

Résumé

L'innovation dans le domaine des technologies énergétiques a des répercussions considérables sur les économies des pays de l'OCDE. Nonobstant la faible part du PIB imputable au secteur de l'énergie, la continuité des approvisionnements et la stabilité des prix sont essentiels pour soutenir la croissance, car l'énergie est utilisée dans tous les secteurs des économies modernes. Le vif essor de la demande énergétique, conjugué aux préoccupations grandissantes concernant la sécurité énergétique et l'environnement, amènent toutefois à s'interroger sur la durabilité du système énergétique actuel et appellent une relance des efforts visant à mettre au point et en application des technologies de production d'énergie nouvelles et perfectionnées, susceptibles d'étayer un système énergétique durable.¹ C'est pourquoi il importe toujours plus de savoir comment stimuler l'innovation dans le domaine des technologies de l'énergie.

Ce rapport récapitule les conclusions d'un projet organisé par le Groupe de travail de l'OCDE sur la politique de l'innovation et de la technologie portant sur l'innovation en technologies énergétiques. Il s'inscrit dans le cadre d'une initiative plus vaste dont le but est de comparer les processus d'innovation dans différents secteurs industriels, à la fois pour renseigner les décideurs publics sur la conception des politiques de l'innovation et pour expliciter davantage la démarche qui veut que la notion de système national d'innovation éclaire l'élaboration des politiques. Le rapport privilégie surtout l'innovation concernant la technologie des piles à combustible à hydrogène, qui était le thème des études nationales préparées par des experts de neuf pays : L'Allemagne, le Canada, la Corée, les États-Unis, la France, l'Italie, le Japon, la Norvège et le Royaume-Uni. Il aborde également l'innovation dans les technologies du pétrole et du gaz, en s'inspirant des travaux menés en France, aux États-Unis et en Norvège, qui se prêtent dans une certaine mesure à une analyse comparative.

Innovation dans le domaine des piles à combustible à hydrogène

Les piles à combustible alimentées à l'hydrogène sont une technologie révolutionnaire qui offre la perspective prometteuse de transformer l'économie énergétique mondiale, étant donné leurs potentialités à long terme qui laissent présager des rendements élevés assortis d'émissions quasi nulles de gaz à effet de serre. Vu leurs applications possibles dans les transports, la production d'électricité et les dispositifs nomades, certaines estimations prévoient que le marché des piles à combustible et des produits apparentés représentera 29 milliards d'USD à l'horizon 2011 et pourrait atteindre non moins de 1 700 milliards d'USD à l'horizon 2021. Il s'agit cependant d'une technologie complexe et de multiples problèmes techniques et économiques restent à résoudre, en particulier dans les applications automobiles. De plus, le succès commercial et la diffusion des piles à combustible passe par la mise en place d'une infrastructure appropriée pour la production, la distribution et le stockage du combustible hydrogène, tout comme ils nécessitent que ces piles se révèlent plus efficaces que les technologies existantes ou émergentes (par exemple le moteur à combustion interne, les accumulateurs et les sources

1. Agence internationale de l'énergie (AIE) (2004), *World Energy Outlook 2004*.

d'énergie renouvelables) dans toute une gamme d'applications aux critères de performances et de coût très divers.

De multiples facteurs induisent l'innovation

Certes, l'amélioration de la qualité de l'environnement en général, et les préoccupations liées au changement climatique en particulier, constituent un moteur important du système d'innovation de tous les pays dans le domaine des piles à combustible, mais l'innovation est induite par d'autres facteurs également. Les débouchés économiques des piles à combustible à hydrogène sont un aiguillon puissant pour les pays où le secteur automobile a un grand poids, tels l'Allemagne, les Etats-Unis, la France et le Japon, ainsi que pour ceux qui, comme la Norvège, veulent utiliser plus rationnellement les ressources énergétiques existantes. Quant aux pays dont les ressources énergétiques nationales sont limitées et qui sont fortement tributaires du pétrole importé pour les transports, notamment la Corée, les Etats-Unis et le Japon, la sécurité énergétique est un facteur tout aussi déterminant pour le système d'innovation relatif aux piles à combustible. L'innovation en ce domaine au Canada, en Norvège et au Royaume-Uni, pays largement dotés en ressources énergétiques, et dans les pays qui se trouvent en position intermédiaire, comme la France, est induite par une stratégie d'imitation.

Le secteur public et l'industrie contribuent au financement de la R-D énergétique

Tant le secteur public que l'industrie investissent des sommes considérables dans les activités de R-D sur les piles à combustible. Le dosage entre ces deux sources de financement varie beaucoup d'un pays à l'autre, mais la part assez élevée financée par le secteur public témoigne de l'importance d'une commercialisation réussie du point de vue de l'intérêt général. L'administration des Etats-Unis a annoncé en 2003 qu'elle projetait de consacrer 1.7 milliard d'USD dans les cinq années suivantes à la R-D sur les piles à combustible, et notamment à la production, au stockage et à l'infrastructure de l'hydrogène. Les dépenses publiques du Japon dans la R-D sur les piles à combustible se sont chiffrées à 320 millions d'USD en 2004. Pour sa part, l'Union européenne a fait savoir qu'elle prévoyait de dépenser 2.1 milliards d'USD entre 2003 et 2006 dans des programmes concernant les énergies renouvelables, et principalement les piles à combustible à hydrogène.

Cependant, dès lors que se dessinent mieux les perspectives d'application à l'échelle industrielle des piles à combustible, l'industrie commence à jouer un rôle croissant et investit désormais plus que le secteur public dans la R-D en la matière dans de nombreux pays. Les dépenses annuelles du secteur privé dans les activités de R-D sur l'hydrogène et la pile à combustible sont estimées avoisiner aujourd'hui 1 milliard d'USD au niveau mondial. Les dépenses industrielles de R-D ont atteint un chiffre sans précédent aux Etats-Unis en 2000, à savoir plus de 1 milliard d'USD, mais elles sont ensuite tombées à la moitié environ de ce niveau en 2004. Les sociétés de capital-risque ont peu participé au financement de jeunes pousses en ce domaine car la technologie des piles à combustible nécessite des investissements considérables pour des horizons temporels lointains de commercialisation ; en outre, les politiques publiques et les régimes réglementaires qui s'appliqueront aux piles à combustible ne sont pas encore bien définis, ce qui accroît les incertitudes sur les conditions qui prévaudront à l'avenir sur le marché.

Les systèmes nationaux d'innovation concernant les piles à combustible sont complexes et divers

Le large éventail d'applications différentes des piles à combustible explique la diversité des acteurs des secteurs public et privé qui participent, au sein des systèmes nationaux d'innovation, à des activités de R-D ou à d'autres activités innovantes. Les laboratoires et universités publics sont des intervenants importants dans la création et la diffusion des connaissances. Leurs travaux sont financés (et exécutés) par de nombreux ministères différents, notamment ceux en charge de la recherche, de l'industrie, de l'énergie, de l'environnement et de la défense. L'industrie est très engagée dans l'innovation concernant les piles à combustible à hydrogène. Les entreprises qui y participent sont de grandes sociétés nationales et multinationales, ainsi que des PME. Ces dernières ont tendance à se polariser davantage sur le développement des piles à combustible, tandis que les grandes entreprises, qui opèrent dans plusieurs secteurs industriels — par exemple l'énergie, l'automobile, l'électronique et la chimie —, sont reliées les unes aux autres par des réseaux organisationnels aux rouages complexes qui créent, diffusent et mettent à profit le savoir.

La répartition de l'innovation entre le secteur public et le secteur privé varie considérablement d'un pays à l'autre, en fonction des motivations incitant le secteur public à encourager le développement des piles à combustible et des structures industrielles. En Italie, l'essentiel des activités de recherche se déroule dans le secteur public, bien que l'industrie s'intéresse de plus en plus au sujet. En Corée, les financements publics sont supérieurs aux estimations obtenues pour l'industrie. Ailleurs, et notamment au Canada et au Japon, c'est l'industrie qui détient l'essentiel des savoirs sur les piles à combustibles, et non les établissements de recherche publics, mais la contribution du secteur public augmente. Les financements publics et privés de la R-D sont à peu près identiques en France et d'autres pays dont l'Allemagne, les Etats-Unis et le Japon semblent avoir encouragé tant le secteur public que le secteur privé à s'investir dans les piles à combustible.

Les partenariats public-privé (PPP) sont des mécanismes auxquels tous les pays font largement appel pour stimuler l'innovation et échanger les connaissances dans le domaine des piles à combustible. Dans la plupart des PPP, des chercheurs relevant d'organisations des secteurs public et privé poursuivent des objectifs définis d'un commun accord et les travaux sont fondés sur le partage des coûts. Les partenariats aident les pouvoirs publics à déceler les lacunes et les débouchés de la R-D, ainsi que les obstacles techniques à éliminer, tout comme ils permettent à l'industrie de partager les risques d'investissement associés à une technologie précommerciale. Le réseau français PACo, le programme allemand ZIP (programme d'investissement pour l'avenir), le projet japonais JHFC (Japanese Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project) de démonstration de l'hydrogène et de la pile à combustible ainsi que les initiatives FreedomCAR aux Etats-Unis en sont quelques exemples. Ces partenariats ont estompé la démarcation classique entre la recherche fondamentale, qui était menée par le secteur public, et la R-D appliquée, qui était exécutée par l'industrie.

Bien que la technologie des piles à combustible en soit encore au stade naissant, les activités d'innovation en la matière sont très mondialisées. Les entreprises s'efforcent de démultiplier leurs ressources de R-D en nouant des alliances stratégiques avec des clients, des fournisseurs et des organisations de recherche importants à l'étranger. Ballard Power Systems (dont le siège se trouve au Canada) a mis en place un vaste système international

de R-D, y compris en créant des installations de R-D en Allemagne. Les constructeurs automobiles américains et japonais ont également mis sur pied des réseaux mondiaux très étendus de collaborateurs pour la R-D. Au niveau gouvernemental, plusieurs initiatives ont été lancées pour améliorer la coordination internationale des activités de recherche, de développement et de commercialisation. L'International Partnership for the Hydrogen Economy (IPHE), créé en 2003, fait intervenir plus d'une douzaine de pays qui représentent 85 % du PIB mondial. Ce partenariat a pour objectif de contribuer à la coordination des activités de R-D en cours et d'en accroître l'efficacité afin d'accélérer le développement des piles à combustible à hydrogène. Au niveau européen, la Plate-forme technologique pour l'hydrogène et les piles à combustible a été mise en place en vue d'intégrer les programmes nationaux existants et dispersés de R-D, dans le souci d'en améliorer la coordination et l'efficacité.

La politique de l'innovation dans le domaine des piles à combustible ne se cantonne pas à la R-D

Il faut beaucoup plus que des activités de R-D pour que l'innovation dans le domaine des piles à combustible porte ses fruits. Le développement du marché revêt en effet une extrême importance parce que les piles à combustible sont une technologie révolutionnaire qui rivalise avec plusieurs technologies solidement ancrées dans différents domaines d'application et que les coûts d'un changement de technologie peuvent s'avérer considérables. Les clients risquent d'hésiter à investir dans des piles à combustible tant qu'ils ne seront pas plus pleinement convaincus de leurs potentialités et de leur fiabilité. Comme il arrive pour de nombreux programmes d'innovation dans le domaine de l'énergie, ceux qui concernent les piles à combustible visent par conséquent, le plus souvent, à dépasser le stade de la R-D pour mener des activités de RDD-D – recherche, développement, démonstration et déploiement.

Les pouvoirs publics ont pris un certain nombre de mesures en faveur de la démonstration et du déploiement de technologies, souvent en collaboration avec l'industrie. Certains pays subventionnent la diffusion des piles à combustible par le biais du cofinancement (comme en Norvège) ou offrent des incitations fiscales à cet effet. Certains pays financent également des programmes de démonstration. L'administration des Etats-Unis a investi dans un parc expérimental de 50 véhicules à pile à combustible et dans des stations d'emplissage, tandis que la démonstration d'applications stationnaires et automobiles a été subventionnée en Allemagne, en Corée et au Japon. Aux Etats-Unis, l'Etat de Californie a adopté la voie réglementaire et imposé un quota minimum de véhicules zéro émission. Le BC Hydrogen, le Hydrogen Village et le programme de véhicules à pile à combustible de Vancouver montreront et évalueront l'intégration à travers le Canada de nombreuses technologies de l'hydrogène et des piles à combustible. Dans ces initiatives comme dans d'autres, les gouvernements fédéraux, provinciaux et municipaux, l'industrie et le monde universitaire sont parties prenantes.

L'influence des politiques peut également s'exercer sur d'autres éléments du système d'innovation. Le lancement de programmes régionaux, nationaux et internationaux en faveur des piles à combustible à hydrogène agit comme un catalyseur en faisant participer l'ensemble des multiples acteurs concernés au système d'innovation. Ces programmes peuvent aussi favoriser la naissance d'une vision commune de l'avenir qui serait propre à atténuer les incertitudes au fur et à mesure que les technologies se rapprocheront du stade de la commercialisation et que des investissements complémentaires seront nécessaires (comme pour le stockage et la distribution de l'hydrogène). Il apparaît indispensable

également de former des ressources humaines qualifiées pour la nouvelle industrie des piles à combustible. On estime par ailleurs que les codes et les normes internationaux faciliteront le succès de la commercialisation de la technologie des piles à combustible à hydrogène. Ce sont là autant de questions qui appellent une coopération féconde entre les secteurs public et privé.

Les retombées bénéfiques de l'innovation dans le domaine des piles à combustible se concrétiseront pour la plupart à l'avenir

L'innovation dans le domaine des piles à combustible s'accompagnera certes d'avantages potentiellement considérables pour l'économie, l'environnement et la sécurité nationale, mais ceux-ci se matérialiseront à l'avenir, pour la plupart. Les entreprises de ce secteur sont en expansion dans plusieurs pays et emploient un nombre croissant de salariés, mais aucun des pays participant au projet dont il est question ici n'a encore pu bénéficier des retombées économiques, à l'exception du Canada. A ce jour, la plupart des avantages découlant de l'innovation technologique concernant les piles à combustible ont été des acquisitions de savoir. Le nombre de publications scientifiques sur les piles à combustible a plus que quintuplé entre 1990 et 2000, tandis que le nombre de familles triadiques de brevets (qui regroupent les inventions pour lesquelles des brevets ont été déposés auprès de l'Office européen des brevets et du Japan Patent Office, et délivrés par l'US Patent and Trademark Office) est passé de sept en 1990 à 158 en 2001. La commercialisation à grande échelle des piles à combustible à hydrogène exigera un financement durable la R-D et d'autres travaux menés tant par le secteur public que par le secteur privé.

Innovation en technologies du pétrole, du gaz et d'autres combustibles fossiles

Les ressources en énergies fossiles, dont le pétrole et le gaz, ont été et demeureront la clé de voûte du système énergétique dans les pays industriels. Prises ensemble, elles représentent plus de 60 % des carburants et combustibles fournis pour les transports, la production d'électricité et les procédés industriels. Néanmoins, l'innovation en ce domaine diffère à de nombreux égards de celle qui concerne les piles à combustible à hydrogène. L'innovation dans ces secteurs énergétiques parvenus à maturité et très solidement établis a pris forme sur une longue période, plutôt progressivement que par grands sauts technologiques. En dépit du faible rôle du secteur public dans l'innovation en technologies de l'amont pétrolier et gazier et de l'offshore profond, les dimensions colossales de l'industrie pétrolière font que les politiques publiques peuvent avoir des répercussions considérables dans l'économie tout entière.

Dans ces domaines, ce sont surtout des considérations économiques et, depuis une date plus récente, les préoccupations au sujet de l'environnement qui constituent le moteur de l'innovation. Les marchés pétroliers étant très mondialisés, l'innovation technologique dans l'amont pétrolier et gazier et dans l'offshore profond est très sensible aux prix du pétrole. Dans le cas du programme de l'Advanced Turbine System (ATS) mis en œuvre aux Etats-Unis, l'innovation était moins stimulée par des préoccupations économiques que par les problèmes de sécurité énergétique et de protection de l'environnement, mais les considérations économiques n'ont pas été étrangères à la décision de l'administration de lancer le programme ATS et d'offrir des incitations à l'innovation.

Dans le secteur du pétrole et du gaz, l'industrie est largement à l'origine de l'innovation, le secteur public jouant un rôle moindre à cet égard. Les grandes entreprises, en particulier, ont une fonction prédominante en la matière en Norvège, où les compagnies pétrolières se placent au deuxième rang des sources de financement de la R-D, financement dont une part importante est prise en charge par les deux géants de l'industrie pétrolière (Statoil et Norsk Hydro). En France, le système d'innovation dans les technologies pétrolières et gazières de l'offshore profond présente une structure triangulaire composée de trois catégories d'acteurs : 1) les entreprises de services pétroliers ; 2) les entreprises d'exploitation d'hydrocarbures ; et 3) les institutions d'enseignement supérieur et de recherche. Dans le programme ATS des États-Unis, les principaux partenaires industriels étaient également de grandes entreprises — General Electric Power Systems (GEPS) et Siemens Westinghouse Power Corporation (SWPC) —, mais l'une comme l'autre s'appuyaient sur des réseaux reliés à d'autres entreprises plus petites et, dans une moindre mesure, sur des organismes publics de recherche. Cela étant, les grandes entreprises sous-traitent de plus en plus leurs travaux de R-D et confient à des réseaux d'organisations publiques et privées des aspects décisifs de l'innovation.

Les partenariats public-privé ont une grande influence en ce qu'ils modifient plus profondément les systèmes d'innovation dans les domaines du pétrole, du gaz et des autres énergies fossiles. L'Advanced Turbine System (ATS) était un projet commun mis en œuvre par le ministère de l'énergie des États-Unis dans le cadre d'un partenariat public-privé à coûts partagés qui a abouti à la commercialisation réussie de la technologie. Le financement total du projet ATS se montait à 888 millions d'USD, dont 456 millions d'USD (51 %) étaient fournis par le ministère et 432 millions d'USD (49%) par l'industrie. Le programme ATS a permis le dépôt de 55 brevets, dont 23 par GE, 28 par SWPC, deux par le ministère de l'énergie et deux par des universités. Quant à l'expérience française, il en ressort que les partenariats public-privé ont favorisé l'innovation dans les technologies pétrolières et gazières de l'offshore profond.

La mise en application des innovations dans les domaines du pétrole, du gaz et des autres combustibles fossiles a eu des effets bénéfiques pour l'économie et l'environnement. Selon une évaluation du programme ATS, par exemple, les dépenses de R-D du ministère de l'énergie, qui s'élevaient à 325 millions d'USD, ont entraîné des avantages économiques se chiffrant éventuellement à 5.7 milliards d'USD et des avantages pour l'environnement en termes de réduction des émissions de NO_x et de CO₂. En raison des faibles ventes de turbines, le programme a eu peu de retombées bénéfiques sur le plan de la sécurité énergétique, mais on lui doit beaucoup en termes de latitude de choix et d'acquisition de connaissances.