

Synthèse de l'audition de M. Laurent Antoni, CEA Liten

M. Laurent Antoni a été reçu par M. Denis Baupin et Mme Fabienne Keller le mercredi 30 janvier 2013. Voici les principaux extraits de son audition qui a porté sur les activités du CEA en matière d'énergies alternatives pour les transports, l'utilisation des batteries et de l'hydrogène dans les transports en tant que carburant ou complément des batteries, les tests nécessaires pour assurer sa sûreté, les émissions de gaz à effet de serre, le stockage de l'énergie et le lien avec les transports décarbonés, la recherche et la situation de l'hydrogène en Allemagne et en France.

Le CEA et les transports

Le CEA, qui cherche à générer de l'énergie abondante, à coût sûr et décarbonée (nucléaire et alternatives), traite l'ensemble des énergies alternatives : solaire, électricité, biomasse, hydrogène, en recherchant des solutions économiques débouchant sur des produits à vocation industrielle. Ce processus débute par des études en laboratoire, et se poursuit par l'élaboration d'un prototype permettant d'aboutir à un produit et à l'industrialisation avec des partenaires industriels ou éventuellement en créant une *start-up*. Dans le solaire par exemple, le CEA part du silicium et va jusqu'à l'installation des panneaux photovoltaïques sur les toits. Il en est de même pour les batteries Lithium en allant des poudres pour les accumulateurs jusqu'aux packs intégrés dans des véhicules ainsi que pour l'hydrogène et les piles à combustible où il intervient de la fabrication de nouveaux matériaux jusqu'à l'intégration de systèmes dans des démonstrateurs pour les transports.

Troisième dépositaire de brevets en France, derrière Peugeot et L'Oréal, le CEA dépose plus de brevets que Harvard et le MIT réunis. Il a contribué depuis 2000 à la création d'une cinquantaine de *start-ups* dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie et de l'électronique. Son portefeuille de brevets est certes plus ancien dans la microélectronique que dans l'hydrogène et les batteries.

Dans les transports, le CEA traite des différents modes de transport (terrestres, maritimes, aériens) et de nombreux aspects pour chaque véhicule (stockage d'énergie, électroniques, structure...) Pour les véhicules électriques, il a développé une plateforme pour les batteries. Cette ligne pilote va de la fabrication de poudre jusqu'à l'intégration des packs batteries dans les véhicules électriques. Ces projets sont financés par des collaborations bilatérales avec des industriels, par des investissements d'avenir (AMI ADEME), ce qui est par exemple le cas d'un projet mené en collaboration avec Michelin et qui a permis d'avoir des durées de vie intéressantes sur des batteries Li-ion. Tous ces projets sont réalisés en cherchant à garantir tout d'abord la sécurité, puis les performances et le coût.

La technologie hydrogène dans les transports

Pour l'hydrogène et la mobilité hydrogène, on en est au niveau du déploiement : plus de 500 véhicules à hydrogène roulent à travers le monde aujourd'hui (surtout en Allemagne, aux Etats-Unis et au Japon), desservis par 208 stations d'hydrogène dans le monde dont 27 nouvellement installées en 2012. L'Allemagne vise 50 stations à fin 2015.

PSA Peugeot Citroën a conçu un tel véhicule (Fisypac) avec le CEA entre 2003 et 2010. Puis PSA Peugeot Citroën a mis en veille cette activité. Au sein de l'alliance Renault-Nissan, l'activité pile à combustible est portée par Nissan. Le CEA poursuit ses développements pour les transports à travers notamment une collaboration avec une jeune société française Symbio FCell. Les grands constructeurs français semblent ainsi moins intéressés que plusieurs constructeurs étrangers : Daimler, Ford et Nissan ont signé cette semaine un contrat sur la commercialisation d'un véhicule à pile à combustible accessible au grand public d'ici 2017, afin d'unir leurs forces et de baisser le surcoût lié à la technologie hydrogène. Hyundai commence sa commercialisation cette année ; Toyota, et Honda annoncent qu'ils le feront en 2015. Tout commencera par les flottes captives (gouvernements, grandes sociétés privées et publiques).

Depuis 2002, le coût d'un véhicule à hydrogène a diminué de près de 80%. Par ailleurs, les projections en production massive (500 000 véhicules par an) montrent que le coût d'un véhicule à hydrogène n'est plus très loin de la barre des 35\$/kW, objectif visé pour être comparable aux véhicules thermiques : il ne culminerait plus qu'à 50\$/kW. »

On utilise aujourd'hui cinq fois moins de platine qu'il y a sept ans par cm² d'électrode, tout en produisant plus d'électricité. Et la durée de vie actuelle des piles à combustible est de plusieurs milliers d'heures.

L'hydrogène comme carburant : Qu'en est-il de la sécurité de ces véhicules ?

Il faut trouver des solutions dont le niveau de sécurité ne soit pas moins élevé que le niveau de sécurité actuel de l'essence. L'hydrogène brûle et explose ; l'essence aussi. La sécurité est prise en compte dès la conception du réservoir.

On stocke généralement les réservoirs des véhicules à 700 bars aujourd'hui soit en bouteille de 37 litres, cela représente 1,3 kg d'hydrogène. Comme on parcourt jusqu'à 130 km par kilogramme d'hydrogène, il faut entre 3 et 5 kilogrammes d'hydrogène dans le réservoir pour ne pas perdre en autonomie par rapport aux autres voitures.

Si l'on prend un facteur de sécurité égal à 2.4, il faut faire des tests de sécurité jusqu'à 1700 bars (gestion de la thermique, impact de balles, accidents). Aucun surincident lié à la technologie hydrogène n'a été répertorié aujourd'hui sur les 500 véhicules en circulation. Cela traduit un bon niveau de maturité.

Pourquoi utiliser l'hydrogène ?

Le rendement n'est pas la motivation essentielle des projets de véhicules décarbonés. Le rendement global est moins important que le service rendu aux personnes et l'apport à l'environnement (en fait la diminution de l'empreinte environnementale), car nous partons d'une énergie fatale, inépuisable et renouvelable. Le rendement actuel de la chaîne de traction des véhicules à pile à combustible est en moyenne de l'ordre de 50% contre 20% pour les moteurs thermiques. Cependant, en termes de rendement global (du puits à la roue), l'hydrogène est plus faible que le pétrole, mais il permet une réduction voire une annulation de la production CO₂ et de l'émission de CO₂ à l'utilisation des véhicules. Ainsi, en considérant un véhicule électrique utilisant une pile à combustible alimentée par de l'hydrogène produit à partir d'énergie solaire et d'électrolyse de l'eau, le rendement global est de l'ordre de 5%. En partant toujours de l'énergie solaire, il est de l'ordre de 14% pour un

véhicule électrique à batterie et 0,1% pour un véhicule utilisant des biocarburants. Mais dans ce cas, les véhicules électriques à pile à combustible et à batterie n'émettent pas de CO2 pendant leur utilisation.

Le bilan du puits à la roue d'un véhicule à hydrogène (pour de l'hydrogène fabriqué à partir de gaz naturel et de vaporeformage) est déjà plus faible que celui d'un véhicule à essence : 70 à 90 grammes de CO2 / km. Outre le fait que l'on émet moins de CO2, on le fait de manière localisée, ce qui facilite les possibilités de captage et de revalorisation du CO2. La production de l'hydrogène à partir d'énergies renouvelables réduirait encore plus ce bilan et est l'objectif à atteindre.

Comment distribuer l'hydrogène ?

On peut envisager d'enrichir le gaz naturel en hydrogène (Hythane) et le distribuer via le réseau de gaz. On peut aussi imaginer des solutions locales de production et de distribution qui permettent de ne pas être obligés d'utiliser ou de créer de gros réseaux gaziers.

L'hydrogène est une solution complémentaire aux batteries

L'hydrogène va permettre de répondre de manière complémentaire aux besoins des véhicules électriques à batterie. Ce peut être un moyen pour allonger l'autonomie des véhicules électriques, en utilisant l'hybridation (véhicule dit en mode « range extender »). Cela permet de résoudre le problème de la durée de recharge ; la durée de recharge en hydrogène est équivalente à celle d'un plein d'essence. Cela pourrait être aussi intéressant pour les transports de marchandises en milieu urbain. Les livraisons pourraient se faire de nuit puisque l'hybride PAC- Moteur électrique implique la disparition de toute nuisance sonore. Cela permettrait d'imaginer de nouveaux plans de circulation pour désengorger les centres-villes.

Le véhicule peut être utilisé pour stocker de l'énergie

Le CEA qui a de nombreuses activités sur les batteries s'intéresse à la voiture autant comme moyen de déplacement que comme moyen de stockage d'énergie. En effet, le véhicule électrique est une réserve d'énergie disponible, quand il ne roule pas. Ceci permet de faire le lien avec les besoins en électricité du réseau dans le cadre d'un *smart grid* ou d'une maison, dans le cadre d'un *smart house*. On peut par exemple imaginer des garages publics avec des prises électriques pour les véhicules. On pourrait ainsi gérer à la fois la recharge des véhicules mais aussi le soutien aux demandes du réseau. Ceci implique de construire un modèle économique répondant aux questions suivantes : A quel prix vend-on l'électricité au réseau ? A quel prix achète-t-on l'électricité pour charger la batterie ? Une approche similaire est possible pour trouver une convergence entre habitat et transport. Par exemple, l'installation de panneaux photovoltaïques d'une puissance de 5 kW électrique sur une maison à basse consommation couplée à un stockage batterie de 6 à 10kWh (inférieur à la capacité d'un véhicule électrique) permettrait sous nos latitudes d'assurer jusqu'à 70% d'autoconsommation électrique.

Ces approches permettent d'écarter la demande et de répondre aux intermittences des énergies renouvelables (solaire, éolien) et de lisser le fonctionnement des grandes centrales de production électriques.

Où en est la recherche sur le stockage de l'énergie ?

Les batteries « nouvelle génération », essentiellement basées sur les technologies lithium, ont permis de faire des véhicules plus légers, plus performants et de réduire ainsi la consommation au kilomètre. Sur un véhicule électrique au CEA, en passant de la technologie nickel cadmium des années 90 à la technologie lithium, l'autonomie a été doublée pour une capacité identique des packs batterie. L'utilisation des batteries de véhicules électriques comme maillon contribuant au stockage général de l'énergie a été évoquée précédemment.

L'utilisation de l'hydrogène comme stockage massif d'énergie, notamment d'énergies renouvelables, est une voie complémentaire. Un premier démonstrateur en France a permis d'obtenir des résultats intéressants sur le couplage avec l'énergie solaire, et sur le stockage. Cela est réalisé en Corse dans le cadre de la plateforme Myrte (560 kW de puissance électrique issue de panneaux photovoltaïques, un électrolyseur, un stockage hydrogène/oxygène, 100 kW de puissance électrique fournie par une pile à combustible). Le pic de consommation du milieu de journée est assuré directement par l'électricité photovoltaïque et le pic de consommation en soirée par l'électricité produite par la pile à combustible à partir de l'hydrogène fabriqué par électrolyse pendant la journée. C'est un site d'expérimentation d'utilisation des énergies renouvelables pour soutenir le réseau en écartant les pics de consommation. Ce projet résulte d'une coopération entre le CEA, l'Université de Corse et Areva Stockage d'Énergies Renouvelables. Il est à noter qu'une partie de cet hydrogène pourrait être utilisé pour alimenter les véhicules à pile à combustible.

Comment se situe la France par rapport à l'Allemagne ?

Dans le domaine des batteries, la France n'a rien à envier à l'Allemagne aussi bien par ses activités de recherche et de développement (CEA, CNRS) que par l'implication de constructeurs automobiles comme plus particulièrement Renault dans les véhicules électriques.

L'Allemagne a misé sur le véhicule à hydrogène depuis de nombreuses années. Ainsi les constructeurs allemands Daimler, Volkswagen et BMW développent seuls ou en collaborations avec d'autres constructeurs internationaux des véhicules à pile à combustible avec un début commercialisation entre 2015 et 2017. Il existe également un plan associé de déploiement des infrastructures hydrogène associées avec 15 stations hydrogène en place et 35 nouvelles d'ici 2015. L'Allemagne investit ainsi 1,4 milliards d'Euros en 10 ans dans l'hydrogène soit autant que l'Europe.

Mais l'Allemagne s'est également lancée dans un grand programme de stockage des énergies renouvelables. La problématique des énergies renouvelables est de gérer leur intermittence sans trop perturber le réseau actuel. Une solution est de stocker ces énergies quand elles sont en excès sous forme d'hydrogène gazeux produit par électrolyse. Cet hydrogène pourra soit réalimenter le réseau électrique en utilisant des piles à combustible soit combiné à du dioxyde de carbone, être transformé en méthane, c'est-à-dire en gaz naturel de

synthèse. Ce gaz naturel de synthèse peut alors être injecté dans le réseau de distribution de gaz naturel, ou bien être stocké pour être transformé ultérieurement en électricité et chaleur lors des pics de consommation. Cette dernière voie permet ainsi de recycler de grandes quantités de CO₂. Enfin, une partie de l'hydrogène produit pourra alimenter des stations à hydrogène à proximité.

Globalement, dans le domaine de l'hydrogène, la France accuse du retard même si elle dispose d'acteurs de rang mondial (Air liquide, AREVA, Total, GDF SUEZ, EDF, CEA). L'absence de constructeurs automobiles volontaristes, d'un soutien politique marqué et des freins réglementaires en sont les principales causes. Pourtant l'hydrogène est un sujet important, comme le dit Louis Gallois, dans son rapport sur la compétitivité en regrettant l'absence de la France dans le domaine.

Qu'est ce qui en France empêche le déploiement de l'hydrogène ?

Un des principaux freins au déploiement en France des technologies de l'hydrogène françaises et internationales est la barrière réglementaire notamment pour les transports. L'hydrogène est considéré actuellement comme un gaz industriel dangereux. Il faut mettre en place une réglementation adaptée. Des avancées ont eu lieu ces dernières années. Il y a une directive européenne n°079/2009 qui a été retranscrite en droit français en mars 2011 concernant la réception par type des véhicules à moteur fonctionnant à l'hydrogène. Une extension a été publiée en 2010 (n° 406/2010). Et une proposition de directive sur les carburants alternatifs a été publiée il y a une semaine. Parmi ces carburants alternatifs, l'électricité et l'hydrogène sont mentionnés en premier. Cette directive prévoit l'obligation d'installation en France d'ici fin 2020 de près d'un million de bornes de recharges électriques et d'un réseau de stations à hydrogène distantes au maximum de 300 km.

Mais pour faciliter le déploiement de véhicules à hydrogène en France, la France devra également proposer ses propres réglementations et les acteurs devront travailler en étroite collaboration avec les DREAL

En résumé, dans le contexte de cette étude, le CEA considère le transport et la mobilité comme un écosystème alliant à la fois les différents modes de transport et de chaînes de traction électriques décarbonés (batterie, hydrogène), les modes de recharges associées, les modes de production favorisant le couplage aux énergies décarbonées, le couplage des véhicules au réseau électrique et à une gestion intelligente des habitats. Enfin, ces interactions ne pourront être optimisées qu'à travers le développement d'une mobilité communicante et de nouveaux services. Dans tous ces domaines, le CEA travaille à proposer et à valider des innovations qui ont pour vocation à être transférées aux entreprises françaises.