

Du fonds démonstrateur aux investissements d'avenir : promouvoir une offre française dans le domaine des technologies vertes

La croissance verte est-elle une croissance durable ?

L'expression « croissance verte » repose, le plus souvent, sur l'idée que les nouvelles technologies et les nouveaux services de l'environnement vont générer une nouvelle croissance et créer de nouveaux emplois, qui viendront se substituer à ceux des secteurs en déclin. Partant, les nouvelles technologies « vertes » sont perçues à l'instar d'autres technologies innovantes, comme les TIC ou les biotechnologies, c'est-à-dire certes avec un potentiel d'activités nouvelles, mais aussi de risques de bulles et de cycles.

par François MOISAN*

Pourtant il y a une différence substantielle entre les technologies qui émergent du progrès technique « spontané » et les technologies vertes : les innovations vertes répondent à des enjeux sociétaux qui se traduisent par des objectifs politiques de long terme et des mesures de politiques publiques. On peut arguer d'une attractivité des technologies vertes pour les consommateurs et leurs utilisateurs, mais le fondement même de la dynamique de la croissance verte reste lié à des objectifs de politiques publiques : les perspectives de réglementations nationales, les directives européennes, les négociations internationales sont autant de facteurs qui justifient d'anticiper et d'innover afin de répondre aux défis environnementaux.

Toutes les innovations visant une économie à faible teneur en carbone misent sur des décisions des Etats, qui donneront, à terme, une valeur au carbone, cela, malgré les incertitudes pesant sur les progrès réalisés par les négociations sur le climat.

Une autre caractéristique de ces enjeux est le fait qu'ils relèvent, le plus souvent, du moyen ou du long terme (2050 étant l'horizon politique actuel de la lutte contre le changement climatique), ce qui permet d'inscrire la croissance verte dans une dynamique transcendant les cycles conjoncturels.

Mais ces caractéristiques de la croissance « verte » ne signifient pas, néanmoins, que toutes les innovations se concrétiseront, que les politiques publiques ne subiront pas des contrecoups ou des reculs ou que des objectifs publics ne seront pas remis en cause... : simplement, elles créent un contexte normatif qui est différent de celui des innovations portées par le seul « progrès technique ».

C'est ainsi que le défi du changement climatique ouvre un vaste champ pour l'exploration de nouvelles technologies et suscite une forte motivation pour innover.

Les vives discussions actuelles autour des incertitudes (ou des failles) de l'expertise scientifique sur l'évolution du climat ne remettent pas en cause la vision de plus en plus partagée selon laquelle nous devons adapter nos sociétés et nos économies à un monde beaucoup moins carboné à l'horizon 2050. Les engagements de nombreux gouvernements sur le « facteur 4 » (consistant à diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre dans les pays développés, d'ici à 2050) rencontrent globalement l'adhésion des entreprises du fait qu'ils procurent un minimum de « clarté » à un avenir très incertain. Tous s'accordent sur un diagnostic : cet objectif est très ambitieux et ne peut être atteint sans une modification profonde à la fois de nos modes de vie et de notre « système technique » ; il nécessite l'émergence de technologies de rupture et de nouvelles organisations de la production et de la consommation.

Ce sont les enjeux environnementaux qui dictent les échéances des innovations

Un tel objectif, à un horizon aussi lointain que 2050, se traduit par une contrainte très forte sur le rythme des innovations : si les différentes options d'une société faiblement émettrice en carbone doivent avoir été déployées en 2050, celles-ci devront avoir émergé sur les marchés autour des décennies 2020 et 2030. En effet, les délais de remplacement des parcs d'équipements sont généralement de l'ordre de plusieurs décennies, pour les véhicules ou pour les équi-



pements domestiques, voire bien plus encore, pour les grandes installations industrielles ou pour les bâtiments.

Les différentes options qui nous permettront de relever ce défi existent d'ores déjà dans les laboratoires et il est nécessaire d'en accélérer l'expérimentation, même si la maturité des marchés est à un horizon se situant entre 10 et 15 ans. Nous disposons de nombreuses options qui sont susceptibles de contribuer aux objectifs de réduction des émissions, qu'il s'agisse d'options technologiques (de recours aux énergies renouvelables et d'amélioration de l'efficacité énergétique) ou d'options organisationnelles visant à inventer de nouvelles formes de mobilité urbaine, de nouvelles formes d'habitat, mais dont la faisabilité scientifique, technique ou sociétale n'est pas totalement acquise (pour nombre d'entre elles, on en est encore à un stade encore éloigné de l'innovation, étant donné qu'elles n'ont pas encore été mises à l'épreuve par leurs utilisateurs potentiels).

Cette situation a conduit, lors du Grenelle de l'Environnement, à identifier la nécessité d'accélérer le processus d'innovation en promouvant des « démonstrateurs de recherche », qui ont pour objectif d'expérimenter, dans des conditions réelles d'utilisation, des technologies (ou des organisations) encore au stade de la R&D afin d'en évaluer la faisabilité, très en amont de l'ouverture de marchés.

Des feuilles de route pour fixer les priorités des démonstrateurs de recherche

Pour tous les acteurs de l'innovation, l'anticipation des ruptures technologiques est un exercice risqué ; c'est bien évidemment le cas en ce qui concerne les technologies vertes.

De nombreuses options peuvent concourir, mais toutes ne seront pas au rendez-vous, et il n'y a pas de méthode infallible qui permettrait de sélectionner celles qui seront des réussites techniques et trouveront un marché en entraînant l'adhésion des citoyens consommateurs. Dans le contexte des technologies vertes, le rôle des pouvoirs publics en tant que « prescripteurs » non pas des solutions techniques en elles-mêmes, mais de leur impact sur les enjeux de l'environnement, est un élément clé de la nécessaire concertation entre les gouvernements et les acteurs de l'innovation.

Dans la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement, l'Ademe a ainsi été chargée d'élaborer des feuilles de route pour les différentes options de réponse au changement climatique, l'objectif étant de partager les visions que peuvent avoir les différentes parties prenantes au possible déploiement de ces options technologiques et organisationnelles, dans un avenir éloigné.

Contrairement à une démarche consistant en une pure projection des potentialités scientifiques et technologiques, l'exercice est normatif, dès lors qu'il présuppose que les diverses options portées par les acteurs de la recherche et du développement (entreprises, laboratoires, économistes et utilisateurs) contribueront à l'atteinte des objectifs environnementaux.

La question posée aux experts participants à l'élaboration de la feuille de route est celle-ci : « Si l'option que vous portez se déploie de façon généralisée à un horizon lointain (2050), quelle vision peut-on partager, de la société et de son économie, compte tenu de ce déploiement ? ».

Concrètement, il peut s'agir d'élaborer une vision dans laquelle l'énergie photovoltaïque aura conquis de nombreux marchés et équipera une grande proportions des bâtiments, qui seront ainsi « à énergie positive » (1) et dans laquelle cette énergie contribuera ainsi de façon significative à répondre aux enjeux énergétiques et environnementaux, il peut s'agir aussi d'une vision de la mobilité urbaine qui soit durable à long terme, dans laquelle non seulement les technologies et la répartition des différents modes de transport, mais aussi les services de mobilité permettront de réduire fortement l'empreinte écologique de nos déplacements urbains. A partir de ces visions positives (qui se veulent cohérentes mais qui n'en sont pas pour autant probables), l'élaboration de la feuille de route repose sur une démarche de *back casting*, consistant à identifier les verrous faisant obstacle au déploiement de ces options, les barrières à lever et les trajectoires possibles pour y parvenir.

La mise en œuvre de démonstrateurs de recherche est une étape essentielle de la validation des différentes ruptures technologiques et organisationnelles : en expérimentant en vraie grandeur et dans des conditions réelles de fonctionnement les options les plus prometteuses, on doit résoudre des problèmes techniques qui ne peuvent l'être aux seuls niveaux de la maquette de laboratoire ou de la simulation sur ordinateur. C'est également le moyen d'identifier et de valider les « plans d'affaire » de nouvelles activités (celles-ci seront-elles à même de créer de la valeur ?). C'est aussi le moyen de valider leur acceptabilité sociale et sociétale pour peu que lesdits démonstrateurs relèvent d'expérimentation impliquant le public. Enfin, en cas de succès, ce sont des vitrines du savoir-faire des porteurs de ces options. Ces démonstrateurs ne constituent certes pas la phase ultime du développement des technologies avant leur industrialisation, mais bien une étape du processus de recherche en lui-même puisque leur expérimentation conduira à identifier de nouvelles pistes de recherche.

Deux ans de mise en œuvre des démonstrateurs

Un fonds de soutien public à la réalisation de démonstrateurs ciblés sur les nouvelles technologies de l'énergie a donc été mis en place en 2008. Cet espace de recherche recouvre les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique dans les différents secteurs de consommation de l'énergie, ainsi que les technologies de réduction des émissions de CO₂ telles que le captage et le stockage (CSC).

Les premiers domaines ayant fait l'objet de feuilles de route et d'appels à manifestation d'intérêt adressés aux industriels pour la réalisation de démonstrateurs de recherche ont été les véhicules à faibles émissions de CO₂ (hybrides ou électriques), les biocarburants de seconde génération et les technologies du CSC. Ces deux dernières



Figure 1 : Captage et stockage du CO₂ et biocarburants de seconde génération.

filiales technologiques constituent des options dont la faisabilité technique et économique n'est pas encore prouvée et dont les marchés potentiels sont, en tout état de cause, à moyen ou long terme (au-delà de 2020).

Les biocarburants de seconde génération [1] pourraient lever un certain nombre des handicaps qui affectent ceux de première génération (du fait de leur moindre concurrence avec les cultures alimentaires par une valorisation de la partie lignocellulosique des plantes et d'un meilleur bilan environnemental global). Mais la performance technico-économique de leurs technologies de production, la dimension des usines de transformation de la biomasse en regard de la ressource disponible dans un périmètre accessible doivent encore établir leur faisabilité industrielle ; le passage par des démonstrateurs de dimension industrielle reste nécessaire.

Le captage et le stockage du CO₂ [2] au sein des unités industrielles ou dans les centrales électriques fonctionnant aux combustibles fossiles pourraient s'avérer une option transitoire crédible pour diminuer les émissions de CO₂ dans l'atmosphère, notamment dans les pays dont le bouquet énergétique est constitué par le charbon pour une large part (la Chine, l'Inde, l'Afrique du Sud, mais aussi la Pologne ou l'Allemagne).

La France dispose d'un savoir-faire important tant au niveau des laboratoires publics que des entreprises, des équipementiers ou des énergéticiens. L'option du stockage géologique sous aquifère salin a été privilégiée en raison des possibilités importantes de déployer cette technique au niveau mondial. Deux démonstrateurs de captage et un projet de stockage ont été sélectionnés afin d'évaluer le potentiel que représente notamment le bassin parisien, ainsi qu'un projet intégré de captage + stockage pour un haut-fourneau sidérurgique (c'est le seul projet, au niveau mondial, qui soit appliqué dans cette filière, tous les autres concernant des centrales électriques) (voir la figure 1).

Les véhicules à faibles émissions de CO₂ constituent eux aussi un fort enjeu environnemental et industriel. La feuille de route élaborée préalablement aux appels à manifestation d'intérêt [3] avait identifié l'option d'un petit véhicule urbain léger et facilement électrifiable, car ne nécessitant pas une large autonomie. Deux appels à manifestation d'in-

térêt ont ainsi été ouverts, l'un en 2008 et l'autre en 2009, qui ont rencontré un large succès. Vingt-trois projets de démonstrateurs ont été sélectionnés, représentant près de 300 millions d'euros de budget de R&D. Ces projets ont concerné non seulement les véhicules légers, mais aussi les véhicules utilitaires (assurant les livraisons, en ville), les autobus et les poids lourds, ainsi que les tricycles ou les quadricycles à moteur (les TQM). Les équipementiers français de l'automobile ont ainsi pu expérimenter des technologies de rupture, en amont d'une éventuelle phase d'industrialisation, comme par exemple l'hybridation croissante des motorisations, depuis le « Stop & Start » équipant des véhicules d'ores et déjà commercialisés, jusqu'à des puissances électriques beaucoup plus importantes, ou encore comme le développement de « moteurs roues » électriques intégrant dans la roue non seulement le moteur de traction, mais aussi la suspension, la direction et un système de freinage sans pincement permettant de récupérer de l'énergie électrique) pouvant s'appliquer aussi bien à des véhicules légers qu'à des autobus. Plusieurs concepts de TQM ont également été sélectionnés, ainsi que des expérimentations de flottes de véhicules hybrides sur un territoire disposant de bornes de recharge en électricité (voir la figure 2).

Il est sans doute encore trop tôt pour pouvoir dresser un bilan technique de tous les projets engagés depuis 2008, certains d'entre eux nécessitant une expérimentation s'étendant sur une durée de l'ordre de cinq ans. Selon les industriels bénéficiaires de ces aides publiques, un des acquis déjà observés est le fait d'avoir dans bien des cas « appris à travailler ensemble ». Chaque projet est en effet porté par un consortium industriel et de recherche associant plusieurs entreprises et des laboratoires publics. Au-delà de l'objet technique soumis à expérimentation, on voit bien que la construction du projet lui-même et que la participation à la feuille de route mettent à l'épreuve les stratégies industrielles sous-jacentes.

En 2009, d'autres feuilles de route ont été réalisées et de nouveaux appels à manifestation d'intérêt ont été lancés par l'Ademe :

✓ dans le domaine des énergies marines [4], où la France dispose d'un gisement potentiel très important et des industriels impliqués dans différentes options, comme

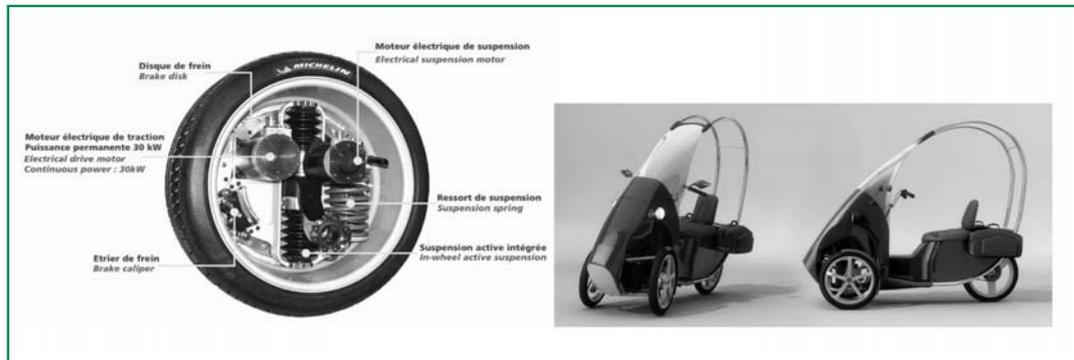


Figure 2 : Moteur roue Michelin et Tricycle urbain électrique.

les hydroliennes, l'éolien flottant, l'énergie de la houle et l'énergie thermique des mers (voir la figure 3),

- ✓ dans le domaine des réseaux électriques intelligents [5], qui devront intégrer une part croissante de production d'énergies renouvelables décentralisées et intermittentes.

La feuille de route a ainsi identifié les fonctionnalités auxquelles devront répondre les projets de démonstrateurs, à savoir :

- ✓ faciliter l'insertion massive dans le réseau de la production distribuée, notamment à partir de ressources renouvelables,
- ✓ permettre des actions significatives de gestion de la demande et de la production intermittente, y compris avec des moyens de stockage, afin de limiter le recours à des moyens de production fortement émetteurs de CO₂, de garantir l'équilibre entre l'offre et la demande, en cas d'indisponibilité des ressources intermittentes,
- ✓ anticiper l'évolution de l'environnement des réseaux, à savoir le déploiement des compteurs intelligents, l'émergence des bâtiments à énergie positive, les véhicules électriques et/ou hybrides rechargeables, etc.,
- ✓ expérimenter de nouveaux modèles d'affaires favorables à la structuration des acteurs des systèmes électriques intelligents (comme, par exemple, des agrégateurs permettant d'écrêter les pics de la demande d'électricité),

tout en veillant à ce que soient pris en compte les aspects environnementaux et sociaux (voir la figure 4).

Au-delà du fonds démonstrateur de recherche, les investissements d'avenir

La Commission du grand emprunt présidée par MM. Juppé et Rocard en 2009 a fait explicitement référence aux démonstrateurs de recherche, dont elle a présenté la création comme une action devant se poursuivre et s'amplifier : « Il convient d'expérimenter de nouvelles technologies dans les énergies décarbonées (captage-stockage de CO₂, stockage de l'énergie, énergie solaire, biocarburants de troisième génération, mais aussi énergies marines et géothermie en outremer, efficacité énergétique des bâtiments...) et l'économie du recyclage, en développant des démonstrateurs et des plateformes coopératives d'expérimentation ». Parallèlement à cette action sur les démonstrateurs et plateformes technologiques, le grand emprunt vise également à renforcer le potentiel de recherche et notamment à créer des instituts de recherche d'une excellence de niveau mondial, travaillant sur les énergies décarbonées.

A la suite du rapport de cette commission, plusieurs programmes « d'investissements d'avenir » ont été identifiés et confiés par le Commissariat Général aux Investissements à des opérateurs. L'Ademe a été chargée de la mise en œuvre

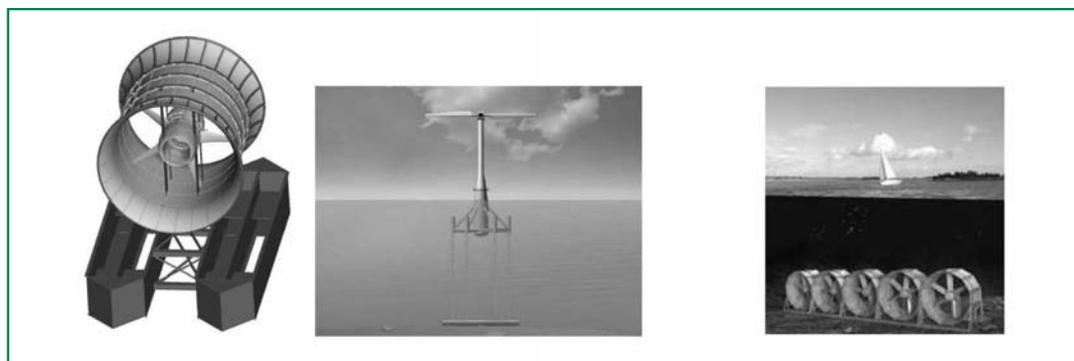


Figure 3 : Energies marines (hydroliennes, éolien flottant).

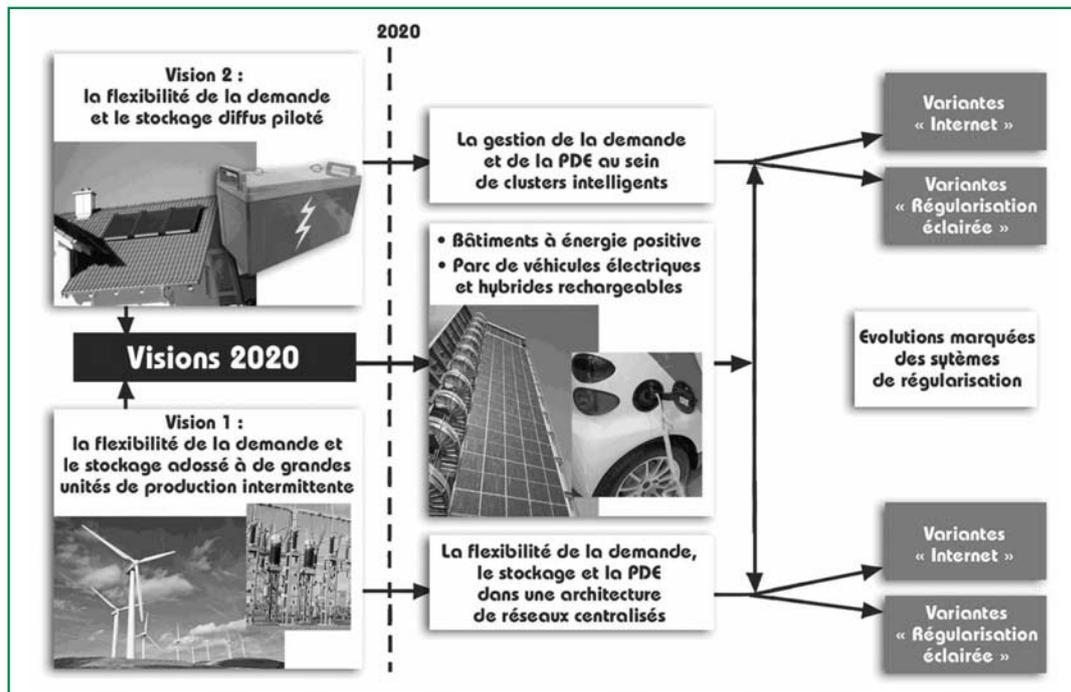


Figure 4 : Les visions partagées des réseaux électriques à long terme (Feuille de route Réseaux électriques du futur).

de quatre programmes visant à poursuivre et amplifier le soutien aux initiatives en matière de développement de nouvelles technologies « vertes » déjà engagées dans le cadre du fonds démonstrateur de recherche : un programme sur les énergies décarbonées (qui recouvre non seulement l'ensemble des énergies renouvelables, mais aussi les bâtiments intelligents, le captage et stockage du CO₂, un programme sur les véhicules du futur (routier, maritime et ferroviaire), un programme sur les réseaux électriques intelligents et un programme sur l'économie circulaire (tri, recyclage et valorisation des déchets, dépollution des sols, éco-conception des produits).

Le total des crédits publics consacrés à ces quatre programmes s'élève à 2,85 milliards d'euros sur une période d'engagement de cinq ans. Par ailleurs, le programme consacré à la création d'un institut d'excellence sur les énergies décarbonées, doté d'un milliard d'euros, est géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) (voir la figure 5).

Ainsi, les investissements d'avenir ont pour finalité de poursuivre et d'amplifier l'action du fonds démonstrateur de recherche en en démultipliant les moyens et en élargissant son domaine d'intervention aux technologies de l'environnement, en dehors des technologies de l'énergie (économie circulaire). Leur finalité est également d'aller plus en aval, en soutenant des expérimentations plus proches de l'industrialisation et du marché, l'objectif étant alors de créer des actifs industriels assurant un retour financier direct vers l'Etat, sous la forme d'avances remboursables ou de prises de participation au capital de sociétés en croissance rapide.

La largeur du spectre des soutiens publics dans le champ des technologies vertes doit permettre d'accélérer l'innovation en cohérence avec les enjeux environnementaux de long terme : ainsi, la réduction des émissions de CO₂ par un facteur de l'ordre de 4 à long terme va induire des ruptures technologiques importantes par rapport aux tendances des marchés actuels (par exemple, dans le domaine de l'automobile, ou dans celui de l'énergie). L'approche stratégique consistant à réaliser des feuilles de route par domaine afin de cibler les priorités et de partager les inflexions ou ruptures attendues avec les industriels a été confirmée pour ce qui concerne les investissements d'avenir. Elle devrait permettre de mettre en cohérence les stratégies industrielles et commerciales de court terme avec le plus long terme, de sortir progressivement du *lock in* (2) technologique dans certains domaines et d'éviter certaines impasses technologiques eu égard aux enjeux environnementaux. Ainsi, la question n'est pas celle de savoir si nous faut de nouvelles technologies en rupture avec l'automobile à motorisation thermique conçue pour rouler sur autoroute, pour parvenir à une mobilité urbaine durable, mais bien celle de savoir qui fabriquera les véhicules de demain qui seront adaptés à la circulation en ville. Elle n'est pas non plus de savoir si les énergies renouvelables décentralisées auront leur place dans le bouquet énergétique en 2030 ou en 2050, mais bien de savoir si nous devons importer ces technologies ou si celles-ci créeront des emplois sur le territoire national.

L'enjeu des investissements d'avenir est l'adaptation de l'outil industriel national aux impératifs environnementaux de demain. Face aux incertitudes, il ne saurait s'agir de

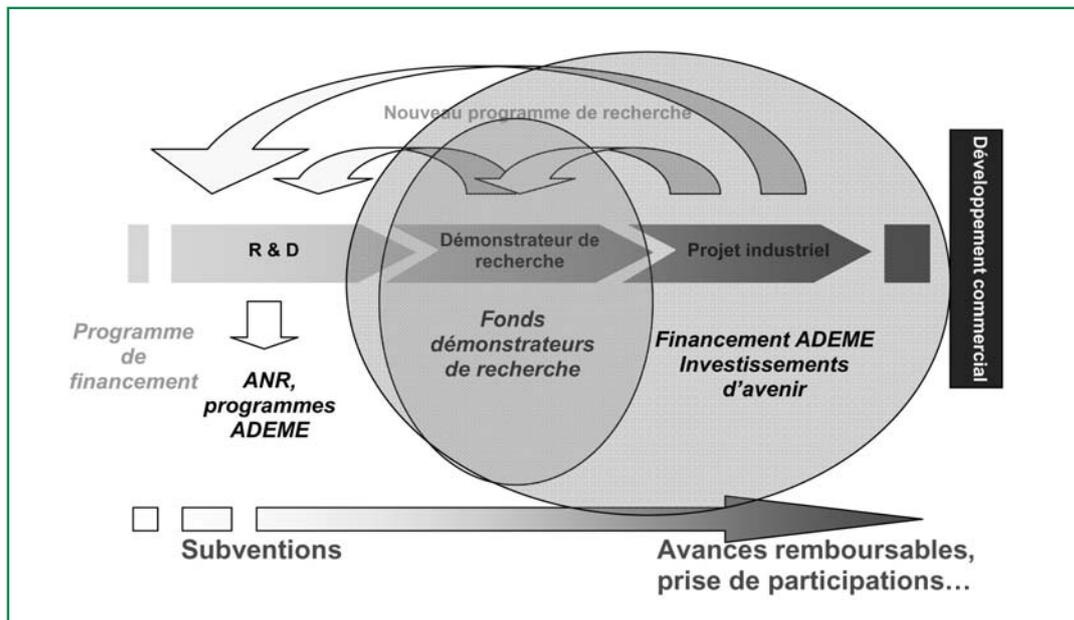


Figure 5 : Les interventions publiques dans le processus de R&D des technologies vertes.

miser sur une unique option technologique qui serait le fleuron du savoir-faire français, mais bien d'explorer toutes les pistes sur lesquelles les entreprises françaises sont susceptibles d'être significativement présentes dans les marchés internationaux, même si les enjeux économiques concernent surtout l'exportation (c'est le cas de la filière captage et stockage du CO₂ ou encore de celle du solaire thermodynamique à concentration). Un certain nombre de domaines techniques ont ainsi été identifiés afin de cibler les interventions de l'Etat incitant à des investissements d'avenir dans les technologies vertes, dont les trois domaines ci-après.

Dans le domaine de la ville durable :

- ✓ Les bâtiments à énergie positive [6], qui seront la norme pour les nouvelles constructions à partir de 2020 et qui sous-tendent des emplois non délocalisables. Ces bâtiments créeront un vaste marché pour le photovoltaïque [7] intégré au bâti, un ensemble de technologies pour lesquelles les industriels français peuvent prétendre à une place au niveau mondial, tant sur le plan des technologies de moyen et long terme que de l'intégration des modules au bâti ;
- ✓ Les réseaux électriques intelligents, qui vont créer de nouvelles activités liées aux services d'efficacité énergétique dans les logements et dans le tertiaire, ainsi qu'aux stockages de l'énergie à différentes échelles et à différents maillons des réseaux (adossés aux centrales électriques ou chez l'utilisateur). Ils devront également résoudre les défis du déploiement massif des véhicules électriques et hybrides rechargeables, afin de limiter le recours à une électricité de pointe carbonée ;

- ✓ Les technologies des véhicules routiers, des véhicules légers spécifiquement urbains et des véhicules utilitaires légers ou des poids-lourds. Ce domaine est particulièrement stratégique en raison du poids de la construction automobile dans l'économie nationale et des ruptures à réaliser en termes de modèle industriel. Les différentes options de la mobilité urbaine de demain [8] méritent également d'être expérimentées afin de mieux en cerner les faisabilités technique, économique et sociétale (interopérabilité des modes de transports et des services de mobilité).

Dans le domaine de la production durable :

- ✓ Les énergies renouvelables marines, en raison du savoir-faire des équipementiers français et de l'important gisement lié à notre façade maritime métropolitaine, mais aussi dans les communautés d'outre-mer.
- ✓ La filière solaire thermodynamique [9], en raison de l'enjeu à l'exportation dans les pays méditerranéens et africains ;
- ✓ La filière du captage, du stockage et de la valorisation du CO₂ compte tenu du savoir-faire national, non seulement pour l'export, mais aussi pour le maintien sur le territoire national d'industries actuellement encore fortement émettrices de CO₂ ;
- ✓ La production de biocarburants avancés à partir de bois, de déchets ou de cultures d'algues.

Dans le domaine de la consommation durable :

- ✓ Les technologies de collecte, de tri et de recyclage des déchets, domaine dans lequel la France dispose de



Figure 6 : Bâtiments à énergie positive et mobilité durable.

grands opérateurs constituent des champs d'innovation encore peu explorés.

- ✓ Les différentes options d'éco-conception des produits de consommation courante.

A l'intérieur de ces différents domaines, d'autres options méritent également d'être explorées, comme la géothermie profonde, le grand éolien ou les piles à combustible, ou encore les technologies ferroviaires et maritimes, qui constituent des alternatives à la route et au transport aérien fortement émetteurs de CO₂ et pour lesquelles il existe une offre française très performante.

Ces différentes options technologiques et organisationnelles peuvent, chacune, contribuer aux enjeux de la transformation de notre croissance et de son modèle technique.

Le rôle de l'Ademe, en tant qu'opérateur de ces programmes d'investissements d'avenir, consiste à accélérer le développement, tout en s'assurant que les entreprises partagent ces visions et les risques inhérents au processus de R&D, et tout en soutenant des expérimentations, en amont des marchés.

Notes

* Directeur scientifique, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe).

(1) Un bâtiment à énergie positive est un bâtiment générateur d'énergies renouvelables dont les consommations d'énergie sont suffisamment faibles pour que leur bilan énergétique net soit positif.

(2) Le *lock in* technologique est le phénomène faisant qu'une technologie déjà déployée dans un secteur peut contribuer à y bloquer les innovations.

Bibliographie

(les diverses feuilles de route sont disponibles sur le site www.ademe.fr) :

[1] : Ademe, feuille de route « Biocarburants de seconde génération », 2008.

[2] : Ademe, feuille de route « Captage et stockage du CO₂ », 2008.

[3] : Ademe, feuille de route « Véhicules à faible émissions de CO₂ », 2008.

[4] : Ademe, feuille de route « Energies marines », 2009.

[5] : Ademe, feuille de route « Réseaux électriques intelligents », 2009.

[6] : Ademe, feuille de route « Bâtiments et îlots à énergie positive et à faible contenu carbone », 2010.

[7] : Ademe, feuille de route « Solaire photovoltaïque », 2010.

[8] : Ademe, feuille de route « Mobilité urbaine durable », 2010.

[9] : Ademe, feuille de route « Solaire thermodynamique », 2010.

