

A S S E M B L É E N A T I O N A L E

X I V ^e L É G I S L A T U R E

Compte rendu

Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Examen de l'étude de faisabilité par MM. Jean-Marc Pastor et
Laurent Kalinowski sur « les enjeux et les perspectives de la
filière hydrogène » 2

Audition de M. Bruno Revellin-Falcoz, président de
l'Académie des technologies..... 8

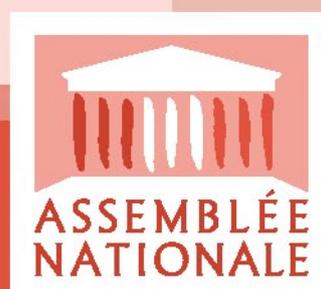
Mercredi 24 octobre
2012

Séance de 17 heures

Compte rendu n° 6

SESSION ORDINAIRE DE 2012-2013

**Présidence
de M. Bruno Sido,
sénateur,
*Président***



Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Mercredi 24 octobre 2012

Présidence de M. Bruno Sido, Sénateur, Président

La séance est ouverte à 17 heures

– **Examen de l'étude de faisabilité par MM. Laurent Kalinowski et Jean-Marc Pastor sur « les enjeux et les perspectives de la filière hydrogène »**

M. Laurent Kalinowski, député, rapporteur. - Monsieur le président, Monsieur le premier vice-président, chers collègues. Notre Office a été saisi le 9 mars 2012 par Daniel Raoul, président de la commission des affaires économiques du Sénat, d'une étude sur les enjeux et perspectives des applications énergétiques de l'hydrogène. Dans sa saisine, Daniel Raoul a souhaité que les nombreuses questions posées par le développement de la filière hydrogène soient, à cette occasion, examinées avec la plus grande attention.

Le 24 juillet dernier, vous m'avez, avec Jean-Marc Pastor, nommé rapporteur de cette étude et nous vous remercions de cette marque de confiance. A cette occasion, Jean-Yves Le Déaut a noté que l'effort de recherche actuel sur l'utilisation énergétique de l'hydrogène se justifiait notamment par l'importance du stockage et du transport de l'énergie pour l'expansion des énergies renouvelables intermittentes, telles l'éolien ou le solaire.

Son constat rejoint celui de la mission parlementaire sur « la sécurité nucléaire, la place de la filière et son avenir ». Dans les conclusions de leur rapport final, nos collègues Christian Bataille et Bruno Sido relèvent que le déploiement à grande échelle de ces énergies intermittentes suppose de développer au préalable de nouvelles technologies de stockage massif de l'énergie. L'autre solution, utilisée par nos voisins allemands, qui consiste à construire des centrales à flamme pour compenser l'absence de vent ou de soleil n'est pas acceptable. Elle aurait deux conséquences dommageables : accroître notre dépendance aux énergies fossiles et donc augmenter nos émissions de CO₂.

Notre étude s'appliquera donc tout spécialement à évaluer, en regard des diverses solutions possibles, l'apport de l'hydrogène pour le stockage de l'énergie. Mais nous ne négligerons pas non plus les autres applications énergétiques de l'hydrogène, dans les transports, dans le secteur résidentiel, ou encore l'électronique.

Dans notre démarche, nous avons estimé que nous devons d'abord faire le point sur les précédents travaux que notre Office a consacrés au même sujet entre 2001 et 2009. Un résumé de ces travaux se trouve dans notre étude de faisabilité. C'est sans doute cette conclusion de Christian Cabal et Claude Gatignol dans un rapport de l'Office publié en 2005 qui résume le mieux les constats de nos prédécesseurs : « *L'hydrogène est l'un des vecteurs énergétiques du futur. Son potentiel est très élevé mais ni la technologie, ni son coût économique ne permettent d'envisager une large diffusion dans le moyen terme et même tout simplement à un horizon fiable* ».

Dans le cadre de notre étude, nous évaluerons bien évidemment les progrès réalisés depuis la publication de ces rapports sur toute la chaîne qui va de la production de l'hydrogène à son utilisation, en passant par son transport et son stockage. Nous pouvons déjà affirmer qu'ils sont considérables car les applications énergétiques de l'hydrogène ne sont plus cantonnées aux laboratoires.

Toutefois notre objectif consistera non seulement à donner une vision complète et équilibrée des applications de l'hydrogène énergie et des avancées de la filière associée, mais aussi à formuler des recommandations destinées à faciliter et à accélérer le développement de ce vecteur énergétique dans les applications pour lesquelles il s'avère le plus pertinent.

Je vais passer à présent la parole à Jean-Marc Pastor qui va évoquer le contexte dans lequel se place notre étude.

M. Jean-Marc Pastor, sénateur, rapporteur. Comme l'ensemble des pays développés ou émergents, notre pays se trouve aujourd'hui confronté à la nécessité d'engager une transition énergétique. Cette transition, elle résulte de deux contraintes majeures. La première c'est le renchérissement et, à terme, la raréfaction des énergies fossiles. La deuxième, c'est le réchauffement climatique qui implique une réduction très importante de nos émissions de gaz à effet de serre.

Notre pays a connu, depuis la révolution industrielle, plusieurs transitions du même type. La dernière en date, après le premier choc pétrolier, a modifié notre façon de produire l'électricité. Nous avons remplacé les centrales électriques à flamme par des centrales nucléaires. Ces centrales, avec nos barrages construits après-guerre, nous ont permis de faire face à quatre priorités stratégiques.

La première priorité est une production électrique suffisante et adaptée, en énergie et en puissance. En effet, au cours des trente dernières années, notre consommation intérieure d'électricité, tirée par une démographie et une économie orientées à la hausse, s'est accrue deux fois plus vite que la consommation d'énergie, en passant d'un peu plus de 150 TWh au début des années 1970 à près de 500 TWh aujourd'hui.

La deuxième priorité est l'indépendance énergétique. Grâce à l'électricité produite par nos centrales et nos barrages, notre taux d'indépendance énergétique est proche de 50 %. A cet égard, M. Bernard Bigot, administrateur général du CEA et président du comité de coordination de l'ANCRE, a rappelé à l'occasion de l'audition du 25 septembre 2012 que notre pays importe la quasi-totalité des énergies fossiles qu'il consomme. En 2011, le coût de ces importations, soit 62 milliards d'euros, correspondait, à peu près, au déficit de notre balance commerciale contre 23 milliards d'euros en 2006, soit une augmentation de 200 % en cinq ans.

La troisième priorité est la préservation du développement de notre tissu économique et industriel par une énergie peu chère et de qualité. Les chocs pétroliers ont démontré que la disponibilité en énergie constitue une composante essentielle de la croissance économique. Notre production électrique à la fois stable et à bas coût a fourni une assise de long terme à la croissance en France.

La quatrième priorité est la neutralité environnementale de notre outil de production électrique. Les données fournies par l'Agence internationale de l'énergie sur les émissions de

CO₂ par pays montrent que la France, pour produire une unité de PIB, diffuse deux fois moins de CO₂ que l'Allemagne.

La transition énergétique à venir devra répondre aux mêmes priorités stratégiques que la précédente. Mais cette fois, elle doit nous permettre de nous affranchir, pour partie, des énergies fossiles émettrices de CO₂, dans toutes leurs applications énergétiques. Or, ces ressources fossiles, et tout particulièrement les hydrocarbures, nous permettent aujourd'hui de disposer en grande quantité, à tout moment et en tous lieux, d'une énergie très concentrée, ce à un coût relativement modéré.

Les énergies renouvelables, telles l'éolien et le solaire, peuvent fournir l'électricité en quantité mais leur intermittence ne permet pas d'en disposer à tout moment et leur caractère diffus rend coûteux le transport de l'électricité qu'elles génèrent. En tant que vecteur énergétique, l'hydrogène peut contribuer à les compléter, en assurant le stockage de l'énergie et son transport.

Il faut dire que l'hydrogène est un élément tout à fait remarquable par ses caractéristiques physiques et chimiques. C'est à la fois le plus petit, le plus léger et le plus répandu des atomes, avec 75 % de la masse visible du cosmos.

Mais s'il est très répandu, il ne se trouve que rarement seul. En général, il s'associe avec de l'oxygène, pour former de l'eau, ou avec du carbone, par exemple pour faire du méthane. Contrairement aux hydrocarbures, l'hydrogène n'existe pas dans le sous-sol à l'état pur. Il existe différents moyens techniques de production de l'hydrogène : extraction chimique, à partir d'un hydrocarbure, par exemple par reformatage du gaz naturel ou du biogaz (méthane) par catalyse chimique (thermique), électrolyse de l'eau ou production biologique.

Le reformatage du méthane est une réaction chimique, il n'y a pas besoin d'apport électrique lors de cette réaction. Il faut toutefois noter que, pour établir les conditions nécessaires à cette réaction (hautes températures), il faudra « apporter » de l'énergie (ici de l'énergie thermique). Cet apport d'énergie thermique est néanmoins en partie compensé par la production d'énergie thermique lors de la réaction chimique. Le rendement obtenu est de 80 %.

Au contraire, pour l'électrolyse de l'eau, il faut un apport d'électricité pour produire de l'hydrogène. Avec une alimentation en énergie électrique renouvelable, comme l'hydroélectricité, l'éolien ou le photovoltaïque, l'électrolyse de l'eau permet de produire de l'hydrogène sans pollution ou presque, avec un rendement de 50 à 70 %, voire au-delà.

Il s'agit donc d'un vecteur énergétique.

Je vais à présent redonner la parole à Laurent Kalinowski qui va brièvement vous parler des applications de l'hydrogène.

M. Laurent Kalinowski, député, rapporteur. Comme vous l'a expliqué Jean-Marc Pastor, l'hydrogène a des propriétés remarquables. Je voudrais en ajouter une très importante pour la question qui nous occupe : l'hydrogène est à poids égal l'élément le plus énergétique. Par exemple, un kilogramme d'hydrogène contient trois fois la valeur énergétique d'un kilogramme d'essence.

Une fois qu'il a été produit, de préférence sans émission de CO₂, à partir de la biomasse ou par électrolyse de l'eau, puis transporté jusqu'à son lieu d'utilisation, sous pression ou sous forme liquide, dans des réservoirs ou des pipelines, l'hydrogène peut être utilisé pour diverses applications.

Faute de temps, je passe rapidement sur ces questions importantes de la production et du transport mais vous pourrez trouver plus de détail dans notre étude de faisabilité. Pour la même raison, je ne vais vous parler que des deux principales applications de l'hydrogène énergie.

La première application, que Jean-Marc Pastor vient d'évoquer, concerne le stockage massif d'énergie, notamment en liaison avec les énergies renouvelables intermittentes. Aujourd'hui, seuls nos barrages nous permettent de stocker de grandes quantités d'énergie électrique par le système du pompage-turbinage. Demain, l'énergie produite par les éoliennes ou les panneaux photovoltaïques pourrait être transformée en hydrogène par le procédé d'électrolyse de l'eau. L'oxygène et l'hydrogène ainsi obtenus pourraient être utilisés pour produire à nouveau de l'électricité lorsqu'elle est nécessaire. Lorsque nous l'avons auditionné, M. Bernard Bigot, Administrateur général du CEA, a évoqué le projet MYRTE qui utilise ce mécanisme en Corse pour assurer une production continue à partir de 3.700 m² de panneaux solaires.

La deuxième grande application de l'hydrogène concerne les transports, en remplacement des hydrocarbures de plus en plus coûteux. Plusieurs centaines de voitures à hydrogène circulent déjà dans le monde. Il s'agit en fait de véhicules hybrides disposant également de moteurs et de batteries électriques. Ils ont aujourd'hui une autonomie supérieure à 500 kilomètres et peuvent être rechargés en quelques minutes (sous réserve de trouver une station à hydrogène évidemment). Justement, l'Allemagne et le Japon prévoient de déployer d'ici 2015 respectivement 50 et 100 stations de ce type. Les constructeurs automobiles des deux pays ont tous annoncé qu'ils commercialiseraient d'ici 2015 des voitures à hydrogène, Daimler vient même d'avancer la sortie de son modèle d'une année.

Les applications de l'hydrogène dans les transports pourraient un jour aussi concerner la navigation et l'aéronautique. D'ores et déjà certains sous-marins sont propulsés par l'hydrogène, qui leur permet de disposer d'une autonomie de plusieurs mois en mer. Quelques modèles de drones utilisent aussi l'hydrogène. Quant aux fusées elles font de plus en plus appel au potentiel énergétique exceptionnel de l'hydrogène, c'est notamment le cas d'Ariane.

L'hydrogène a bien d'autres applications énergétiques que je n'aurai pas le temps de décrire : en remplacement des batteries pour l'alimentation des appareils portables, dans les groupes électrogènes, pour la cogénération, c'est-à-dire la production simultanée d'électricité et de chaleur, dans les bâtiments (des milliers de foyers coréens et japonais l'utilisent déjà).

L'intérêt de l'hydrogène, en tant que vecteur énergétique, est justement sa capacité à satisfaire une très large palette de besoins.

Je redonne la parole à Jean-Marc Pastor qui va conclure notre présentation.

M. Jean-Marc Pastor, sénateur, rapporteur. Alors que notre pays se trouve confronté à une nouvelle transition énergétique, nous avons vu que l'hydrogène pourrait tout à

la fois contribuer à faciliter le développement des énergies renouvelables intermittentes et à réduire notre dépendance aux hydrocarbures.

Comme l'ont identifié les précédents travaux de l'Office parlementaire, le **développement de ce vecteur énergétique prometteur, de par ses caractéristiques physico-chimiques**, a été jusqu'à présent freiné par des verrous technologiques difficiles à lever, malgré les efforts de recherche et développement déployés dans plusieurs pays.

Au cours de notre étude, nous essaierons de répondre à un certain nombre de questions : les progrès réalisés depuis la publication de ces rapports ont-ils permis de résoudre les difficultés qu'ils avaient identifiées, pour la production, le stockage et le transport de l'hydrogène à des fins énergétiques ? Comment mettre en place l'infrastructure nécessaire à la distribution de ce nouveau combustible ? Quelles applications énergétiques de l'hydrogène ont atteint un niveau de maturité suffisant pour passer au stade de l'industrialisation ? Quelles actions devons-nous engager pour permettre leur développement dans notre pays ? Comment tirer le meilleur parti des opportunités correspondantes pour développer de nouvelles filières industrielles créatrices d'emploi ?

Afin de répondre à ces questions, nous serons conduits à entendre individuellement les représentants de l'ensemble des acteurs publics et privés impliqués dans le développement de cette filière. A ce jour, nous avons identifié une cinquantaine d'organismes, tels que la DGEC, la Commission européenne, l'AIE, l'ADEME, l'INERIS, le CEA, des associations : l'AFHYPAC, Alphéa, l'Union des industries chimiques, Greenpeace, France Nature Environnement, des entreprises petites ou grandes : Air Liquide, Total, EDF, McPhy, De Dietrich, les constructeurs automobiles...

Par ailleurs, nous prévoyons d'organiser de février à mai 2013 trois auditions publiques sur le thème de la motorisation du véhicule de demain, en liaison avec les rapporteurs de l'étude sur le véhicule écologique, le stockage massif d'énergie et les politiques en matière d'utilisation énergétique de l'hydrogène en Europe.

S'agissant des déplacements à l'étranger, sur la base des informations fournies par les services scientifiques des ambassades et qui sont présentées dans notre étude de faisabilité sous forme d'une synthèse de la situation de chaque pays, nous avons décidé de nous rendre en Allemagne et au Japon, c'est-à-dire les deux pays qui ont poursuivi une politique volontariste pour le développement de l'hydrogène énergie, respectivement afin de faire face à la montée en puissance des énergies renouvelables intermittentes et à l'arrêt de la production d'électricité d'origine nucléaire.

Nous nous déplacerons également en région pour rencontrer les acteurs de terrain, chercheurs ou chefs de petites et moyennes entreprises, qui s'investissent sur le développement des usages énergétiques de l'hydrogène, par exemple à Grenoble pour visiter les laboratoires du CEA et rencontrer les représentants de l'entreprise SymbioFCEL qui développe des piles à combustible destinées au marché automobile.

Nous avons la conviction que ces échanges et ces visites nous permettront d'atteindre les objectifs qui nous ont été fixés, d'une part, dans sa saisine, par le président de la commission des affaires économiques du Sénat, et d'autre part, par le Premier vice-président de l'Office, à l'occasion de notre nomination en tant que rapporteurs.

Notre ambition dans le cadre de ce rapport sera à la fois d'informer nos collègues et le public, et de proposer des mesures pratiques et efficaces pour permettre la meilleure utilisation possible de ce vecteur énergétique qu'est l'hydrogène en vue de la transition énergétique à venir et d'un nouveau mix énergétique à préparer. A cet égard, un plan cadre pour l'hydrogène apparaît nécessaire et une législation spécifique utile.

M. Bruno Sido, sénateur, président. Avez-vous des précisions sur l'industrialisation des procédés de production de l'hydrogène et de ses applications ? D'autre part, avez-vous évalué l'incidence du développement de la filière hydrogène énergie sur la balance commerciale, en fonction des modalités de production, à partir de méthane ou de biogaz par exemple ?

M. Jean-Marc Pastor, sénateur, rapporteur. Notre rapport traitera ce point fondamental. L'ampleur des enjeux, à hauteur de 62 milliards, implique nécessairement une évolution progressive qu'il convient de préparer.

S'agissant de l'industrialisation des applications, pour les transports, les constructeurs allemands, coréens et japonais, se préparent d'ores et déjà à produire en série des voitures à hydrogène à l'horizon 2015. Il ne s'agit plus de véhicules dotés d'un moteur à explosion mais d'un moteur électrique, l'hydrogène jouant le rôle de prolongateur permettant d'atteindre une autonomie de 500 à 700 kilomètres. Le moteur peut être directement alimenté par la pile à combustible ou, en mode hybride, par l'intermédiaire de batteries. Ainsi, une entreprise implantée à Grenoble adapte-t-elle de façon simple la technologie de la pile à combustible sur des véhicules Renault Kangoo afin de prolonger la durée d'utilisation de ses batteries. De fait, ces actions d'industrialisation restent modestes en l'absence de stations à hydrogène permettant l'approvisionnement.

Des applications statiques, telles que les groupes électrogènes, se développent également à échelle réduite, non encore industrielle. L'absence de réseau de distribution est moins handicapante en ce cas.

Ce qu'il faut évaluer ce sont les potentialités de développement dans ce domaine, en se rapprochant des pays les plus volontaristes, comme l'Allemagne et le Japon. Le choix essentiel en la matière concerne évidemment la mise en place d'un réseau de distribution de l'hydrogène.

M. Jean-Yves Le Déaut, député, premier vice-président. L'étude de faisabilité m'apparaît avoir été très correctement menée. Pour le comité d'experts, la présence d'anciens du CEA, comme MM. Christian Ngô et Jean-Paul Langlois, est rassurante. Mais il conviendrait d'équilibrer les organismes de recherche, en faisant également appel aux compétences du CNRS qui dispose en la matière de laboratoires d'excellent niveau à Montpellier, ainsi qu'aux Mines de Saint-Etienne et de Nancy. De même, il serait souhaitable que le nouveau président d'Alphéa, l'organisme français de veille sur la filière hydrogène, puisse faire partie du comité d'experts.

M. Christian Bataille, député, vice-président. Dans le cadre de votre étude, comptez-vous approfondir la question des ressources en électricité nécessaires à la filière de l'électrolyse, compte tenu de la structure de notre production ?

M. Jean-Marc Pastor, sénateur, rapporteur. L'industrie nucléaire et les énergies renouvelables sont les deux modalités de production envisageables. Pour l'éolien et le solaire,

l'hydrogène pourrait constituer une solution au problème de l'intermittence. Si l'hydrogène est produit durant les pointes de production, le coût de l'électricité serait réduit. Ce point sera examiné de près dans le cadre de notre étude.

M. Marcel Deneux, sénateur, vice-président. Pour compléter ce que vient de dire Jean-Yves Le Déaut, j'ajoute qu'il convient aussi de solliciter le groupe d'étude sur la mobilité de l'Ecole polytechnique. S'agissant des constructeurs automobiles, il me semble que Volkswagen avait écarté la solution du tout électrique au bénéfice de l'hydrogène. De même, le syndicat des voitures écologiques pourrait-il être entendu. Enfin, je tiens à souligner l'hérésie économique et statistique que constitue la prise en compte des échanges intra-européens, notamment avec l'Allemagne, dans notre balance commerciale.

M. Bruno Sido, sénateur, président. J'ai noté que vous nous rendrez votre rapport au mois de juin 2013. Nonobstant les remarques extrêmement pertinentes formulées, je sou mets les conclusions des rapporteurs au vote.

Les conclusions des rapporteurs tendant à la poursuite de l'étude sous l'intitulé « L'hydrogène : vecteur de la transition énergétique ? » ont été approuvées à l'unanimité.

*

– Audition de M. Bruno Revellin-Falcoz, président de l'Académie des technologies

Puis l'OPECST a entendu M. Bruno Revellin-Falcoz, président de l'Académie des technologies, accompagné par MM. Gérard Roucairol, vice-président, Bernard Tardieu, président de la commission énergie et changement climatique, et par Mme Elisabeth Caze, conseillère du président.

M. Bruno Revellin Falcoz, président de l'Académie des technologies. L'Académie regroupe 266 académiciens de diverses disciplines afin d'aborder des problèmes non seulement techniques, mais aussi économiques, sociétaux et environnementaux. Elle a pour mission d'être un intermédiaire entre chercheurs, pouvoirs publics et opinion publique, et d'aider au débat public. Au plan européen, elle participe à l'animation du groupe constitué par vingt autres académies nationales. Ses douze champs d'action coordonnées couvrent l'énergie et le changement climatique, l'environnement, la mobilité et les transports, l'urbanisme et l'habitat, les biotechnologies, les TIC, la santé, la démographie, l'éducation, la formation et l'emploi, les technologies de l'innovation, les technologies pour les pays les moins avancés, et les thèmes « société et technologies » et « éthique ».

Interdisciplinaire, elle suscite des expérimentations comme celles conduites actuellement en Champagne Ardennes dans le domaine de la domo-médecine. Elle constitue et propose une expertise collective. Les sujets qu'elle traite sont divers, qu'il s'agisse, par exemple, de l'effet sur la santé des antennes relais, des supports numériques (l'Académie alerte sur leur durée de vie limitée pour la conservation des données – cinq ans), de la nécessité d'une relance des formations en métallurgie, de l'utilisation rationalisée des nouvelles énergies, du gaz de schiste (l'Académie avait anticipé l'importance de cette nouvelle ressource aux Etats-Unis), ou des villes décarbonées (l'Académie attire l'attention sur les possibilités du chauffage par les eaux usées).

L'Académie, capable de réactivité, souhaite la même réactivité des pouvoirs publics, et s'attache à promouvoir d'autres expérimentations sur le terrain, notamment en matière de mobilité. Elle est à l'initiative de la « charte mobilité multimodale intelligente », plateforme de coopération entre plus de vingt opérateurs de transports et télécommunications. Elle a suscité la création d'une Agence française d'information multimodale et de billettique au sein du ministère des Transports.

Bien représentée dans plusieurs grandes institutions, dont le Conseil scientifique de l'OPECST, l'Académie s'efforce d'être présente là où sa compétence peut être sollicitée via l'un de ses membres pour mettre son utilité publique au service de tous.

Son action n'est pas seulement hexagonale. Elle assure le secrétariat des vingt-et-une Académies des technologies européennes (Euro-CASE) et participe au réseau EMAN (European Mediterranean Academies Network) qui rassemble vingt Académies du pourtour méditerranéen ; elle contribue au renforcement de la coopération franco-allemande et le conseiller personnel pour les technologies de la Chancelière participe aux échanges Acadech ; elle se mobilise au service de la coopération franco-chinoise, notamment en travaillant sur les convergences entre médecines française et chinoise, et sur les technologies utilisées dans les villes nouvelles conçues comme éco-cités, comme celle de Mentougou.

Institution jeune, l'Académie fait progressivement la preuve de son utilité publique. Malgré une activité en forte croissance, elle est aujourd'hui confrontée à une baisse prévisible de son budget.

M. Bruno Sido, sénateur, Président de l'Opecst. Vous avez souligné la dépendance technologique de la France, notre retard est-il avéré ? Quelles sont les solutions envisagées ?

M. Bruno Revellin-Falcoz. Nous analysons la situation des technologies domaine par domaine en France en la comparant avec celle des autres pays. Le potentiel du gisement français pour le numérique est formidable mais sous-utilisé, alors que le numérique est employé partout (habitat, urbanisme, santé, transport) et devrait être encouragé, d'autant plus que la France dispose d'une certaine avance. L'Académie des technologies s'emploie à accroître l'emploi du numérique dans le domaine des transports et celui de la santé, devenu très important en raison de l'utilisation de techniques de séquençage du génome à haut débit qui entraîneront une forte baisse des coûts. Le génome complet pour 100 dollars est envisageable dans un proche avenir. Les applications du développement technologique sont multiples, surtout si l'on décroïssonne. Il est essentiel de favoriser la transversalité.

M. Bernard Tardieu, président de la commission « Energie et changement climatique » de l'Académie des technologies. Dans le secteur de l'énergie, nous avons su mettre en évidence l'avantage en gain de temps qu'il y aurait eu de pousser plus loin la conception du génie civil pour la construction de l'EPR. S'agissant de la concurrence d'utilisation entre les sources d'énergie, il nous est apparu qu'il fallait réfléchir en amont sur le besoin en énergie et non partir de la source elle-même. Le problème est systémique ; mieux vaut analyser la consommation et définir l'énergie nécessaire, cela permet de calculer le besoin en puissance : ainsi, en février, à 19h00, l'énergie photovoltaïque ne peut être que d'un apport limité, mais comme l'énergie nucléaire n'est pas en mesure de s'ajuster rapidement au surcroît de besoins, le recours aux centrales à gaz est nécessaire. Cette analyse à partir des besoins doit primer pour l'avenir, et ce mode de raisonnement s'applique à d'autres technologies.

M. Gérard Roucairol, vice-président de l'Académie des technologies. J'ai été sollicité pour participer au séminaire organisé pour fixer les orientations des investissements d'avenir, ce qui m'a donné l'occasion de faire les observations suivantes : la balance des paiements dans le domaine du numérique et largement déficitaire ; aucun produit (téléphone portable, ordinateur, *etc.*) ne vient d'Europe, tout provient de l'Asie ou des Etats-Unis. Ceci est dramatique pour l'Europe dans un contexte où le numérique constitue une force d'évolution de la société. D'autant que l'on connaît actuellement une période de rupture technologique profonde, car la physique des composants a évolué de manière extrêmement radicale et ne progresse plus de manière linéaire comme durant les dernières décennies. C'est une chance car on peut profiter de cette rupture pour regagner des positions fortes : certaines PME françaises y sont parvenues, grâce à leurs recherches sur les microprocesseurs, et développent des partenariats avec des fondeurs de Taiwan. Or, la France sait mettre en œuvre de grands projets pour prendre l'avantage sur les marchés technologiques ; on pourrait notamment constituer des filières entières sur la base de ces nouvelles techniques, avec des débouchés dans le domaine des transports.

M. Jean-Yves Le Déaut, député, premier vice-président de l'Opecst. Je souhaiterais poser les questions suivantes :

- quel a été le budget de l'Académie à sa création ? Quelles sont ses attentes en matière de budget ?

- s'agissant des ruptures technologiques, quelles sont celles qui sont prévisibles et pour lesquelles il convient de concentrer les efforts pour ne pas accuser de retard ? A-t-on bien anticipé ces ruptures technologiques dans les investissements d'avenir ?

- quel est votre avis sur la recherche duale ? Est-elle bien prise en compte en France ? Bénéficie-t-elle d'un soutien suffisant à l'investissement ? Quels secteurs sont particulièrement concernés ?

- quels sont les freins à l'innovation en France ? Pourquoi, alors même qu'existent de bonnes équipes de recherche et des organismes susceptibles d'apporter des financements, on ne parvient pas à des résultats satisfaisants ?

M. Bruno Revellin-Falcoz. Pour vous répondre sur la question relative aux freins à l'innovation, je prendrai l'exemple de la santé. En ce domaine, la France est le pays dont les dépenses sont les plus élevées par tête d'habitant. Or le professeur Jacques Marescaud m'a déclaré qu'il n'achetait plus aucun matériel médical français, faute de pouvoir en trouver.

M. Bruno Sido, sénateur, président de l'Opecst. Non, ce sont les Etats-Unis qui, d'après les informations dont j'ai pu prendre connaissance, ont les dépenses de santé les plus élevées par tête d'habitant, sans pour autant enregistrer de bons résultats. En outre, dans ma circonscription, il existe des entreprises exportatrices de matériel médical.

M. Jean-Yves Le Déaut. M. Revellin-Falcoz a raison de déclarer qu'il n'existe plus de gros appareils médicaux de marque française. Ainsi à Nancy, les robots qui sont utilisés par les hôpitaux sont américains. Alors que la robotique est un domaine très important, la France en est absente. En revanche, dans d'autres secteurs, il existe du matériel médical français de très bonne qualité.

M. Bruno Revellin-Falcoz. Le budget de l'Académie des technologies a été de 1 171 400 d'euros en 2010, 1 423 841 d'euros en 2011, 1 482 240 d'euros en 2012 et serait, selon le PLF pour 2013, de 1 378 483 d'euros, soit une diminution de 103 757 d'euros.

Elle est en phase ascendante et son activité est en croissance permanente depuis sa création ; ses travaux sont de plus en plus nombreux et portent souvent sur des sujets à forte composante d'acceptabilité sociale (nanotechnologies, biotechnologies, OGM, sources d'énergie etc...). Les pouvoirs publics font appel à elle ; ses membres sont bénévoles ; une réduction de son budget, dont le montant est peu élevé, porterait gravement atteinte à ses « capacités de fonctionnement »

Pour ce qui est de la recherche duale, je suis membre du Conseil scientifique de défense, lequel a largement débattu des questions soulevées par le président Jean-Yves Le Déaut. La recherche duale souffre d'une synergie insuffisante. Ainsi, pour préparer le futur, il n'existe pas de simulation en trois dimensions sur le matériel militaire, à la différence de ce qu'on trouve dans le secteur civil, lequel a su créer un univers virtuel à travers les jeux vidéo. Or, on ne fera des progrès que si la simulation militaire s'approprie les techniques du secteur civil, ce que je ferai valoir dans quelques jours lors d'un entretien avec le ministre de la Défense.

Mon expérience de 40 années chez Dassault et les relations que j'ai nouées avec des interlocuteurs tels que la délégation générale pour l'armement, m'ont convaincu que le décroisement est un facteur clé pour assurer un tel transfert. Celui-ci pourrait permettre aux militaires, en se rapprochant du monde civil, d'accomplir des progrès phénoménaux.

Pour ce qui est des freins à l'innovation, le constat du président Jean-Yves Le Déaut est largement partagé, la question étant posée de savoir pourquoi la France ne parvient pas à tirer parti de sa recherche. Il convient, selon moi, d'améliorer la chaîne de passage de la recherche à l'innovation, et l'état d'esprit des chercheurs. Dans cette perspective, les instituts de recherche technologique (IRT) financés dans le cadre des investissements d'avenir permettent le rapprochement entre les chercheurs et les créateurs de start-up, en vue de transformer les inventions en innovation, celle-ci pouvant être définie comme « l'industrialisation des inventions ».

Les freins à l'innovation résultent d'un état d'esprit. S'il est important d'obtenir des Prix Nobel, il n'en est pas moins important de se préoccuper des applications des découvertes scientifiques.

Il est possible d'accomplir des progrès et de surmonter ces freins, comme le montre l'exemple de l'Institut européen d'innovation et de technologie créé en 2008 par Mme Androula Vassiliou, Commissaire européenne pour l'éducation, la culture, le multilinguisme, le sport et la jeunesse. Cet institut réunit des chercheurs doctorants et des entreprises. Aux premiers, des cours à l'entrepreneuriat sont dispensés en vue de les sensibiliser à l'innovation. Le succès de cet institut a été tel que son budget, qui s'établit à 320 millions d'euros dans le cadre de l'actuel PCRD (programme cadre de recherche et de développement) sera porté à 3 milliards d'euros pour la période 2013-2020.

Le progrès naît de l'intérêt pour la transversalité et de la prise de conscience que l'innovation est un facteur de compétitivité.

Il y a trois ans nous avons mené une enquête pendant un an et demi avec le Conseil d'analyse stratégique et la DATAR sur la créativité et l'innovation dans toutes les régions françaises. La conclusion a révélé que les avancées étaient dues pour 20 % aux acquis scientifiques et technologiques et pour 80 % aux facteurs humains et environnementaux. Cette étude a clairement montré que la qualité de l'environnement et des conditions de vie dans lesquels travaillent les chercheurs étaient un élément clé favorisant l'éclosion de nouvelles activités. On retrouve ces mêmes constatations lorsqu'on se penche sur les causes de l'inégalité du taux de chômage suivant les régions.

M. Gérard Roucairol. Nous avons déjà évoqué les ruptures dans le domaine du numérique et je voudrais maintenant prendre l'exemple du véhicule du futur. A l'ouverture du Mondial de l'automobile, nous avons publié un rapport partant de l'approche : « *Quel véhicule pour dans 30 ans ?* » Avec la croissance de l'urbanisation, le changement du bouquet énergétique, on voit apparaître des ruptures très importantes, notamment avec le développement du véhicule électrique, qui vont remettre en question la fonction même du véhicule ainsi que les technologies employées. Mais c'est aussi la structure verticale actuelle des constructeurs automobile avec ses sous-traitants intégrés qui va devoir être remise en cause et ceci très rapidement. Des bouleversements se produiront comme ceux qu'a connus l'industrie du numérique, qui vont amener à une restructuration nouvelle de l'industrie faisant apparaître des leaders indépendants spécialisés sur les grandes étapes de la chaîne de valeur. Mais revenons au modèle d'innovation ; le modèle de la « Silicon Valley » n'est peut-être pas le meilleur modèle, ni le seul. Le modèle d'innovation de la « Silicon Valley », qui sert de référence mondiale à cause de son succès, repose sur des fondements culturels de la société américaine, en particulier le goût pour l'invention et l'utilisation d'un dispositif nouveau pour une fonction nouvelle, qui correspond mal à l'état d'esprit des ingénieurs français, qui sont plutôt formés pour la recherche de la performance à travers l'invention et la mise au point de (grands) systèmes technologiques nouveaux. A la pure imitation du modèle américain, il conviendrait donc plutôt de substituer en France le modèle de l'innovation « intégrative », qui vise moins la performance au niveau de chaque composant que la constitution de systèmes intégrés combinant les efforts de tout un réseau d'entreprises et recréant des mécanismes de filière. Cette approche repose sur une solidarité non seulement d'efforts entre partenaires, mais aussi une solidarité objective pour accéder au marché et réussir sur ce marché. Ce principe assure une place d'importance aux PME chargées de l'invention de composants spécifiques du système mais dont le caractère innovant constitue un atout pour l'ensemble. C'est un schéma d'innovation de cette nature basée sur l'intégration technologique dans le cadre d'un écosystème qu'il faut rechercher pour notre pays.

M. Jean-Yves Le Déaut. Vous nous avez fait peur en nous disant que les supports numériques n'avaient qu'une durée de vie de cinq ans. Les supports que nous avons mis en place jusqu'ici n'auront-ils servi à rien ? Risque-t-on d'avoir un problème d'accès aux codes sources avec des sociétés qui ne les auront pas donnés, et des difficultés pour récupérer et traduire les informations stockées ? Doit-on encore croire aux systèmes de stockage de données numériques ?

M. Bruno Revellin-Falcoz. Il faut bien distinguer les supports physiques et la capacité de lecture. Nous avons voulu lancer une alerte sur la durée de vie intrinsèque des supports et poser le problème de leur régénération ou de la nécessité de trouver des supports qui dureraient plus longtemps. Pour la capacité de lecture, l'humanité a toujours dû s'adapter, du Collège de France avec ses Lecteurs royaux à ses professeurs d'aujourd'hui. Il faut constamment réapprendre à lire les nouveaux logiciels et nous avons souhaité faire prendre

conscience que nous ne sommes pas protégés à vie. On ne peut pas revenir en arrière et on doit continuer à croire aux stockages numériques actuels, mais nous entendons lancer des alertes, domaine par domaine, thèse par thèse, pour rechercher les solutions.

M. Philippe Nauche, député. Une question plus prosaïque : j'ai noté votre analyse du lien invention/innovation/industrialisation. Quel est selon vous le modèle le plus pertinent pour faire fonctionner ce lien ? Quelle structure pourrait initier et piloter cette démarche, et jouer le rôle d'incubateur ? Au-delà de l'aspect théorique, on a l'impression que ce qui existe sur le terrain manque de performance et qu'il n'y a pas les ressources nécessaires pour mettre en œuvre le modèle et créer un contexte favorable.

M. Bruno Revellin-Falcoz. Les actions au niveau national, de type IRT (instituts de recherche technologique), sont utiles mais pas suffisantes. Mais elles ne peuvent se décliner de la même manière sur le plan local, où les choses sont en fait simples : il faut faire en sorte que ceux qui sont en charge de la recherche aient un contact avec le monde de l'industrie locale. Il faut éviter de tout gérer depuis la capitale, d'entretenir une organisation colbertiste ; les universités et les centres de recherche doivent avoir des échanges avec les industriels locaux, et il y aura des résultats, car dans ces échanges résident des gisements de progrès formidables.

M. Gérard Roucairol. Je citerai l'exemple de l'île de France pour souligner qu'il ne faut pas retirer son rôle de stratégie à l'Etat, même s'il y a des gisements dans les territoires. Ainsi, Teratech, technopole de 15 000 m² qui bénéficie du soutien, notamment, du Conseil général de l'Essonne, on s'appuie sur les compétences du CEA. Cette technopole, unique en Europe pour le calcul de haute performance, attire des acteurs locaux et mondiaux ; c'est un bon exemple d'organisme à visée mondiale.

M. Bernard Tardieu. Le 2 octobre dernier ont été organisées des tables rondes réunissant des industriels et des chercheurs du CNRS. Ce genre de démarche totalement nouvelle pourrait être réalisé avec des groupes de recherche partout en France, la finalité pour la recherche étant de concrétiser ses résultats dans l'industrie. Concernant la verticalité du système industriel français, il faut être conscient que, dans les grands groupes, la compétence technologique se trouve chez les sous-traitants, au niveau 1, 2, 3 voire 4. Il est important que ces derniers puissent se libérer de cette verticalité française pour aller sur le marché international.

M. Bruno Revellin-Falcoz. En conclusion, j'aimerais rappeler que l'Académie des technologies n'a pas la science infuse, elle n'est qu'un relai et procède régulièrement à des auditions. Nous sommes à la disposition de tout organisme public et en particulier de l'OPECST, donc sachez nous utiliser, nous serions heureux de travailler avec vous.

La séance est levée à 19 heures

Membres présents ou excusés

Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Réunion du mercredi 24 octobre 2012 à 17 heures

Députés

Présents. - M. Christian Bataille, M. Laurent Kalinowski, M. Jean-Yves Le Déaut, M. Alain Marty, M. Philippe Nauche, Mme Maud Olivier

Excusés. - M. Claude de Ganay, Mme Françoise Guégot, M. Patrick Hetzel, Mme Corinne Narassiguin, M. Bertrand Pancher

Sénateurs

Présents. - Mme Delphine Bataille, M. Marcel Deneux, M. Gérard Miquel, M. Jean-Marc Pastor, M. Bruno Sido

Excusés. - M. Roland Courteau, Mme Fabienne Keller, Mme Virginie Klès, M. Christian Namy