d'encadrer leur coopération de façon institutionnelle. On prévoit à cet effet la création d'une « plate-forme pour l'électromobilité » dédiée à la réalisation et à l'approfondissement du plan NEPE. Au niveau du Gouvernement fédéral, cette fonction est confiée à un département pour l'électromobilité (BMU, BMWi, BMVBS, BMBF). De plus, une instance de coordination des gestionnaires de projet doit être créée pour décider, dans un premier temps, des projets qui seront soutenus dans le cadre du deuxième plan de relance.

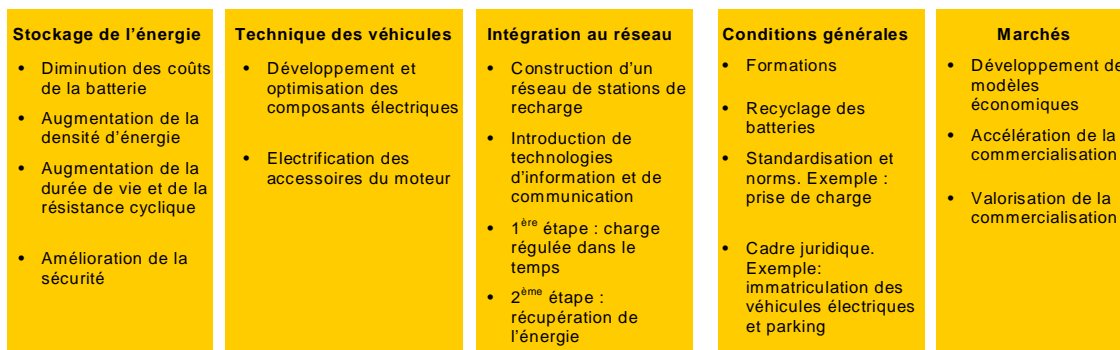


Figure 1 : Champs d'action prioritaires du plan national de développement de l'électromobilité

Avec ce plan de relance, le Gouvernement fédéral a posé les bases pour la première phase du NEPE. D'ici 2011, environ 500 millions d'euros seront investis dans la recherche et le développement des véhicules électriques et leurs batteries, dans l'intégration de ces véhicules aux réseaux et dans l'infrastructure. Cependant, l'électromobilité est encore en chantier : malgré l'euphorie déclenchée par ses avantages, des obstacles existent et ne doivent pas être perdus de vue. Les fabricants de batteries, l'industrie automobile et les entreprises publiques du secteur de l'électricité ont encore besoin de quelques années pour que tous les composants soient à la fois techniquement au point, à prix abordable pour le grand public et pour qu'un réseau de stations de recharge soit installé. Une production de véhicules électriques plus importante en Europe n'est pas envisageable avant 2012.

soutenir cette phase de lancement difficile. A titre de comparaison : le succès de l'industrie photovoltaïque allemande a commencé il y a environ 10 ans avec le lancement du programme gouvernemental « 100.000 toits solaires ». Ce dernier avait permis la vente de modules alors encore très chers. Aujourd'hui, l'industrie allemande est l'un des leaders mondiaux dans ce secteur. Avec un programme intitulé « 100.000 véhicules électriques », un tel succès peut être réitéré. Une fois que les voitures seront produites en série, cette industrie se développera d'elle-même. C'est pourquoi on examine, dans le cadre du NEPE et à l'exemple d'autres pays, l'attribution en Allemagne d'une subvention publique de, par exemple, 5.000 euros à l'achat d'une voiture électrique.

Un autre sujet concerne l'exonération fiscale, à durée limitée, pour les véhicules électriques en Allemagne. Une prolongation de cette exonération est discutée.

Une grande responsabilité revient donc aux pouvoirs publics qui devraient alors soutenir davantage l'achat de VE écologiques neufs. Certains pays, comme les

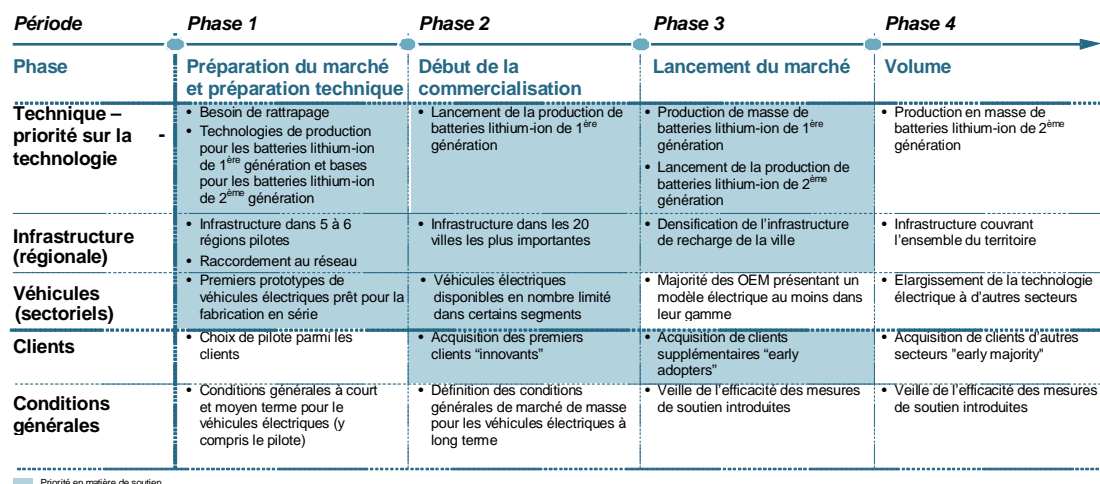


Figure 2 : Priorités de soutien de l'électromobilité

Il est indispensable de passer de la R&D à la commercialisation. Le plan de développement de l'électromobilité du Gouvernement fédéral prévoit de lancer la première phase à partir de 2012. L'objectif pour 2020 est de faire rouler au moins un million de véhicules électriques sur les routes allemandes. Au vu de la crise économique qui touche notamment l'industrie automobile, cet objectif constitue un vrai

Etats-Unis, la Chine, la France, la Grande-Bretagne et le Portugal, ont déjà lancé des programmes d'incitation à l'achat bien qu'il n'y ait pratiquement pas de véhicules fabriqués en série. Ainsi, ils influencent adroitement le choix de nouvelles implantations de l'industrie automobile, comme l'illustre cet exemple : Nissan a annoncé récemment la construction de ses premières usines de fabrication de VE au Portugal et en Grande-Bretagne, car les conditions fondamentales y sont les plus favorables. En Allemagne, l'acquisition par les pouvoirs publics d'un quota de véhicules électriques neufs dès que ces derniers seront commercialisés reste à décider.

Les VE vont introduire de grands changements, comme par exemple le modèle économique : dans un

premier temps, les véhicules électriques seront plus chers que les véhicules conventionnels, car la batterie à elle seule coûte déjà bien plus que 5.000 euros. Une partie des coûts supplémentaires s'amortira à long terme grâce à la faible consommation des VE : les coûts énergétiques pour parcourir une distance de 100 kilomètres s'élèveront à environ 3 euros. Mais la plupart des acheteurs privés calculent autrement : pour eux, c'est le prix d'achat qui compte. Si l'industrie automobile ou d'autres acteurs, comme les fournisseurs d'énergie, proposent des crédits-bails attractifs pour l'acquisition des batteries, l'acheteur pourrait changer d'avis en prenant en compte l'amortissement. Il est également à noter que les batteries modernes gardent une grande valeur résiduelle même si leur performance est moins haute après un certain vieillissement. Les fournisseurs d'énergie pourraient les utiliser par la suite comme accumulateurs stationnaires permettant de stabiliser le réseau électrique.

Le propriétaire d'un véhicule électrique peut non seulement économiser de l'argent grâce aux bas coûts énergétiques, mais il peut également gagner de l'argent : en principe, la voiture est comme un bien immobilier. Durant une journée, elle reste immobile environ 23 heures. Au lieu de laisser la voiture inactive au garage, elle peut être connectée au réseau électrique et servir d'accumulateur d'énergie pour les fournisseurs d'électricité ou les exploitants d'éoliennes. Avec des bonus accordés aux centrales thermiques à cycle combiné, le BMU a déjà soumis une proposition relative à la rémunération de cette prestation de service dans le cadre de la loi sur les énergies renouvelables.

La transition des véhicules équipés d'un moteur à combustion interne (concept vieux de 100 ans) aux véhicules électriques est proche. La question est seulement de savoir quand elle aura lieu et où. L'Allemagne est un leader dans la construction automobile ainsi que dans les technologies environnementales et énergétiques, grâce à un grand nombre d'ingénieurs compétents et des consommateurs sensibles à la problématique environnementale. La politique, l'industrie et les associations doivent se rapprocher dans le cadre de la « plate-forme nationale pour l'électromobilité », annoncée par le Gouvernement allemand, et s'accorder sur les étapes à suivre dans la commercialisation des VE.

Si nous nous y prenons correctement, nos petits-enfants se retrouveront un jour dans un musée devant une limousine archaïque datant de l'ère industrielle et ils se demanderont quelle fonction a bien pu avoir le pot d'échappement.

Conclusions

Tous les grands pays industrialisés ou fortement avancés en matière d'industrie automobile travaillent de façon intensive sur la thématique des VE. Entre-

temps, un grand nombre de pays a lancé des plans nationaux de développement de l'électromobilité prévoyant des budgets conséquents. Ainsi, aux Etats-Unis, 2,7 milliards de dollars sont réservés à cette thématique, avec une priorité sur la technologie des batteries (2 milliards de dollars).

La création de valeur des futurs véhicules de tourisme sera décalée [6]. Elle aura lieu à trois niveaux :

- La batterie ;
- Le modèle économique ;
- L'architecture de type « range Extender ».

Seul le dernier point offre à l'industrie automobile allemande ou européenne la possibilité de profiter de sa position actuelle de leader dans le secteur technique. Quant aux batteries, l'avantage technologique restera en Asie dans les 3 à 5 prochaines années. Il n'est pas certain que l'Europe ou les Etats-Unis puissent rattraper ce retard. C'est pourquoi des plans de relance ont été mis en place pour soutenir le développement de ce secteur.

Le sujet des « modèles économiques » est encore très peu pris en compte en Allemagne [7]. Le choix du modèle économique définissant la source d'électricité pour la batterie du véhicule peut avoir une forte influence sur la configuration de ce véhicule. Ce modèle économique devra permettre de proposer des véhicules à zéro émission de CO₂, souhaités par un grand nombre de constructeurs automobiles. Cependant, aucun de ces modèles économiques ne garantit que l'électricité mise à disposition dans les stations de recharge provienne directement d'énergies renouvelables. C'est pourquoi des questions fondamentales relatives au marché de l'énergie et à la contribution des VE à la gestion du réseau devront également être abordées. Dans le cas d'une telle contribution, des questions relatives aux mécanismes complexes de guidage électronique et aux paiements de boni et autres services de transfert devront aussi être prises en compte.

En Allemagne, l'industrie automobile n'est pas obligée de défendre une position de leader dans ce domaine, contrairement au secteur des propulsions conventionnelles. Bien au contraire : la mission est de rattraper le retard. Tandis qu'au Japon et aux Etats-Unis, les premiers modèles seront commercialisés dès l'année prochaine (2010), l'objectif de l'Allemagne est une introduction sur le marché en 2012 ou 2013.

Les grandes lignes du NEPE sont les suivantes :

- 500 millions d'euros pour l'électromobilité, issus du deuxième plan de relance ;
- Programme d'incitation à l'achat de 100.000 véhicules électriques ; objectif 2020 : 1 million de

- véhicules électriques immatriculés en Allemagne ;
- Mise en place d'une « plate-forme nationale pour l'électromobilité » réunissant différents acteurs politiques, industriels, scientifiques, ainsi que les communes et les consommateurs ; création de groupes de travail spécifiques ;
- Organisation d'une conférence internationale sur l'électromobilité prévue pour 2010 sur l'initiative du Gouvernement fédéral.

C'est uniquement grâce aux énergies renouvelables que les véhicules électriques pourront exploiter pleinement leur potentiel d'innovation écologique [8]. C'est pourquoi le Gouvernement fédéral plaide pour une couverture, par des énergies renouvelables, du besoin énergétique supplémentaire généré par les VE.

Afin de faire avancer le couplage des énergies renouvelables avec l'électromobilité, les mesures suivantes sont nécessaires :

- Prise en compte des VE en tant qu'accumulateurs dans le cadre de la loi sur les énergies renouvelables (EEG – bonus accordés aux centrales thermiques à cycle combiné) ;
- Prise en compte multiple des VE dans la réglementation des émissions de CO₂ des flottes de véhicules lors de l'utilisation d'énergies renouvelables. L'Allemagne va soutenir cette option lors de l'examen, en 2013, des objectifs spécifiques relatifs aux émissions de CO₂, dans le cadre de la réglementation limitant les émissions des véhicules particuliers ;
- Prise en compte globale de l'électricité provenant d'énergies renouvelables utilisée par les VE, définie dans les objectifs nationaux formulés dans la directive européenne relative à la promotion des énergies renouvelables.

Liens

- [1] http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gesamtbericht_iekp_en.pdf
- [2] http://www.bundesregierung.de/nn_1516/Content/DE/Mitschrift/Pressekonferenzen/2009/08/2009-08-19-regpk.html
- [3] "Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität: disponible sur service@bmu.bund.de
- [4] http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/elektromobilitaet_konjunkturpaket_ii_bf.pdf
- [5] voir aussi : http://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2009/24416946_kw20_elektroauto/index.html
- [6] <http://www.atzonline.de/index.php;do=show/id=9934/alloc=1>
- [7] Un modèle économique intéressant : <http://www.betterplace.com>
- [8] http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/elektromobilitaet_ee_arbeitspapier.pdf

Contact

Dr Uwe Lahl
 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und
 Reaktorsicherheit (BMU)
 Robert-Schuman-Platz 3
 D-53175 Bonn

Téléphone +49 (0)188 830 52400
 Fax +49 (0)188 830 52402
 Email uwe.lahl@bmu.bund.de

La mobilité en mutation

Dr Schlick, directeur du département technique et environnement auprès du VDA à Francfort

Thomas Schlick, né le 24 juin 1962 à Francfort-sur-le-Main, a fait ses études en génie mécanique à l'Université technique de Darmstadt. Depuis octobre 2003, il est directeur du département Technique et Environnement auprès de la fédération de l'industrie automobile allemande (VDA) à Francfort. Dans ce cadre, il s'occupe de sujets environnementaux essentiels tels que les émissions de gaz d'échappement et la

gestion de la qualité de l'air ainsi que d'autres thématiques transversales concernant la commission de normalisation automobile (FAKRA), la communauté de recherche sur les techniques automobiles (FAT) et le centre de gestion de la qualité QMC. De 1989 à 2003, il a occupé différents postes de direction chez Siemens/VDO ; entre 1994 et 1999, il fut directeur de Siemens / VDO en République tchèque.

Afin de répondre aux exigences de protection du climat, de garantir l'approvisionnement énergétique, de faire face aux prix croissants du pétrole et d'assurer la mobilité à prix abordable, l'industrie automobile intensifie ses efforts afin de rendre le transport routier moins dépendant du pétrole. Ceci implique un grand travail de recherche et développement. Aucune autre branche de l'industrie allemande n'investit autant dans l'avenir que celle de l'automobile. Les coûts de R&D pour le secteur automobile à lui seul s'élèvent à 18 milliards d'euros, représentant plus d'un tiers des dépenses globales de l'ensemble de l'industrie manufacturière en Allemagne. Une grande partie de ces dépenses concerne les technologies de réduction de la consommation et le développement de propulsions alternatives. S'affranchir du pétrole est un long parcours sur lequel l'industrie automobile doit être innovante et faire preuve de productivité. Il ne s'agit pas ici du développement d'une seule technologie mais plutôt d'une stratégie aux multiples aspects. Ainsi, le plan d'action de la fédération VDA se concentre sur la réduction de la dépendance vis-à-vis du pétrole et l'accès à une mobilité durable.

Chaque point de pourcentage d'efficacité gagné réduit la dépendance au pétrole. Les véhicules de l'industrie automobile allemande sont actuellement déjà très efficaces. Néanmoins, cette efficacité peut encore être optimisée. C'est pourquoi les ingénieurs allemands travaillent sur les nouvelles générations de moteurs, l'allègement des véhicules, l'optimisation des boîtes de vitesse et les propulsions hybrides qui permettront de réduire la consommation de carburant.

Peu de produits de consommation suscitent autant d'intérêt auprès de l'opinion publique que celui de l'automobile. Ce moyen de transport, le plus utilisé en Europe, se retrouve fréquemment au centre de vives discussions au cours desquelles de nombreuses propositions d'amélioration sont présentées au grand public et débattues.

La protection de l'environnement encouragée par la réduction des émissions de gaz d'échappement et de la consommation de carburant, la protection du climat et la préservation des ressources sont les sujets sur

lesquels les constructeurs et les fournisseurs se penchent quotidiennement avec succès. Les objectifs dans les différentes disciplines de développement sont clairs :

- L'industrie automobile contribuera à la protection du climat. La réduction des émissions de CO₂ et par conséquent la diminution de la consommation de carburant comptent parmi les priorités des constructeurs et des fournisseurs ;
- L'amélioration de la qualité de l'air sera également poursuivie de manière intensive. Un intérêt particulier sera porté aux émissions de particules et d'oxyde d'azote.

Protection du climat

Le bilan de la circulation routière en Allemagne vis-à-vis de la protection du climat est remarquable. Les émissions de CO₂ dues au trafic routier ont reculé d'un septième depuis 1999 – c'est-à-dire plus que dans n'importe quel autre pays industrialisé.

Entre 1999 et 2006, les émissions de CO₂ occasionnées par la circulation routière ont diminué de plus de 14% en Allemagne. Ceci correspond à une baisse de plus de 25 millions de tonnes. Même si ce résultat peut être en partie attribué à la pratique du « tourisme à la pompe », il s'explique avant tout par les techniques innovantes utilisées dans les véhicules ainsi que la tendance à privilégier le diesel par soucis d'économie de carburant. Alors que les véhicules allemands sont souvent qualifiés de grands consommateurs de carburant, c'est précisément l'Allemagne qui se trouve être précurseur dans la réduction des émissions de CO₂.

Protection de l'environnement et qualité de l'air

Les filtres à particules pour les véhicules diesel, les systèmes de réduction sélective catalytique (SCR) pour les poids lourds et l'amélioration de la motorisation constituent les éléments clés dans les technologies de propulsion propres. Dans les prochaines an-

nées, les émissions générées par la circulation routière diminueront encore plus. Dans ce secteur, les modèles calculatoires pronostiquent à l'horizon 2020 une réduction des émissions de 94% pour les hydrocarbures volatiles, de 86% pour les particules, de 90% pour les oxydes de carbone et de 73% pour les oxydes d'azote (par rapport à 1990).

Le concept de protection de l'environnement et du climat développé par les constructeurs et les fournisseurs au sein de la fédération VDA s'appuie sur différentes formes de propulsion. Il offre ainsi pour chaque type de transport et chaque utilisation du client la meilleure solution possible. Ce concept est défini sur les trois niveaux suivants :

- L'économie de carburant, c'est-à-dire l'amélioration de la propulsion conventionnelle, depuis l'entrée d'air jusqu'au pneumatique ;
- L'enrichissement par les biocarburants, notamment ceux de deuxième génération ;
- Le remplacement des mécanismes de propulsion actuels par des alternatives telles que la propulsion à hydrogène ou la mobilité électrique.

A plus long terme, le moteur thermique restera toutefois le concept de propulsion dominant. En effet, le moteur à essence ou le « clean diesel » sont encore loin de se trouver en fin de carrière : des mesures de post-traitement des gaz d'échappement et des gaz internes au moteur permettront d'exploiter tout leur potentiel.

Dans ce concept sont également inclus des systèmes innovants au niveau de la chaîne cinématique, allant de la boîte de vitesse jusqu'aux pneumatiques. De même, l'utilisation de carburants alternatifs en fait également partie.

Carburants

Un autre élément de la stratégie de la fédération VDA consiste à introduire sur le marché des carburants alternatifs tels que le gaz naturel ou les carburants liquides à base de gaz naturel. Les carburants alternatifs provenant de matières premières d'origine végétale peuvent nettement et durablement réduire la dépendance aux carburants fossiles. De plus, ils n'émettent que peu de CO₂ et de substances toxiques. L'Allemagne est aujourd'hui le pays où la consommation de biodiesel est la plus grande en Europe. De nouveaux carburants comme l'éthanol ou le BTL (Biomass to Liquid) vont compléter l'offre existante et augmenter encore la part sur le marché des carburants renouvelables. Les biocarburants de deuxième génération sont quasiment considérés comme neutres

en termes d'émissions de CO₂ et de substances toxiques et ne représentent pas une concurrence vis-à-vis de la production alimentaire. Par ailleurs, le besoin en biocarburants peut être entièrement couvert à partir des sources présentes en Europe, les importations ne sont donc pas nécessaires. Ces carburants permettent ainsi de s'approcher des objectifs qui sont la production de carburants respectueux de l'environnement et n'émettant que de faibles quantités de CO₂.

Prévisions pour l'avenir

Les progrès réalisés en matière de batteries ne stimulent pas uniquement le développement de véhicules hybrides. Les véhicules propulsés entièrement à partir de moyens de stockage d'énergie électrique modernes, constituent aussi à moyen terme une alternative possible permettant de réduire, de façon durable, les émissions de CO₂ au niveau de la circulation routière.

D'après les connaissances actuelles, la technologie des accumulateurs lithium-ion, déjà largement utilisée dans les appareils mobiles de télécommunication, présente également un fort potentiel dans l'industrie automobile. Elle permet de stocker des quantités d'énergie plus importantes avec un volume et un poids acceptables, remplissant ainsi une première exigence importante. Grâce aux accumulateurs lithium-ion, les véhicules auront une autonomie de 200 km et plus. Une utilisation en série requiert toutefois des critères supplémentaires. Outre une résistance aux vibrations et aux chocs fréquents, ces batteries ne devraient présenter aucun danger aux personnes en cas d'accident.

L'hydrogène, généré de manière renouvelable et donc vecteur énergétique respectueux de l'environnement et du climat, sera un moyen de propulsion de plus en plus important à long terme. Il sera soit utilisé pour l'alimentation des piles à combustibles soit directement injecté dans des moteurs thermiques.

A l'heure actuelle, l'hydrogène pourrait remplacer les carburants issus de matières premières fossiles tels que l'essence ou le diesel à condition qu'il soit généré de façon renouvelable. Dans le but de répondre au besoin croissant de mobilité de la population, les constructeurs automobiles coopèrent depuis des années avec d'importantes entreprises de l'industrie chimique, de l'industrie des hydrocarbures ainsi qu'avec des organismes de recherche publics. Cependant, il faut noter que la réalisation et le transfert de concepts techniques existants vers la production en série ne pourra se faire que sur le long terme.

Contact

Dr Thomas Schlick
Verband der Deutschen Automobilindustrie (VDA),
Westendstraße 61
D-60325 Frankfurt/Main

Téléphone +49 (0)699 7507-0
E-mail schlick@vda.de

L'alliance d'innovation LIB 2015 du BMBF pour la recherche sur les batteries lithium-ion

Gerd Schumacher, directeur du département nanotechnologies et du département des affaires internationales dans le secteur « nouveaux matériaux et chimie » au Centre de recherche de Jülich (FZJ)

Peter Weirich, coordinateur des mesures de soutien pour l'électrochimie et l'électromobilité au FZJ

Le porteur de projet Jülich (PtJ) assiste différents Ministères pour la réalisation de programmes publics : Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche (BMBF), Ministère fédéral de l'économie et de la technologie (BMWi), Ministère fédéral de

l'environnement (BMU) ou Ministères de différents Länder. Le PtJ a été établi au Centre de recherche de Jülich (FZJ) en 1974 et compte aujourd'hui plus de 400 collaborateurs qui travaillent également à Berlin et à Rostock.

L'alliance d'innovation pour la recherche sur les batteries lithium-ion (LIB 2015) fait partie de la stratégie high-tech du Gouvernement allemand. Elle vise à unir les compétences scientifiques et économiques dans la filière d'avenir très porteuse du développement d'accumulateurs d'énergie innovants pour les applications mobiles et stationnaires. Afin d'atteindre les objectifs climatiques internationaux, il est indispensable de passer des sources d'énergie fossiles à une production d'énergie neutre en CO₂ ou même à zéro émission de CO₂. Des accumulateurs d'énergie performants et bon marché sont nécessaires pour utiliser les énergies renouvelables (soleil, vent) de façon optimale. En effet, des intervalles notables entre l'instant même de la production et celui de la consommation d'énergie peuvent se présenter. Le développement d'accumulateurs d'énergie innovants et performants y joue un rôle clé. En parallèle, la raréfaction des combustibles fossiles favorise le développement de véhicules hybrides et électriques.

Les accumulateurs lithium-ion constituent une approche prometteuse dans le développement de moyens de stockage innovants. Depuis plusieurs années, la technologie lithium-ion est largement utilisée dans les appareils mobiles, les caméscopes et autres appareils électroniques. Cependant, un simple redimensionnement de la technologie ne suffit pas, les critères de sécurité et de puissance étant totalement différents. Les accumulateurs lithium-ion adaptés aux véhicules et aux applications stationnaires dans le secteur de l'énergie doivent présenter un potentiel de stockage et une fiabilité beaucoup plus élevés ainsi qu'une durée de vie plus longue que les moyens de stockage utilisés aujourd'hui dans les appareils électroniques. L'alliance d'innovation pour la recherche sur les batteries lithium-ion (LIB 2015) a été créée afin de répondre à cette problématique.

Cette alliance d'innovation a été initiée par le BMBF en coopération avec un consortium industriel réunissant les entreprises Bosch, BASF, Evonik, LiTec et Volkswagen. Dans le cadre de cette alliance, le BMBF soutient des projets de recherche à hauteur de 60 millions d'euros sur les trois prochaines années dans le cadre des programmes de soutien « Innovations de matériaux pour l'industrie et la société » (WING) et « Recherche fondamentale Energie 2020+ ». De leur côté, les initiateurs industriels impliqués dans l'alliance se sont engagés à investir, sur les trois prochaines années, 360 millions d'euros pour la recherche et le développement dans cette filière d'avenir porteuse. Les 60 millions d'euros du BMBF ont été attribués dans le cadre d'un appel à projet adressé à des consortiums rassemblant des acteurs scientifiques et économiques, des groupes de recherche, mais aussi des groupements industriels. Ils ont pu déposer leur candidature jusqu'au 31 août 2008.

Onze projets de collaboration de recherche appliquée ont été sélectionnés selon des critères précis. Les projets couvrent tous les développements dans le domaine des matériaux de cathode et d'anode, le développement des séparateurs, les travaux sur les couches de passivation SEI (solid-electrolyte-interfaces), les nouvelles électrodes, les études électrochimiques basiques, les nouvelles technologies de fabrication de cellules, le développement de systèmes innovants de gestion de batteries ainsi que les projets de démonstration. Ainsi, un consortium participant au projet de collaboration « HE-Lion » développe par exemple une nouvelle génération de batteries lithium-ion. Dans son travail, ce consortium examine des combinaisons de matériaux et des technologies de batterie actuellement utilisées. Il examine aussi les combinaisons de matériaux et approches technologiques encore discutées par la recherche et l'industrie au niveau international. Le projet global prend également en considération les réflexions relatives à l'intégration des batteries automobiles aux réseaux

électriques. D'autres projets se concentrent davantage sur des sous-domaines technologiques de la batterie. Un système intelligent de gestion de la batterie va être développé au sein du projet « Batman ». L'amélioration de la sécurité et de la fiabilité des batteries lithium-ion dans les véhicules se trouve au centre de ces travaux de recherche. Des analyses théoriques et modélisées sont menées à cet effet et les bases électrotechniques nécessaires sont développées. Le recyclage des batteries lithium-ion fait également l'objet de recherches. L'objectif du projet « Recycling » consiste à développer des processus de recyclage innovants, générant peu de déchets et garantissant une récupération économique des matériaux issus des batteries lithium-ion de véhicules. Ce processus se traduit par la récupération de l'électrolyte suivie d'une fusion de la masse d'électrodes permettant d'obtenir du concentré de poussières volantes lithiées ainsi qu'un alliage composé de métaux de valeur comme le cobalt ou le nickel. Parallèlement aux projets techniques, des feuilles de route sont préparées notamment pour déterminer les aspects de durabilité de la technologie lithium-ion. En se basant sur les caractéristiques de différents types de batteries lithium-ion, les questions de disponibilité des matières premières et de recyclage sont traitées et intégrées dans une feuille de route spécifique au produit.

L'analyse des scénarios aide à identifier les obstacles le long de la chaîne de création de valeur.

Pour évaluer les projets, des jalons temporels et techniques ont été définis et des critères d'arrêt ont été déterminés pour la deuxième moitié de la période de projet. Les travaux sont également soumis à une évaluation technique continue réalisée par le porteur de projet du BMBF. De plus, les résultats obtenus seront discutés régulièrement lors de séminaires spécialisés non-publics, auxquels tous les membres de l'alliance d'innovation LIB 2015 participent.

Tous les projets de collaboration ont pu être lancés au début de l'année 2009. En outre, trois projets d'instituts reçoivent un soutien pour l'étude du recyclage et de l'utilisation des nanomatériaux dans les accumulateurs lithium-ion. Enfin, trois groupes de jeunes chercheurs reçoivent un soutien pour des travaux plus orientés vers la recherche fondamentale.

Les projets de recherche sont conçus pour une période de trois ans ou plus. Les résultats obtenus lors de ces travaux de recherche pourraient initier une série de nouvelles impulsions d'ici 2015, au profit de la technologie lithium-ion.

Contacts

Dr Gerd Schumacher
Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
<http://www.fz-juelich.de>

Téléphone +49 (0)246 161-3545
E-mail g.schumacher@fz-juelich.de

Dr Peter Weirich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Nationale Kontaktstelle Werkstoffe
Geschäftsbereich Neue Materialien und Chemie
(NMT)

Téléphone +49 (0)246 161-2709
Fax +49 (0)246 161-2398
E-Mail p.weirich@fz-juelich.de

La région pilote Berlin-Potsdam – Une approche intégrative pour l'introduction de l'électromobilité

Thomas Meißner, directeur de la TSB-FAV à Berlin

Thomas Meißner a fait des études en génie mécanique à l'Université technique de Berlin (TUB) et a reçu son diplôme d'ingénieur en 1991. Ensuite, il a travaillé à l'Institut pour le transport routier et ferroviaire de la TUB comme assistant de recherche sur différents projets de R&D nationaux et internationaux dans les domaines de la sécurité passive des véhicules routiers, de nouveaux concepts de véhicules, des propulsions d'avenir ainsi que des solutions télématiques pour la gestion du trafic. Depuis 1997, il travaille pour le réseau de recherche et d'application « ingénierie des systèmes de circulation » (FAV) – un département de la Fondation technologique de Berlin (Technologies-

tiftung Berlin, TSB), qui a le statut d'agence d'innovation TSB à Berlin GmbH (TSB-FAV) depuis 2007 – comme directeur de projets internationaux, notamment dans les domaines de l'ingénierie des systèmes ferroviaires, des techniques automobiles ainsi que de la télématique pour la gestion de la circulation. Depuis début 2007, Thomas Meißner est directeur de la TSB-FAV et ainsi responsable des champs de compétences d'ingénierie des systèmes de circulation à Berlin incluant des réseaux de l'industrie et de la recherche ainsi que des projets de R&D de niveaux régional, fédéral et européen.

Approche stratégique pour l'introduction de l'électromobilité

Les larges discussions sur le changement climatique et la pénurie imminente des énergies fossiles mettent en avant le potentiel des propulsions électriques pour les véhicules. L'industrie automobile mondiale fait beaucoup d'efforts de recherche pour développer des véhicules électriques commercialisables en série tout en étant compétitifs vis-à-vis des véhicules conventionnels. De nouveaux programmes de soutien publics, orientés dans ce sens jouent un rôle moteur.

Dans le but de mutualiser efficacement les programmes et initiatives de soutien, le Gouvernement fédéral a lancé le 19 août 2009 son « plan national de développement de l'électromobilité » (NEPE). Le programme de R&D pour la mobilité durable intégré au deuxième plan de relance, représente un élément important du NEPE dont l'une des étapes clés consiste à la mise en service d'un million de véhicules électriques d'ici 2020. Jusqu'en 2011, ce programme porté par quatre Ministères fédéraux et doté de 500 millions d'euros, doit contribuer aux avancées technologiques, notamment dans le domaine des systèmes de circulation, afin d'atteindre l'objectif ambitieux du Gouvernement fédéral de faire de l'Allemagne le leader mondial sur le marché de l'électromobilité.

Sous l'enseigne de la recherche pour la mobilité durable, le Ministère fédéral des transports, de la construction et du développement urbain (BMVBS) met environ 115 millions d'euros à la disposition du programme de soutien « régions pilotes pour l'électromobilité en Allemagne ». Dans ce programme, la priorité est donnée à l'intégration des véhicules électriques à batterie dans l'environnement

urbain ainsi que dans le système des transports. Les défis suivants comptent parmi les points essentiels de ce programme : nouvelles offres et concepts de mobilité, cohérence entre l'infrastructure et les véhicules, acceptation par le consommateur et intégration dans les différentes stratégies politiques en matière d'environnement, de transport et de développement urbain. Ainsi sont mis en avant la réalisation de tests et d'essais de démonstration, l'acquisition de résultats expérimentaux, ainsi que l'élaboration de nouveaux modèles économiques pour les prestataires de service en mobilité. Le développement technologique - dans le domaine des batteries et des propulsions électriques par exemple - est traité dans d'autres sous-programmes du programme de R&D pour la mobilité durable.

Berlin-Potsdam - Une région pilote pour l'électromobilité

Environ 130 consortiums ont manifesté de l'intérêt pour le programme « région pilote pour l'électromobilité ». Dans un communiqué de presse du 2 juin 2009, le BMVBS a annoncé le résultat du concours : outre Berlin-Potsdam, les régions de Hambourg, Brême-Oldenbourg, Rhin-Ruhr, Saxe, Rhin-Main, Stuttgart et Munich auront la possibilité de réaliser des projets d'application intégrés pour l'introduction de véhicules électriques sur le marché. Outre l'élaboration de concepts et d'essais dans les régions pilotes, un rôle important revient à la coopération entre les groupes de travail interdisciplinaires sur des problématiques telles que « le cadre juridique », « la recherche sociologique associée », « le véhicule », etc. Après les mois d'été qui ont servi à préparer des propositions concrètes pour les premiers projets d'application, le programme « région

pilote pour l'électromobilité », on a lancé officiellement le 24 août 2009 lors d'une session d'ouverture et d'une conférence de presse au BMVBS à Berlin. Les huit régions pilotes sélectionnées poursuivent des approches semblables dans les domaines du transport de personnes et de marchandises avec des priorités sur les forces, les expériences et les stratégies régionales correspondantes. Dans ce qui suit, on décrit les priorités et les particularités de l'approche intégrée à Berlin-Potsdam, au mois d'août 2009.

Sous la direction des autorités administratives de Berlin en matière d'urbanisme (SenStadt Berlin) et des autorités municipales de Potsdam, des entreprises et instituts de recherche se sont réunis dans le but d'examiner ensemble le potentiel de l'électromobilité. Ce projet englobe les objectifs de différents champs politiques (politiques de transport, d'environnement, d'urbanisme, politique économique) et les intérêts des prestataires de service en mobilité qui visent à tester et mettre en pratique de nouveaux modèles économiques pour les véhicules électriques. L'un des aspects essentiels du concept de régions pilotes est leur intégration aux principes directeurs politiques. C'est pourquoi le concept du projet est basé sur les orientations stratégiques de planification urbaine (StEP) de Berlin sur le transport et du plan de développement du transport de la ville de Potsdam. S'y ajoutent des objectifs venant de différents plans de protection du climat et de circulation urbaine. Au centre des travaux se trouvent les projets et modules d'application faisant partie des champs d'application globaux suivants :

- Intégration des transports publics et du tourisme ;
- Intégration des prestations de service en matière de mobilité et de logement ;
- Prise en compte de la logistique urbaine.

Des projets de démonstration (modules) servent à vérifier l'aptitude, la maturité technique et l'acceptation par les consommateurs dans des conditions d'utilisation quotidienne, de toute la gamme de véhicules électriques à batterie disponibles actuellement – depuis les véhicules deux-roues motorisés jusqu'aux véhicules utilitaires légers en passant par les véhicules particuliers. L'interaction avec les stations de recharge, dont l'accès doit être garanti au grand public, en fait également partie. Les projets d'application sont dirigés par les entreprises de transport ou les prestataires de service en mobilité qui envisagent de créer de nouveaux domaines d'activité sur le moyen et le long terme dans le domaine de l'électromobilité.

Berlin et sa région sont devenus un champ de démonstration reconnu au niveau international pour les nouvelles propulsions de véhicules et les nouveaux carburants. Ce positionnement exceptionnel est dû aux réalisations suivantes : introduction et tests de

véhicules roulant au gaz naturel dans le cadre de programmes fédéraux et européens, tests déterminants sur l'utilisation de l'hydrogène dans la circulation routière dans les années 80 et depuis 2002 avec le Clean Energy Partnership (CEP) à Berlin. L'association pour les propulsions de véhicules innovantes de Berlin-Brandebourg (INFABB) a été créée début 2009 de façon à regrouper plus efficacement les compétences des entreprises et des organismes de recherche dans le domaine des technologies de propulsion pour véhicules. Le projet de cette région pilote profite du large acquis d'expérience des exploitants et des fournisseurs lors des premiers pas effectués dans le domaine des propulsions automobiles. La région pilote développe la notion d'intégration : les essais de démonstration planifiés ou récemment lancés à Berlin comme « Mini-E Berlin » (Vattenfall, BMW), « e-mobility Berlin » (RWE, Daimler), « Flottenversuch Elektromobilität » (E.ON, Volkswagen) sont étroitement liés à une approche globale préconisée dans les régions pilotes, comme par exemple sur l'aspect très important de préparation de l'infrastructure.

En raison de son importance nationale, ce projet est considéré comme projet-phare de la stratégie d'innovation commune de Berlin et du Brandebourg. Un aspect important du programme de création de région pilote est la mise en place de centres de gestion de projet régionaux dans chacune des régions pilotes sélectionnées. Pour Berlin-Potsdam, cette fonction sera prise par l'agence pour la recherche et l'application des systèmes de circulation de la Fondation technologique de Berlin (TSB-FAV), en étroite coopération avec SenStadt Berlin et les autorités municipales de Potsdam. Ce centre de gestion de projet régional prendra en charge la coordination du projet, au-delà de la gestion des modules individuels, afin de garantir l'intégration et le strict respect des objectifs politiques stratégiques.

Ce centre de gestion de projet régional doit agir de façon durable et le plus largement possible. Le développement de l'électromobilité au niveau régional, au-delà du soutien du BMVBS, a également son importance, pour l'accès à de nouveaux moyens de financement pendant la durée du NEPE jusqu'en 2020, et aux échelles régionales, fédérales et européennes.

Démarche et prochaines étapes

Une première étape consiste mettre en place le centre de gestion de projet régional en accord avec le centre national de coordination du programme. Parallèlement, des propositions pour les premiers projets de démonstration (modules) seront présentées, ceux-ci devant être opérationnels dès l'automne 2009. Le champ d'application « intégration des transports publics et du tourisme » sera probablement lancé en premier. La deuxième phase de remise des propositions devrait s'achever d'ici la fin 2009, de façon à ce

que la réalisation des modules d'application des deux autres champs d'application (prestations de service en matière de mobilité et de logement et logistique

urbaine) puisse également débiter.

Contact

Thomas Meißner
TSB Innovationsagentur Berlin GmbH
Forschungs- und Anwendungsverbund Verkehrssystemtechnik (FAV) Berlin

Téléphone +49 (0)304 630 2561
Fax +49 (0)304 630 2588
E-mail tmeissner@fav.de

Gestion et contrôle de batteries dans les véhicules électriques et hybrides

Peter Spies, chef du groupe de recherche « approvisionnements énergétiques intégrés » à l'Institut Fraunhofer de circuits intégrés (IIS) à Nuremberg

Peter Spies a fait des études d'électrotechnique à l'Université d'Erlangen-Nuremberg où il fut diplômé en 1997. Il travaille depuis 1998 à l'Institut Fraunhofer de circuits intégrés (IIS) dans le département de systèmes optimisés en performance. Il s'est notamment chargé des « front-ends » multi-standards et de simulations de systèmes appliqués à la communication. Depuis 2001, il est directeur du groupe « approvisionnements énergétiques intégrés », traitant de

projets de recherche et développement dans les domaines de la gestion de la puissance et de la batterie, de transmission d'énergie, et d'« energy harvesting ». Les priorités de ce groupe sont le développement de circuits et de systèmes intégrés ainsi que celui de logiciels spécifiques aux applications, comme les capteurs ou les réseaux de capteurs sans fils ou les véhicules hybrides ou électriques.

Finalité

Alors que les ressources énergétiques diminuent, l'amélioration de la qualité de vie et l'augmentation de la mobilité conduisent à une augmentation de la consommation de ces ressources. De plus, la pollution environnementale et notamment les émissions de CO₂ des véhicules ont une influence négative sur l'évolution du climat et ainsi sur l'avenir de l'humanité.

Les véhicules électriques et hybrides représentent une étape importante dans la résolution de ces problèmes. L'électricité peut provenir de sources d'énergie renouvelables telles que le soleil ou le vent. Les moteurs électriques en eux-mêmes ne génèrent pas d'émissions. Aussi, ils permettent une économie des ressources pétrolières et ont un impact environnemental réduit. Dans le cas de propulsions hybrides, la puissance du moteur électrique s'ajoute à celle du moteur thermique durant la phase d'accélération, ce qui permet d'économiser du carburant. Durant la phase de freinage, l'énergie cinétique peut être récupérée : elle est stockée sous forme électrique dans la batterie au profit de la phase d'accélération suivante.

Pour ces raisons, le Gouvernement fédéral soutient plusieurs projets de recherche dans cette thématique. Le Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche (BMBF) s'est donné pour objectif de développer les technologies de batteries pour la propulsion de véhicules électriques dans le cadre de l'initiative LIB 2015 (voir p.16). Le Ministère fédéral de l'environnement (BMU) soutient le projet de démonstration « Flottenversuch Elektromobilität » au sein duquel Volkswagen développe un système de batteries optimisé à destination des véhicules hybrides et électriques, en coopération avec plusieurs partenaires de l'industrie et de la recherche, comme la société Fraunhofer.

Les moteurs d'entraînement électriques travaillent essentiellement à une tension d'alimentation de 400 V. Le principe des batteries à haute densité d'énergie se base sur la technologie au lithium. Ces batteries présentent une tension nominale comprise entre 2,4 V et 3,7 V. Cela signifie que de nombreuses cellules de batterie doivent être connectées en série, afin que les tensions individuelles s'additionnent et génèrent la tension d'alimentation du moteur électrique. L'architecture caractéristique du circuit d'un système de gestion de batterie (BMS) pour véhicules électriques et hybrides est schématisée sur la figure 1. Il se définit par des frontales de batteries (voir figure 2), unités mesurant les tensions d'un sous-groupe de cellules de batterie (modules), par exemple de 8 à 12 cellules.

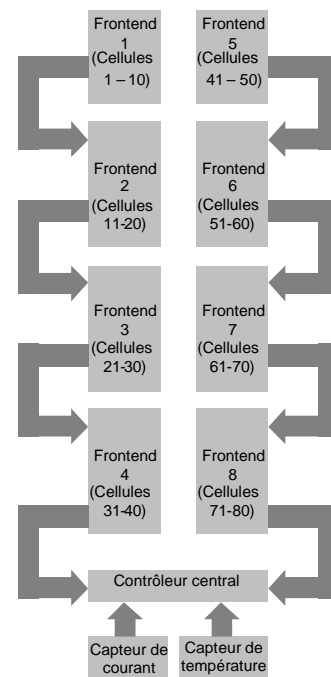


Figure 1 : Architecture d'un système de gestion de batterie (BMS)

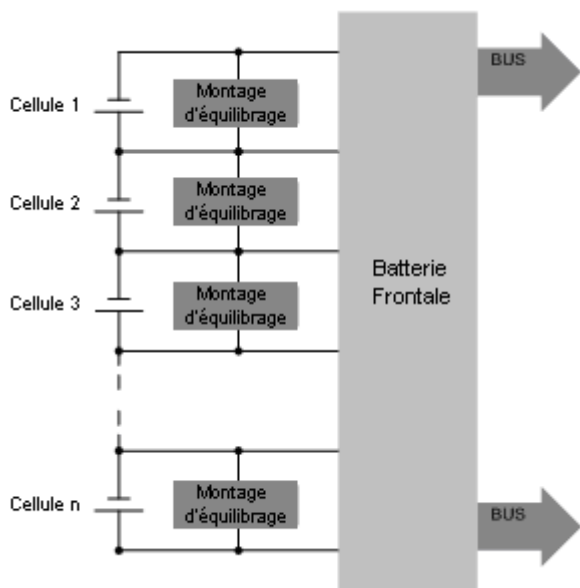


Figure 2 : Batterie frontale avec circuit de symétrie

Ces mesures sont envoyées via un bus CAN (Controller Area Network) à un contrôleur central qui rassemble les données de tous les sous-groupes et les combine aux données acquises sur l'intensité et la température de façon à calculer les paramètres importants pour la batterie (figure 1).

Gestion

La gestion des batteries se traduit principalement par le contrôle de l'état de charge. Il est surtout important ici de respecter la procédure de charge optimale. Dans le cas de batteries lithium-ion, il s'agit de la procédure de charge en tension continue - courant continu (CC-CV - Constant-Current - Constant-Voltage) : un courant continu permet d'abord d'atteindre la tension de cellule maximale, puis la tension est maintenue et l'intensité de charge peu à peu réduite. De tels régleurs en charge sont réalisés avec des convertisseurs continu-continu qui possèdent, en plus de la boucle d'asservissement en tension, une boucle d'asservissement en température. Si la température lors de la charge atteint une valeur inférieure - respectivement supérieure - à la température de fonctionnement minimale - respectivement maximale -, le processus doit être arrêté immédiatement pour éviter une dégradation de la batterie. Une surtension et une température trop élevée induisent un risque d'explosion, tandis que le passage sous un certain niveau de charge peut amener à une perte de capacité de la batterie, à des court-circuits internes et à une instabilité de la cellule lors d'une recharge ultérieure.

Comme les mécanismes de propulsion électriques nécessitent des tensions allant jusqu'à 400 V, plusieurs cellules de lithium sont connectées en série. En raison des marges de tolérances de fabrication,

de l'autodécharge individuelle et de la structure thermique hétérogène du système de batterie, les états de charge des cellules peuvent diverger avec le temps. Cette asymétrie a des conséquences négatives sur la décharge. Dès que la tension minimale ou la capacité d'une cellule individuelle est atteinte, le processus de décharge doit être arrêté immédiatement pour que le seuil de charge minimale autorisée ne soit pas franchi. L'énergie encore exploitable dans les autres cellules n'est plus disponible pour l'utilisateur. C'est la raison pour laquelle la capacité globale du système de batterie est réduite. Cela constitue un inconvénient, surtout dans les applications automobiles, car le rapport de la densité d'énergie sur la masse du convertisseur (c'est-à-dire l'énergie spécifique) est plus faible. Ainsi, à masse égale, la densité d'énergie disponible est plus petite, et la consommation de carburant d'un véhicule hybride augmente en conséquence.

Pour éviter de telles asymétries et pouvoir utiliser la capacité maximale de chaque cellule de batterie, un équilibrage des cellules (« cell-balancing ») est réalisé. Il s'agit de maintenir ainsi l'état de charge des cellules individuelles au même niveau. On distingue un équilibrage passif d'un équilibrage actif. Lors d'un équilibrage passif, les cellules présentant une plus forte charge sont déchargées par le biais de résistances, jusqu'à atteindre le même niveau de charge que les cellules présentant la plus faible charge. Cette procédure, aussi appelée « resistive bleeding », est particulièrement inefficace car une grande partie de l'énergie électrique est perdue sous forme de chaleur. Dans l'industrie automobile, cela a des conséquences sur la consommation de carburant et même sur l'autonomie du véhicule.

Les mécanismes d'équilibrage actif, pour lesquels une partie de l'énergie des cellules davantage chargées est transférée aux cellules moins chargées, sont nettement plus efficaces. L'énergie est stockée temporairement par une cellule de batterie, dans un condensateur ou une bobine, avant d'être transférée aux autres cellules de batterie. Par comparaison avec la méthode passive, seule une faible quantité d'énergie est perdue par ce transfert de charge. Il conviendra d'optimiser cette procédure en perfectionnant les circuits électroniques destinés au transfert d'énergie. La complexité du montage d'un tel équilibrage de cellule définira l'intensité et la tension praticables pour les courants d'échange de charge et ainsi le temps nécessaire à la mise à niveau de toutes les cellules. Différentes entreprises (telles que Linear Technologies, Maxim ou Texas Instruments) fabriquent déjà des éléments semi-conducteurs contenant des fonctions d'équilibrage. La plupart du temps, seules des procédures passives sont réalisées, car l'effort à fournir en matière de logiciel et d'électronique est moins grand.

Protection

Les fonctions de protection comptent parmi les fonctions les plus importantes d'un système de gestion de batterie (BMS) : elles évitent en effet une dégradation ou destruction de la batterie, ce qui permet une longue durée de vie et de fonctionnement. Ces circuits de protection doivent protéger la batterie d'une surcharge, d'une surintensité, d'un trop faible niveau de charge et d'un court-circuit, ce qui est notamment possible à l'aide de transistors branchés dans le circuit électrique, devenant isolants en deçà ou au-delà des valeurs seuils. Il s'agit dans la plupart des cas de transistors autobloquants, empêchant une charge ou une décharge si le système de protection n'est pas alimenté en tension ou s'il présente un défaut ou un dysfonctionnement.

Comme les batteries sont soumises à un certain vieillissement, il faut également restreindre au maximum ce dernier par un traitement approprié. Cela implique un réglage exact de la charge et une bonne gestion de la température. Cette dernière comprend le contrôle et le respect de la température de fonctionnement optimale par le biais d'un refroidissement. En outre, des températures trop basses sont également critiques pour la batterie. Elles impliquent que seule une partie de la capacité globale soit disponible.

Surveillance

L'état ponctuel de charge d'une batterie est donné par les paramètres SOC (State-of-Charge), SOF (State-of-Function) et SOH (State-of-Health).

Pour le calcul du SOC, c'est-à-dire de la capacité résiduelle disponible pour l'utilisateur, on peut avoir recours à différents résultats de mesures. Une détermination de l'état de charge uniquement à partir de la tension de cellule est problématique et fournit des résultats très imprécis, car la courbe de décharge caractéristique de batteries au lithium est en grande partie plane. C'est pourquoi on mesure souvent le courant de charge et de décharge de façon à en déduire la capacité résiduelle. Dans ce cas, la tension mesurée à vide (OCV – Open Circuit Voltage) est utilisée uniquement comme valeur indicative supplémentaire. Comme la capacité de la batterie dépend fortement de la température, celle-ci doit également être mesurée de façon à fournir une indication exacte de la capacité résiduelle. Pour cela, des modèles de batterie sont utilisés, sous forme de tableaux dans lesquels sont indiquées les valeurs maximales de capacité de la batterie à températures

et courants de décharge variables. De tels modèles doivent être réalisés au préalable en laboratoire à l'aide de systèmes de test de batterie et d'enceintes climatiques. Ainsi, à l'aide de la différence entre courant de charge et de décharge, et après correction par les données issues des modèles de batteries, il est possible de définir avec exactitude la capacité résiduelle de la batterie.

Un paramètre de mesure important pour la caractérisation du vieillissement en particulier, est la résistance interne de la cellule. Cette dernière varie en fonction de l'utilisation de la batterie et augmente avec sa durée de fonctionnement. La mesure de la capacité maximale lors d'un cycle complet de charge-décharge et la mise en relation de cette grandeur avec la capacité maximale directement après la première utilisation permettent également d'obtenir des informations sur l'état de vieillissement (SOH) de la batterie.

Le paramètre SOF (State-of-Function) indique si l'énergie disponible dans la batterie est suffisante pour alimenter la fonction que souhaite réaliser l'utilisateur.

Perspectives

De nombreux projets de recherche en cours dans le monde entier ont pour objet le développement de nouvelles procédures pour l'évaluation de la capacité résiduelle, en intégrant avant tout le vieillissement des batteries. Pour cela, un modèle de batterie est programmé dans le BMS et continuellement actualisé à l'aide de résultats de mesure, prenant en compte le vieillissement des cellules de batterie, qui a une influence significative sur la capacité maximale de ces cellules. Des filtres de Kalman, des réseaux neuronaux ou la logique floue peuvent servir pour la prédiction de la capacité résiduelle.

D'autres activités de recherche sont également réalisées dans le domaine de l'équilibrage de cellule. Etant donné que ces processus d'échange de charge nécessitent une certaine quantité d'énergie, qui n'est ainsi plus disponible pour l'utilisation d'origine (moteur électrique par exemple), il existe encore à ce niveau là un potentiel d'optimisation significatif. En particulier, la densité d'énergie gravimétrique (ou énergie spécifique), c'est-à-dire le rapport entre l'énergie produite et la masse, représente une grandeur fondamentale dans le domaine de la mobilité électrique, car le poids influe directement sur la consommation de carburant.

Contact

Peter Spies
Fraunhofer IIS, Nuremberg

Téléphone +49 (0) 911 580616363
E-mail peter.spies@iis.fraunhofer.de

Elaboration de concepts de sécurité pour les batteries de véhicules

Jens Tübke, directeur du département électrochimie appliquée à l'Institut Fraunhofer de technologie chimique, Pfinztal (Berghausen)

Entre 1988 et 1993, Jens Tübke a fait des études en chimie appliquée et macromoléculaire à l'Université Martin-Luther de Halle-Wittenberg. Avec le sujet de thèse « électrolytes à gel polymères », il a obtenu son doctorat en 1997. Ensuite, il a passé un séjour d'études de 3 ans au Japon à l'Université de Kyoto, dans le groupe de travail du professeur Z. Ogumi et a travaillé pour Toyota Corporation. Il a développé des matériaux d'électrolyte et d'électrode pour des batteries lithium-polymère. Depuis 2000, il travaille à l'Institut Fraunhofer de technologie chimique dans le

domaine de l'électrochimie appliquée. Son domaine de travail comprend les accumulateurs lithium-polymère, les électrolytes polymères, les différents graphites et matériaux cathodiques d'intercalation pour batteries, les différentes méthodes de caractérisation (RAMAN, FTIR, DEMS, impédance, voltammétrie cyclique), la caractérisation des polymères, divers tests et caractérisations de batteries et d'accumulateurs, l'évaluation de la sécurité et les analyses de dommage.

L'un des composants-clés pour la technologie des véhicules hybrides et électriques est la batterie, rechargeable, qui se doit d'être performante. En même temps, elle constitue la partie du système la plus difficile à maîtriser. Ce sont notamment les obligations relatives à la performance et à la sécurité des systèmes de batterie spécifiques à l'industrie automobile qui représentent un grand défi technique pour leur développement.

A moyen terme, les batteries nickel hydrure métallique (NiMH) déjà utilisées dans les véhicules hybrides ne satisferont plus aux exigences de haute performance (une plus grande capacité, une énergie spécifique plus grande et une performance améliorée), que ce soit d'un point de vue technique ou pour des raisons de coûts. Les batteries lithium-ion vont beaucoup mieux répondre aux attentes techniques en terme de stockage pour les véhicules hybrides et électriques (capacité, performance, durée de vie). Ces dernières années, le développement de la technologie lithium-ion a été accéléré dans le but principal d'augmenter la densité d'énergie. Ainsi, il a été possible de concevoir des composants de plus en plus petits avec des capacités de plus en plus élevées. Contrairement aux systèmes de batterie en milieu aqueux (acide-plomb, nickel hydrure métallique), les batteries lithium-ion ne reposent pas sur des mécanismes de surcharge ou de sur-décharge, caractéristiques de la chimie des batteries. C'est pourquoi, les contraintes thermiques, mécaniques et électriques ne sont tolérables que dans certaines limites. En franchissant ces limites, un dégagement de chaleur et de gaz peut se produire, entraînant éventuellement une explosion du boîtier de batterie et une combustion des réactifs. La sécurité des batteries doit être établie et garantie par des mécanismes externes.

Malgré quelques travaux pionniers de G.N. Lewis en 1912, le développement des batteries au lithium rechargeables n'a été possible qu'à la fin des années 70, après qu'il fut découvert que de nombreux oxydes stockent des ions de lithium dans leur structure cristalline avec de faibles variations de volume, sans qu'une vraie liaison chimique ne soit créée. Les ions de lithium peuvent s'intercaler dans un réseau hôte ou se détacher de ce dernier. Pour ce faire, des oxydes métalliques contenant du lithium, tels que le LiMO_2 ($M=\text{Co, Ni, Mn}$ ou Al), sont utilisés comme composés d'intercalation (par exemple LiMn_2O_4 , Li_xCoO_2). La réaction de charge et de décharge d'une telle cellule se produit par un simple transfert des ions de lithium entre deux électrodes d'intercalation présentant une différence de potentiel. Elle constitue la tension aux bornes de la cellule. Les ions de lithium servent uniquement de compensateurs de charge au sein des électrodes afin d'éviter à tout moment la présence de lithium métallique dans la cellule.

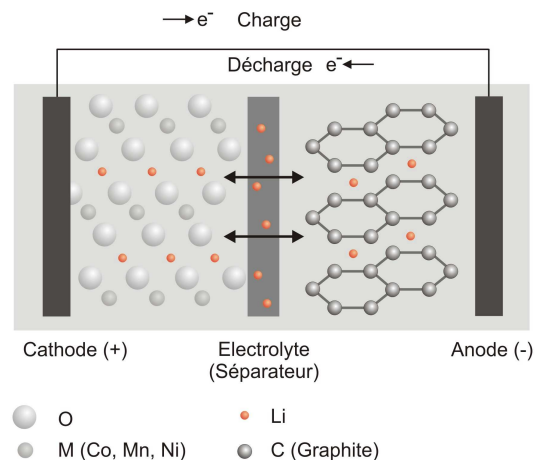


Figure 1 : Principe de fonctionnement d'une batterie lithium-ion

Depuis quelques années, les batteries lithium-ion sont utilisées pour le stockage d'énergie dans des appareils portables tels que les téléphones mobiles, les agendas électroniques, les ordinateurs, les caméras etc. En raison des courts cycles d'innovation de ces appareils, la durée de vie et le comportement au vieillissement des batteries lithium-ion ne jouaient qu'un rôle mineur. Mais cette thématique gagne de plus en plus d'importance, car l'utilisation croissante de ce type de batterie nécessite une durée de vie nettement plus longue (par exemple véhicules hybrides et électriques, systèmes de stockage pour les énergies renouvelables, etc.). Notamment pour les véhicules hybrides et électriques, l'United States Advanced Battery Council (USABC) demande une durée de vie de 15 ans pour les véhicules hybrides et de 10 ans pour les véhicules électriques dotés de batteries lithium-ion de 42 V.

Pour les véhicules, les exigences électriques relatives aux batteries sont beaucoup plus élevées que pour les appareils électroniques mobiles grand public. La maîtrise de capacités de stockage plus grandes sous des conditions environnementales extrêmes exige une nette amélioration de la sécurité des batteries au niveau de la chimie et du système de batterie.

La conception d'une batterie plus sûre doit passer par trois niveaux :

- Choix d'une chimie de batterie appropriée (matériaux d'anodes et de cathodes, séparateur et électrolyte) ;
- Conception d'un boîtier pour cellule doté d'un dispositif de protection ;
- Assemblage de plusieurs cellules constituant une batterie équipée d'un système de gestion afin de maintenir les paramètres de fonctionnement électriques et thermiques.

C'est toutefois la cellule individuelle qui constitue l'élément de sécurité le plus important. Si tous les paramètres de sécurité « externes » sont défaillants, seules la chimie et l'architecture de la cellule individuelle sont responsables du maintien du fonctionnement de la batterie. Les cellules à sécurité intrinsèque (anti-court-circuit, non-inflammables, non-explosives, sans emballement thermique) ne s'obtiennent qu'à partir de nouveaux matériaux. Néanmoins, elles présentent en général des densités d'énergie et des densités de puissance encore plus faibles. Beaucoup d'efforts en matière de recherche et développement sont encore nécessaires.

Le choix du bon matériau cathodique a une influence décisive non seulement sur la performance électrique des cellules lithium-ion, mais aussi sur la sécurité en fonctionnement. Ceci est dû à la différence de stabilité des réseaux fondamentaux utilisés. Les cellules chargées présentent moins de lithium à la cathode (le lithium est stocké à l'anode) et les réseaux d'oxydes

métalliques se transforment par la migration d'atomes ou par un changement des paramètres du réseau. Dans le cas des réseaux d'oxydes métalliques, les hautes températures peuvent entraîner une libération explosive de l'oxygène. La libération de l'oxygène et le changement du réseau de stockage est un processus exothermique aussi connu sous le nom d'« emballement thermique ». Selon les matériaux cathodiques utilisés, si une cellule s'échauffe à des températures de plus de 200°C, ce processus peut se produire et induire la destruction des cellules (explosion, brûlure).

C'est pourquoi l'utilisation d'accumulateurs LiFePO_4 par exemple paraît aujourd'hui intéressante, car ils ne présentent pas de réaction exothermique à des températures élevées.

Des feuilles polymères poreuses font office de séparateurs. Elles sont placées autour de l'électrolyte liquide qui permet le transfert de la charge (ions de lithium) entre les électrodes. Tel que l'indique leur nom, celles-ci doivent séparer électriquement les électrodes l'une de l'autre et ce, si possible, dans n'importe quel état de fonctionnement. De tels séparateurs, appelés « shut-down », sont disponibles sur le marché. Ils perdent leur porosité par fusion partielle à environ 130°C et empêchent en conséquence l'équilibre des charges entre les électrodes. De ce fait, une telle cellule ne fournit plus d'énergie et ne peut par exemple plus s'échauffer en cas de court-circuit. Des particules céramiques peuvent également constituer des facteurs de sécurité pour les séparateurs. Elles garantissent une séparation des électrodes, même à haute température.

Un autre fait doit être pris en compte : les électrolytes organiques liquides utilisés disposent seulement d'une stabilité électrochimique limitée par comparaison aux matériaux d'anode et de cathode. Lors du fonctionnement des cellules, une couche de revêtement ou de passivation (comparable aux surfaces d'aluminium) est formée par décomposition de l'électrolyte sur l'anode de graphite. Tant qu'elle se maintient, cette couche empêche une décomposition ultérieure de l'électrolyte et garantit un fonctionnement fiable des cellules.

Le boîtier des cellules compte aussi parmi les prédispositions de sécurité à prendre en considération au niveau de la cellule. Il devrait être équipé d'un dispositif de rupture pour évacuer de façon contrôlée le gaz à partir d'une certaine surpression lors d'un dégagement gazeux dans les cellules. Cela empêche ainsi l'explosion non contrôlée du boîtier pour cellule. Les dispositifs d'interruption de courant à fusible (CID) représentent un autre élément de sécurité car ils coupent le circuit électrique dans les cellules dans le cas d'une augmentation de la pression.

Un système de gestion de la batterie contrôle les caractéristiques lors de la charge et de la décharge des cellules (limites inférieure et supérieure de ten-

sion, courants de charge et de décharge, températures minimales et maximales de charge et de décharge). Outre ces éléments de surveillance actifs, d'autres composants passifs sont à mettre en place, tels que les fusibles ou les interrupteurs thermiques (thermo-switch).

Lors de la conception des batteries, il est nécessaire de prendre en compte que les dispositifs de protection ne fonctionnent que lorsque l'action s'exerçant sur les cellules provient de l'extérieur (court-circuit externe ou températures trop élevées). Cependant, si l'erreur survient à l'intérieur des cellules, seule la chimie des batteries choisie et l'architecture du boîtier des cellules définissent les effets qui s'en suivent.

Pour pouvoir décrire et tester la sécurité des batteries de façon satisfaisante, une série de normes et de spécifications d'essais a été développée tels que le FreedomCAR - des systèmes d'accumulation d'énergie électrique « Abuse Test

Manual » pour les véhicules électriques et hybrides, les tests spécifiques développés par la fédération de l'industrie automobile allemande (VDA) pour des batteries lithium-ion destinées aux véhicules hybrides électriques, des tests correspondant aux règlements des Nations Unies - UN Regulations on Transport of Dangerous Goods ADR 2003, IATA DGR 2003 et IMDG Code 2002 ainsi que d'autres tels que l'UL 1642, Standard for Safety for Lithium Batteries.

Tests de sécurité de batteries lithium-ion (spécifications de tests données par la fédération de l'industrie automobile allemande, VDA) pour les véhicules hybrides et électriques		
Mécanique	Thermique	Electrique
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Crash contrôlé ▪ Pénétration ▪ Essai de chute ▪ Immersion ▪ Simulation de renversement ▪ Choc mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stabilité thermique ▪ Simulation d'inflammation du carburant ▪ Essai de vieillissement accéléré ▪ Changement de température cyclique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Surcharge et surtension ▪ Court-circuit ▪ Surdécharge / inversement de tension

Figure 2 : Test de sécurité électrique, thermique et mécanique d'après le VDA

Contact

Dr. Jens Tübke
 Fraunhofer ICT, Pfinztal
<http://www.ict.fraunhofer.de>

Téléphone +49 (0)721 4640-343
 E-mail jens.tuebke@ict.fraunhofer.de

Récupération des matières recyclables dans les futures batteries lithium-ion de véhicules

Bernd Friedrich, professeur universitaire et directeur de l'Institut de technique des processus métallurgiques et de recyclage des métaux (IME) à l'Université Technique d'Aix-la-Chapelle (RWTH)

Après des études de métallurgie et d'électrometallurgie, Bernd Friedrich a obtenu son doctorat en 1988 à l'Université RWTH d'Aix-la-Chapelle. Après avoir occupé des postes de directeur à GfE Nürnberg et VARTA Batterie, il est retourné à la RWTH en 1999 en tant que professeur titulaire en technique des processus métallurgiques et de recyclage des métaux et directeur de l'IME.

Depuis 2000, l'objectif de l'IME consiste à développer des concepts d'exploitation optimale de systèmes de batteries traditionnels. Dans ce contexte, différents concepts de recyclage ont été élaborés pour les batteries nickel-cadmium (2000-2002), nickel-métal-hydrure (2001-2004), batteries primaires

(2004-2008) et batteries lithium-ion (2005-2009). Certains de ces procédés ont déjà été commercialisés et qualifiés de meilleures technologies disponibles (MTD). Pour ses travaux de recherche systématiques dans le recyclage de batteries, l'IME a été récompensée par l'association allemande pour les activités minières, la métallurgie et les technologies de l'environnement (GDMB) en 2008 par le « Kaiserpfalzpreis ».

Actuellement le Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche (BMBF) soutient un projet de recherche de l'IME sur 3 ans concernant le recyclage dans le cadre de l'initiative LIB 2015.

Alors que l'utilisation des batteries lithium-ion s'est développée de façon explosive dans notre société mobile grâce aux appareils de télécommunication modernes, les batteries au lithium viennent juste d'entamer leur entrée sur le marché automobile. Cependant, du fait d'un besoin croissant de commercialisation progressive des véhicules à faibles émissions de CO₂, les batteries lithium-ion s'imposeront d'ici quelques années en tant que systèmes dominants de batteries rechargeables dans le secteur automobile. Avec le temps, le pourcentage des déchets va augmenter constamment. Pourtant aujourd'hui, aucune directive européenne n'existe quant à la réutilisation des matières secondaires des batteries lithium-ion usagées. Une telle procédure permettrait d'aider à respecter les engagements de l'UE relatifs au recyclage des batteries (dans le cadre de la directive européenne sur le recyclage des piles et accumulateurs usagées), engagements prévoyant d'atteindre un rendement de 50% du poids moyen des batteries lithium-ion.

Les batteries lithium-ion contiennent des matériaux de haute qualité tels que des électrolytes organiques, du sel conducteur, du lithium, de l'aluminium, du cuivre et, actuellement encore, des matériaux à haute concentration en cobalt. Le cobalt compte parmi les métaux dont la production primaire annuelle est limitée. En raison de l'approvisionnement en matières premières et de la contrainte de baisse des prix dans le secteur automobile, des systèmes alternatifs à base de LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}, LiFePO₄ et de LiTi₄O₇ doivent être développés. Cependant,

l'utilisation des matériaux d'électrodes pour des véhicules à batterie lithium-ion pose encore le problème du recyclage de ces batteries. Le défi se traduit premièrement par la mise en place d'un procédé de recyclage rentable, deuxièmement par celle de méthodes adaptées et enfin par un recyclage efficace.

Concept de recyclage de l'IME : 1. Préparation mécanique

Pour la première fois, les systèmes de batterie lithium-ion pour véhicules permettent, selon leur construction, la récupération de différents matériaux dans un procédé de recyclage et ce, grâce aux poids élevés des pièces et à la reconnaissance de leur origine et de leur composition. Ainsi, les batteries lithium-ion à recycler sont d'abord triées et traitées en conséquence par lots. C'est pourquoi la récupération des composants organiques de haute qualité et la récupération du lithium métallique prennent de plus en plus d'ampleur.

Les accumulateurs lithium-ion sont réalisés à partir d'un grand nombre de cellules individuelles intégrant des composants électroniques (par exemple en vue de la régulation de la charge et de la décharge ou de la surveillance de la température, etc.), formant des unités compactes d'approvisionnement d'électricité. Dans la première phase d'un tel processus de recyclage, ces systèmes de batterie compacts doivent être démantelés et les cellules des batteries individuelles séparées.

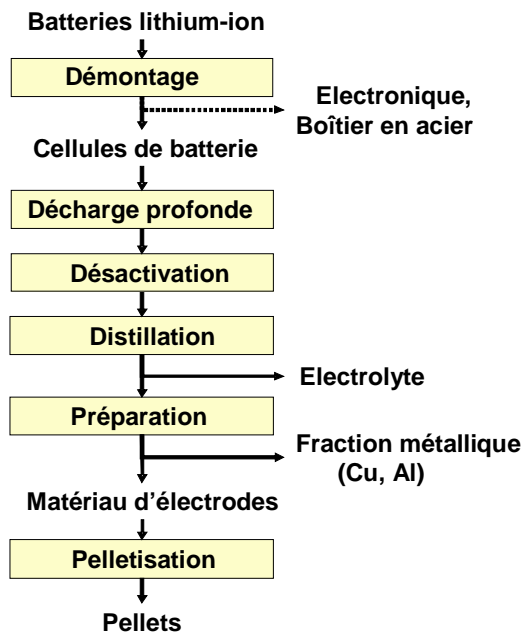


Figure 1 : Chaîne de processus de préparation mécanique (en haut), fraction légère de déchiqueteur (en bas, à gauche), matériau d'électrodes (en bas, au milieu), matériau d'électrodes pelleté (en bas, à droite)

Le processus de démontage concerne une partie des composants du boîtier (ferraille d'acier), une partie des composants électroniques (ferraille électronique) et les cellules de batteries. Les ferrailles électroniques et d'acier sont acheminées vers les circuits de recyclage déjà existants.

Les cellules de batteries sont composées d'une anode, d'une cathode, d'un électrolyte, d'un séparateur et d'une enveloppe de protection. L'anode est composée d'une feuille de cuivre sur laquelle a été déposée une couche de poudre de carbone. La cathode par contre est constituée d'une couche de poudre d'oxyde métallique de lithium (par exemple LiCoO_2 , LiNiO_2 ou LiMn_2O_4) déposée sur une feuille d'aluminium. Du point de vue du recyclage, une cellule de batterie est composée d'une combinaison complexe de différents éléments. De plus, les cellules de batterie lithium-ion non-déchargées ou partiellement déchargées présentent un danger d'explosion ou d'inflammabilité considérable. C'est pourquoi la première étape consiste en une décharge de sécurité de chaque cellule. Ensuite, le lithium métallique restant est désactivé par un traitement à vide contrôlé en température, puis l'électrolyte est évaporé. L'électrolyte est enfin récupéré dans un condenseur à basse température.

Les cellules désactivées sont pyrolysées à vide afin d'éliminer les composants organiques, notamment les liants et le séparateur. Ensuite, les cellules de batterie lithium-ion pyrolysées sont fractionnées dans un broyeur et triées par des machines traditionnelles en une fraction légère de déchiqueteur et en une fraction fine. La fraction légère de déchiqueteur est en majeure partie composée des feuilles d'aluminium et de cuivre provenant des électrodes et peut être vendue aux entreprises de recyclage du cuivre. La fraction fine est constituée de matériaux des électrodes, c'est-à-dire de poudre de carbone (anode) et de poudre d'oxyde métallique de lithium (cathode). Comme, à la suite de cela, un tri mécanique des composants de la fraction fine n'est pas possible, ceux-ci sont mis en pellets de façon à préparer l'étape suivante de ce processus dite « étape pyrométallurgique ».

Concept de recyclage de l'IME : 2. Préparation pyrométallurgique

Pour préparer le matériau d'électrode au recyclage, deux méthodes existent : une préparation pyrométallurgique et une préparation hydrométallurgique (par voie humide). La méthode pyrométallurgique vise à récupérer, à haute température, des matériaux sous forme métallique, initialement contenus dans les matériaux des électrodes, à l'aide d'agrégats de fusion. La méthode hydrométallurgique vise à récupérer les métaux sous forme d'alliages métalliques par des étapes de dissolution et de précipitation par voie humide à basse température.

Les avantages et inconvénients des formes de recyclage sont listés ci-après.

Avantages de la méthode pyrométallurgique :

- Utilisation de métaux communs (Fe, Al,...) et de carbone comme agent réducteur ou source d'énergie ;
- Production de métaux et d'alliages commercialisables.

Inconvénients de la méthode pyrométallurgique :

- Formation de grandes quantités de gaz d'échappement ;
- Nécessité de fournir de grandes quantités de combustible et d'énergie électrique ;
- Impossibilité de récupérer les métaux non nobles ainsi que le carbone.

Avantages de la méthode hydrométallurgique :

- Possibilité de récupérer les métaux non nobles ainsi que le carbone ;
- Formation de quantités très faibles de gaz d'échappement.

Inconvénients de la méthode hydrométallurgique :

- Utilisation de grandes quantités de produits chimiques ;
- Processus onéreux, lent et sensible aux perturbations.

En raison de la sensibilité réduite aux perturbations et de la productivité élevée n'utilisant qu'un seul agrégat, l'IME favorise la méthode pyrométallurgique, constituée d'une seule étape. De plus, la récupération des métaux Co, Ni, Cu, Fe, et Si sous leur forme métallique est avantageuse car, à travers la fabrication de différents alliages, des produits de valeur, facilement commercialisables, peuvent être élaborés. En même temps, ce processus dépend des teneurs en métaux du matériau d'électrode, en particulier des teneurs en Co, Ni et Mn.

L'agrégat utilisé dans la méthode de l'IME est un four à arc électrique. Les pellets du matériau d'électrode y sont introduits. Les métaux Co, Ni, Cu, Fe et Si contenus dans les pellets réagissent avec le carbone de ces pellets et forment un métal en fusion qui peut être coulé régulièrement. Le lithium contenu dans ces pellets est évaporé et récupéré sous forme de poussières volantes. Celles-ci peuvent être vendues directement comme concentré de lithium. Ce concentré de lithium peut servir de substance de base dans les méthodes hydrométallurgiques, par exemple pour la production de carbonate de lithium, étant lui-même l'un des éléments de base dans la fabrication de

batteries. Concernant le lithium, un recyclage « Closed-Loop » (en circuit fermé) est ainsi possible.

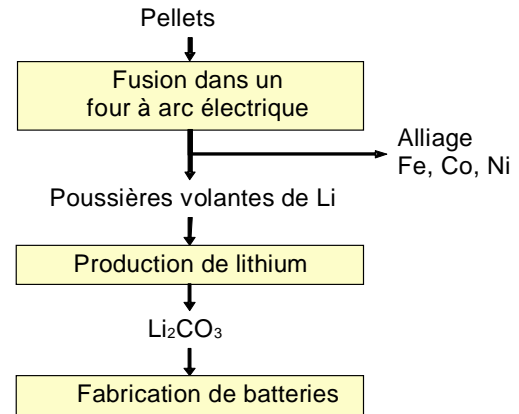


Figure 2 : Chaîne de processus de préparation pyrométallurgique (en haut), coulée au four électrique en arc (en bas, à gauche), lingot d'alliage Co-Ni-Mn (en bas, au milieu), poussières volantes riches en lithium (en bas, à droite).

Contact

Prof. B. Friedrich
IME, RWTH Aachen
<http://www.ime-aachen.de>

Téléphone +49 (0)241 80 95850
E-mail bfriedrich@ime-aachen.de

Intégration des véhicules électriques au réseau électrique

Dr.-Ing. Hans Roth, chaire d'économie du secteur énergétique et des techniques appliquées, Université technique de Munich

Hans Roth, né en 1977, a étudié l'électronique à l'Université technique de Munich avec une spécialisation en génie énergétique. Depuis 2003, il travaille comme chargé de recherche à la chaire d'économie du

secteur énergétique et des applications à l'Université technique de Munich. En 2008, il a obtenu son doctorat sur le thème de l'optimisation de la construction de centrales électriques.

Actuellement, presque tous les constructeurs automobiles travaillent de façon intensive sur le développement de véhicules à propulsion électrique, à batterie. Une série de projets de démonstration sur des flottes de véhicules est actuellement menée dans plusieurs grandes villes européennes. Outre la faisabilité technique (performance et autonomie suffisantes), l'influence de la consommation électrique des véhicules sur l'activité du parc de production électrique reste à élucider. Les technologies de production de l'électricité utilisée pour la consommation des véhicules électriques, et les émissions qu'elles génèrent, sont des facteurs indispensables pour l'évaluation de l'impact des véhicules électriques sur l'environnement.

Cet article présente quelques liens fondamentaux entre la production d'électricité en Allemagne et sa disponibilité pour la recharge des véhicules électriques.

Effets sur l'exploitation de centrales électriques et construction de centrales additionnelles

Pour établir un bilan écologique global des véhicules électriques (VE), il est essentiel de prendre en compte la consommation d'énergie primaire et les émissions générées par les centrales.

Il est nécessaire d'examiner si l'énergie et les émissions mises en jeu pour charger les VE n'auraient pas été produites sans ces VE.

Il faut pour cela dans un premier temps connaître la production d'énergie en faisant abstraction des VE. La figure 1 représente le fonctionnement ordinaire des centrales électriques en Allemagne un jour d'hiver. La production en base est couverte par les centrales hydrauliques, les centrales nucléaires et les centrales au lignite. La charge moyenne est principalement assurée par les centrales au charbon et au gaz naturel, tandis que les centrales de pompage (qui sont chargées la nuit lors de phases de faible consommation) sont exploitées en périodes de pointe. L'énergie éolienne représente, elle, un cas particulier car elle alimente le réseau indépendamment de la consommation.

De plus, sauf restrictions techniques, elle est toujours injectée au réseau électrique de façon prioritaire en raison du principe de primauté des ENR qui existe en Allemagne.

Si la consommation électrique augmente, par exemple en raison de la charge des VE, la production des énergies renouvelables ne peut généralement pas être augmentée car la quantité d'énergie renouvelable est déjà utilisée sans compter la consommation des véhicules. Il n'est généralement pas possible d'établir un lien entre la consommation des véhicules électriques et la production d'électricité renouvelable.

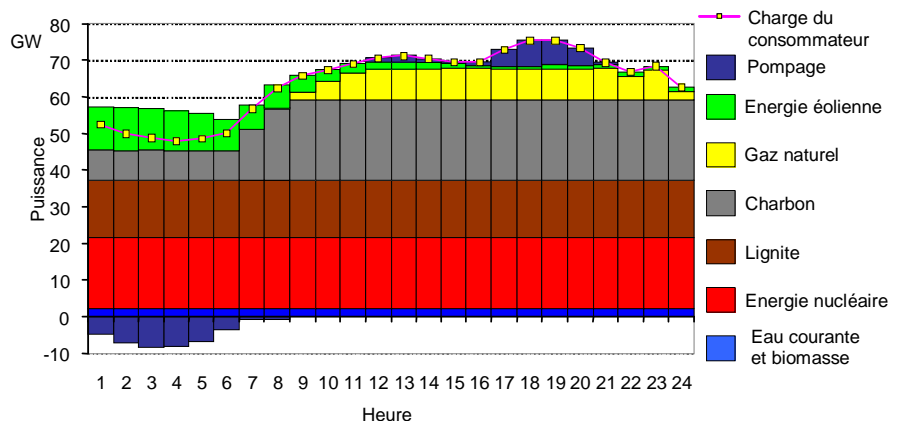


Figure 1 : Exemple du fonctionnement quotidien de centrales électriques en Allemagne

Une simulation de la production d'énergie avec et sans VE permet de savoir quel type de centrale et quel combustible peuvent fournir le courant de recharge des VE. De cette manière, il est possible de comparer les parcs de production et émissions associées dans les deux simulations et de les relier directement à la distance parcourue par les véhicules électriques (en kilomètres) dans un certain intervalle de temps.

On fait l'hypothèse d'une augmentation du nombre de véhicules électriques à 1 million de véhicules en 2018 et à environ 18 millions en 2040 de façon à observer des effets notables.

Ce nombre de véhicules ne peut être intégré à faible coût et sans mettre en danger la sécurité énergétique

que si les fournisseurs d'énergie et les opérateurs du réseau interviennent dans le processus. La communication entre véhicule et fournisseur d'énergie, permet de déterminer le moment optimal de recharge des véhicules suivant le créneau horaire pendant lequel l'électricité est disponible à meilleur marché.

Le besoin supplémentaire en électricité généré par les VE peut être couvert via une meilleure exploitation des centrales existantes. La rentabilité des nouvelles centrales en base sera améliorée. Celles-ci pourront en effet fonctionner plus longtemps ce qui conduira à installer des unités de plus forte puissance que dans un scénario sans VE.

Un scénario de référence simule l'exploitation et la construction de nouvelles centrales sans l'influence des VE. Afin de pouvoir constater des effets également sur le long terme, un horizon d'observation assez long doit être envisagé, par exemple jusqu'en 2040. Dans un autre scénario, le besoin en énergie est augmenté pour répondre à l'augmentation supposée du nombre de VE, les autres paramètres restant inchangés. Ainsi, toutes les variations peuvent être directement attribuées à l'influence des VE.

De cette manière, il est possible de réaliser un bilan de la consommation de l'énergie primaire, des émissions qui en découlent ainsi que des coûts afférents.

Par vent fort, il se peut que l'électricité produite par les éoliennes, additionnée avec celle provenant d'autres sources renouvelables, dépasse le besoin en énergie. Uniquement dans ce cas précis, un plus grand pourcentage en énergie renouvelable pourra être utilisé et directement comptabilisé comme électricité de recharge des véhicules électriques.

Intégration sans émissions de CO₂

La recharge des véhicules électriques en dehors des périodes de charge maximale entraîne une utilisation presque exclusive des centrales fossiles, notamment les centrales au charbon et au lignite. C'est pourquoi, sans interventions supplémentaires, les émissions résultantes se retrouvent supérieures à la moyenne.

Le système d'échange des certificats d'émission de CO₂ (ETS) limite la quantité d'émissions de CO₂ autorisée pour tous les secteurs qui y participent. En partant du principe que le nombre de certificats attribués aux centrales thermiques est limité, une augmentation de la production d'électricité n'entraînera donc pas d'augmentation des émissions de CO₂. Une intégration des VE dans le système énergétique est alors possible sans émissions supplémentaires de CO₂, car si l'on compare la production d'électricité avec et sans VE, le taux d'émissions n'augmente pas. L'intégration

des VE doit entraîner une baisse des émissions de CO₂ du parc de production d'électricité. Comme décrit ci-dessus, la production d'électricité ne générant pas d'émissions de CO₂, telle que l'électricité renouvelable, ne peut pas être augmentée par rapport à la production classique. Ainsi, la réduction spécifique des émissions doit passer par un changement du mix énergétique fossile (cf. figure 2). La part des énergies fortement émettrices de CO₂ (charbon et lignite) reculerait en faveur du gaz naturel, source à plus faibles émissions de CO₂. Dès que les centrales faisant appel à la capture et au stockage du CO₂ (CCS) seront disponibles, leur part sera également augmentée. Dans ce cas, la charge des véhicules électriques à partir d'énergies fossiles entraîne en réalité une baisse des émissions si bien que la somme des émissions spécifiques est égale à zéro.

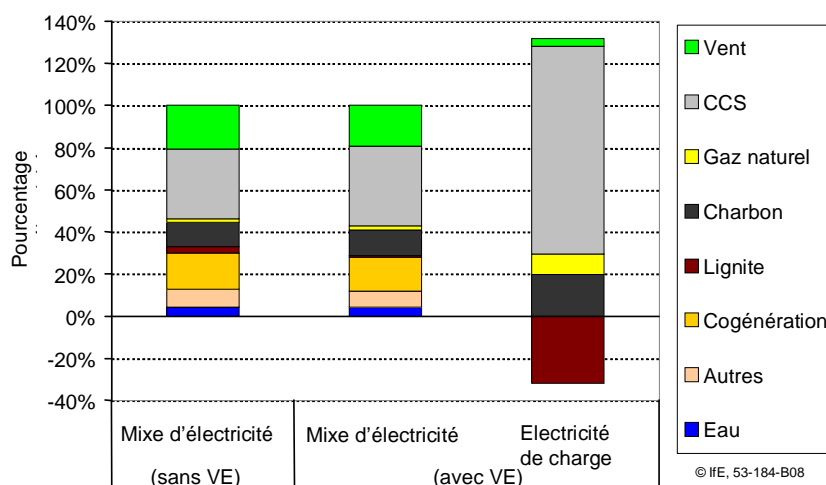


Figure 2 : Mixe électrique avec une intégration à zéro émissions des VE en 2040

Coûts liés à la production d'électricité supplémentaire

Au-delà des propriétés techniques, la rentabilité est un facteur prépondérant pour envisager le succès des véhicules électriques. Cette rentabilité doit provenir essentiellement des coûts d'exploitation qui sont dictés par les tarifs de l'électricité, étant donné que les coûts d'acquisition des VE resteront nettement supérieurs à ceux de véhicules classiques.

La charge « contrôlée » ainsi décrite conduit à une meilleure exploitation des capacités de production d'électricité, ce qui permettrait une baisse globale des coûts spécifiques. Il ne sera pas nécessaire d'installer des centrales additionnelles et les investissements dans les centrales en base seront plus attractifs, représentant des avantages en matière de coûts pour le courant de charge. De plus, la recharge des VE a lieu pendant des périodes durant lesquelles les coûts marginaux de production d'électricité - et ainsi les coûts d'exploitation - sont bas.

Cet effet positif sur les coûts apparaît même si l'on souhaite limiter les émissions de CO₂. Une production d'électricité avantageuse en terme de coûts et provoquant de fortes émissions est remplacée par une production chère à émissions plus faibles. L'effet qui prédominera dépend de la composition du parc de centrales. Dans ce contexte, la durée restante d'exploitation de l'énergie nucléaire et la disponibilité de la technologie CCS jouent un rôle déterminant.

La figure 3 montre, pour la période 2010 à 2040, le développement des coûts de production du courant de recharge (sans prise en compte du coût des certificats de CO₂). Le coût de production moyen du parc électrique dans le scénario de référence sert de comparaison. Dans le cas d'une intégration (neutre en émissions) du courant de recharge, on obtient une représentation non uniforme. S'élevant à environ 2 à 3 centimes par kWh, les coûts d'énergie de recharge restent actuellement encore nettement au-dessous des coûts moyens. A partir de 2020, ils augmenteront cependant brusquement en raison de la sortie du nucléaire. Par la suite, de plus en plus de centrales CCS pourront être exploitées en base, ce qui permettra d'abaisser les coûts du courant de recharge à nouveau au-dessous des coûts moyens.

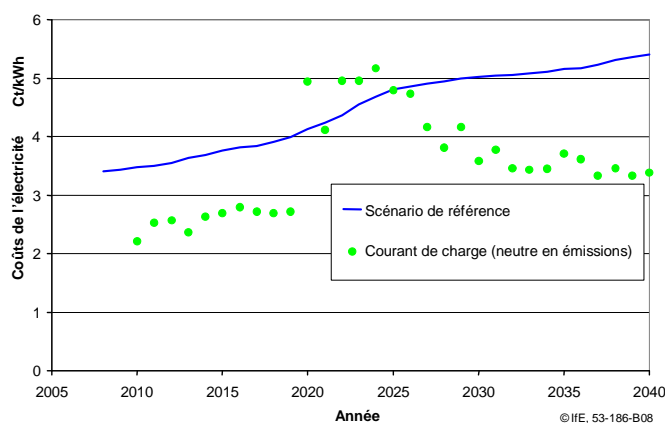


Figure 3 : Développement des prix liés à la transformation d'énergie en électricité, pour un courant de recharge neutre en émissions des VE, en comparaison avec le scénario de référence

Les résultats montrent que même dans le cas d'une limitation des émissions, une recharge contrôlée des VE permet de maintenir des coûts de production de l'électricité de recharge à un niveau relativement bas.

Il faut néanmoins noter que les coûts d'exploitation du réseau, les impôts et les charges ne sont pas pris en compte ici. Il existe, du point de vue législatif, une certaine marge de manœuvre concernant ces coûts.

Bilan

La simulation de la production d'électricité permet de connaître la consommation que va engendrer le courant de recharge de VE. En périodes hors pointe, cette énergie sera essentiellement fournie par les centrales de base et les centrales à charge moyenne. La part d'électricité produite à partir des énergies renouvelables à destination des VE reste faible, car les énergies renouvelables sont intégrées en priorité suivant la loi allemande pour les énergies renouvelables (loi EEG). Uniquement dans le cas où des capacités de production renouvelables ne seraient pas totalement utilisées, l'électricité renouvelable pourrait être utilisée pour la recharge.

Les VE peuvent être intégrés dans la production d'électricité sans imposer d'émissions de CO₂. Le marché d'échange des certificats d'émission de CO₂ permet de fixer la limite supérieure des quantités de CO₂ émises chaque année par les centrales thermiques. Cette limite ne sera pas dépassée même lors d'une augmentation de la production d'électricité pour le courant de recharge des VE. Cela signifie que les émissions spécifiques d'une unité d'électricité produite baissent par rapport à la situation de référence, comptabilisée sans VE. Dans ce cas, les coûts dus au courant de recharge sont souvent plus bas que les coûts de production de l'électricité, car presque aucun coût d'investissement n'est à comptabiliser.

Les résultats présentés dépendent en grande partie des deux conditions générales suivantes : l'avenir de l'énergie nucléaire et la faisabilité des centrales CCS. Une percée de l'électromobilité en Allemagne dépendra de la façon dont sera géré l'approvisionnement énergétique de l'Allemagne.

Les références de l'article dans sa version intégrale sont : Roth, H., Gohla-Neudecker, B.: Netzintegration von Elektrostraßenfahrzeugen - Ausblick auf mögliche Entwicklungen in der Stromerzeugung ; VDI-Tagung Elektrische Energiespeicher, VDI-Berichte 2058, S.183 – 194, Düsseldorf 2009

Contact

Dr.-Ing. Hans Roth
Technische Universität München

Téléphone +49 (0)89 289 28308
E-mail hroth@tum.de

Véhicules à batterie et véhicules à piles à combustible - Partenaires ou concurrents ?

Ulrich Wagner, chaire d'économie du secteur énergétique et des applications à l'Université technique de Munich

Ulrich Wagner est professeur titulaire à la chaire d'économie du secteur énergétique et des applications à l'Université technique de Munich et directeur scientifique du Centre de recherche de l'économie du secteur énergétique à Munich. Ulrich Wagner a obtenu son doctorat en rendement énergétique des

batteries de traction. Depuis 1990, il est enseignant à l'Université technique de Munich (cours : « voitures électriques »). Depuis 1996, il dirige le centre de coordination « Initiative pour l'hydrogène en Bavière » à Munich.

Les premiers véhicules à batterie ont été développés il y a plus de 100 ans. A cette époque, ils disposaient encore d'une avancée technique importante vis-à-vis des véhicules équipés de moteurs à combustion. La densité d'énergie des carburants deux fois supérieure à celle des batteries et la faible durée nécessaire pour remplir le réservoir de carburant sont des raisons qui ont amené - avec le développement des démarreurs électriques - à la percée des véhicules à moteur thermique. Le rendement plus faible ainsi que la consommation relative de carburant élevée des moteurs thermiques (essence ou diesel) n'ont joué qu'un rôle mineur durant tout un siècle. Ce n'est qu'à partir des chocs pétroliers successifs dans les années 1970, qu'on a pris conscience de la grande dépendance en terme de politique énergétique vis-à-vis des produits pétroliers et des prix imposés arbitrairement par les pays producteurs de pétrole. S'en sont suivi de nombreux travaux de recherche et de développement donnant naissance à des centaines de prototypes à batterie et à des véhicules produits en petite série. Cependant, une percée sur le marché de l'électromobilité n'a pas encore pu avoir lieu en raison de la faible autonomie des véhicules et des durées de recharge excessives.

L'histoire des véhicules à piles à combustible remonte, elle-aussi, à plusieurs décennies. Ces automobiles utilisent la même plate-forme de propulsion électrique mais répondent mieux aux exigences des utilisateurs car la capacité de stockage en hydrogène dont elles disposent peut être adaptée. Jusqu'à aujourd'hui cependant, cette technologie n'a pas réussi à s'imposer à grande échelle en raison des nombreuses contraintes auxquelles est soumise une pile à combustible (PAC) dans le transport quotidien.

Ces dernières décennies, un grand nombre de batteries de différentes natures ont été utilisées pour la propulsion. Parmi elles, la batterie au plomb joue aujourd'hui encore un rôle important. Bien qu'elle ne fournisse pas des densités d'énergie et de puissance élevées (respectivement 30 Wh/kg et 50 W/kg), ses avantages sont sa durée de vie, sa (relative) fiabilité

dans l'indication de l'état de charge ainsi que son coût d'acquisition. La batterie au plomb devrait également représenter à l'avenir la solution la plus avantageuse pour des véhicules satisfaisant des exigences moindres en termes de performance et d'autonomie.

Les systèmes alcalins, notamment les batteries NiMH, présentent une densité d'énergie deux fois plus élevée que les batteries au plomb. Leur cycle de vie est presque deux fois plus long (à condition que la recharge soit adaptée). Il en va malheureusement de même pour les coûts d'acquisition, deux fois plus importants. La batterie NiMH est actuellement la technologie de pointe qui se retrouve dans de nombreux véhicules électriques (VE). Elle a devancé de nombreuses autres technologies développées durant les vingt dernières années comme les batteries NiFe, NiCd ou les batteries à haute température.

Les batteries lithium-ion à forte densité d'énergie (jusqu'à 100 Wh/kg) et à forte densité de puissance (plus de 200 W/kg) suscitent beaucoup d'espoir en vue de la prochaine génération de VE, car elles permettent d'envisager des véhicules disposant d'une autonomie supérieure à 200 km.

Pour des raisons techniques et économiques, ce sont surtout les piles à combustible de type PEM (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), voire les DMFC (Direct Methanol Fuel Cell), qui entrent en jeu pour les applications mobiles. Le rendement électrique des systèmes dans le véhicule devrait atteindre environ 35%. De plus, à l'instar des systèmes à batterie, les piles à combustible offrent la possibilité de récupérer la chaleur résiduelle pour le chauffage intérieur voire pour la climatisation du véhicule. Cependant se pose le problème d'une évacuation appropriée de la chaleur produite (entre 60°C et 80°C) lorsque la température ambiante est élevée. Pour une meilleure commercialisation des PAC, il est avant tout nécessaire de développer des matériaux peu onéreux (membranes, matériaux d'électrodes, catalyseurs, etc.), de prolonger leur durée de vie ou de réduire leur dégradation, et enfin de minimiser les coûts.

Les véhicules à batterie et les véhicules à PAC présentent des analogies techniques à trois niveaux (figure 1).

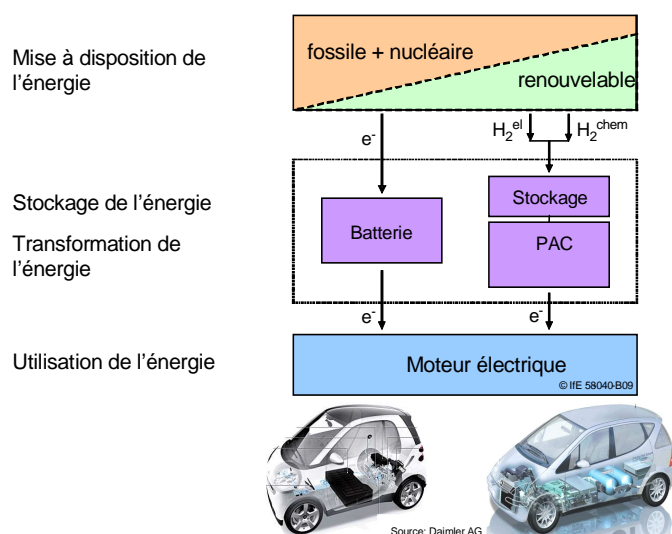


Figure 1 : Analogies des technologies de batteries et de piles à combustible

Quant à la configuration des systèmes de propulsion électriques, il n'existe pas de différence entre les véhicules à batterie et les véhicules à piles à combustible.

Les batteries et les piles à combustibles sont basées sur le même mécanisme électrochimique pour la génération des porteurs de charge électrique. Dans les deux cas, il s'agit de réactions d'oxydoréduction qui s'effectuent par un transport de charge interne par des ions entre l'anode et la cathode. Le déplacement de ces électrons se produit par l'intermédiaire des bornes et d'un utilisateur extérieur. La principale différence se situe au niveau des électrodes qui représentent, dans le cas d'une PAC, l'espace réactionnel pour les gaz de réaction (ici, l'air ambiant) introduits par des composants externes. Dans le cas de la batterie, l'ensemble du réactif est stocké dans les électrodes et réagit au cours de la décharge.

Que ce soit dans les véhicules à batterie ou dans les véhicules à PAC, la production de quantités supplémentaires de vecteurs d'énergie - électricité ou hydrogène - ainsi que la prise en compte de critères économiques, représentent un grand défi.

Les deux technologies permettent d'avoir recours à des sources d'énergie primaire diversifiées dans le secteur du transport et d'intégrer progressivement et continuellement de plus grandes quantités d'énergies renouvelables dans notre système énergétique.

L'efficacité énergétique des véhicules électriques en conditions normales de roulage (« Tank to Wheel »), est d'environ 75% pour les véhicules à batterie et d'environ 35% pour les véhicules à PAC. De fait, ces taux sont beaucoup plus élevés que ceux des véhicules conventionnels à moteurs thermiques (environ 23% pour les véhicules au diesel et environ 19% pour les véhicules au gaz naturel). Toutefois, en considérant l'ensemble du système, il s'avère que la production des véhicules à batterie nécessite environ 80% d'énergie en plus par rapport à la production de véhicules conventionnels au diesel (60% pour les véhicules à PAC). Cela signifie que la comparaison de l'énergie grise (somme de toutes les énergies nécessaires à la production, à la fabrication, à l'utilisation et enfin au recyclage d'un matériau ou d'un produit) montre que les VE ne peuvent rivaliser avec les véhicules conventionnels roulant au diesel ou au gaz naturel qu'après une certaine distance parcourue. Au vu du mixe énergétique actuel des centrales thermiques en Allemagne (rendement d'environ 37%), cette distance est établie à environ 120.000 km (durée de vie moyenne d'un véhicule). La figure 2 montre la dépendance de la consommation en énergie primaire par kilomètre parcouru (kWh/km) par rapport au rendement de l'énergie mise à disposition pour l'électricité ou l'hydrogène.

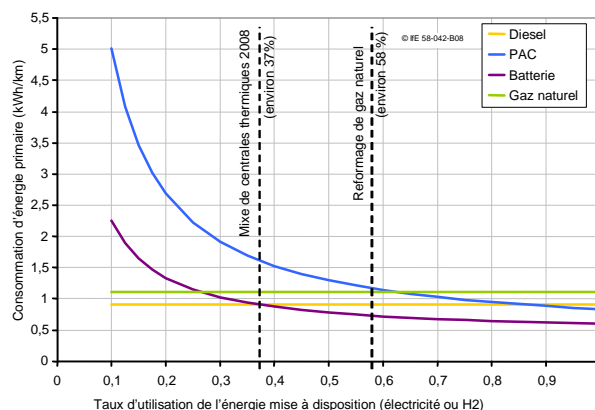


Figure 2 : Consommation spécifique d'énergie primaire des véhicules (énergie grise incluse)

Grâce aux progrès techniques réalisés pour la construction de centrales électriques et à la construction successive de nouvelles installations thermiques pour la production d'électricité, la consommation en énergie primaire des VE à batterie continuera à baisser. L'efficacité des véhicules à piles à combustible est légèrement inférieure en raison du plus faible rendement du système.

Conclusion

Dans tous les cas, l'efficacité énergétique des VE en conditions normales de roulage (Tank to Wheel) est plus élevée que celle des véhicules à moteur thermi-

que. Le rendement du système global (« Well to Wheel ») dépend fortement de la source d'énergie primaire utilisée et du procédé de conversion mis en place dans la production d'électricité ou d'hydrogène. Ainsi, le rendement de production de l'énergie électrique (« Well to Tank ») peut varier de 25% (par exemple pour une centrale de cogénération alimentée par des moteurs à combustion) à presque 100% (dans le cas d'éoliennes ou de centrales photovoltaïques spécialement dédiées à l'électromobilité et non à la production d'électricité dans le cadre de la loi EEG relative aux énergies renouvelables en Allemagne).

Une intégration à grande échelle des énergies renouvelables dans l'alimentation électrique et dans le secteur des transports est possible pas à pas via les deux technologies, sans que les véhicules électriques nécessitent de modifications techniques supplémentaires.

Ainsi, l'efficacité des véhicules ne cesse d'augmenter de manière continue, dans les mêmes proportions que l'efficacité des installations de conversion (production d'électricité, production d'hydrogène).

Les émissions sont réduites plus efficacement au niveau d'installations centralisées que sur des millions de véhicules pris séparément. Les VE présentent également des nuisances sonores inférieures à celles des véhicules à moteur thermique.

Les faibles émissions de CO₂ et d'autres particules nuisibles ne se produisent pas au niveau du véhicule

même, mais plutôt dans les installations de conversion qui se trouvent généralement loin des agglomérations qui sont particulièrement affectées par les immissions.

L'intérêt du grand public et des politiques pour l'électromobilité a longtemps connu des hauts et des bas : dans les années 1990, de grandes déclarations optimistes annonçaient les véhicules à PAC pour une production en série en 2005. La réalisation annoncée est largement en retard, l'intérêt public (et ainsi celui de l'industrie) pour cette technique a progressivement diminué vis-à-vis de cette technique et est réapparu avec la mise en place de véhicules électriques à batterie.

Si cette technologie n'est pas non plus commercialisée dans les années à venir, cela pourrait provoquer une nouvelle désillusion. Il est donc important de fixer des objectifs réalistes en termes de communication vers le grand public et de les poursuivre de façon conséquente. Pour cela, il faudra que la recherche et le développement sur les piles à combustibles et les batteries se fassent en continu et qu'une polarisation de ces technologies soit évitée.

L'avenir roulera à l'électricité grâce aux batteries et aux piles à combustible !

Contact

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner
Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik
<http://www.tu-muenchen.de>

Téléphone +49 (0)89 289 28301
E-mail uwagner@tum.de

