



Paris, le 28 août 2012

Présentation du rapport

« Des technologies compétitives au service du développement durable »

Mardi 28 août 2012

Intervention de Vincent Chriqui,
Directeur général du Centre d'analyse stratégique

Seul le prononcé fait foi

Nous savons que **pour diviser par quatre nos émissions de gaz à effet de serre**, nous devons utiliser tous les leviers à notre disposition : **nous devons donc modifier nos comportements et adopter de nouvelles technologies issues du progrès technique**. Dans ce cadre, le Centre d'analyse stratégique a souhaité porter le projecteur sur la dimension technologique en confiant une **mission à Jean Bergougnoux**, ancien directeur général d'Électricité de France et ancien président de la SNCF. Celle-ci avait pour but de **déterminer les principales technologies, qui dans le domaine du développement durable, et plus spécifiquement de la lutte contre le changement climatique, permettront à notre économie d'être compétitive sur la scène internationale et qui pourraient participer à la relance de notre économie**.

La mission confiée à Jean Bergougnoux a ainsi cherché à identifier ces technologies dans les **trois domaines de l'énergie, du transport et du résidentiel tertiaire** qui couvrent (hors secteurs industriel et agricole) l'essentiel de nos émissions de gaz à effet de serre et à en déduire un certain nombre de recommandations pour les politiques publiques.

Très vite, **trois constats principaux sont apparus** :

- **il est très difficile, voire impossible, d'identifier à coup sûr les technologies qui vont nous permettre de réduire substantiellement nos émissions de gaz à effet de serre** : il est certain que si demain nous inventons une batterie dont le coût sera de quelques dizaines d'euros par kilowatt heure (contre quelques centaines actuellement), les véhicules électriques représenteront 90 % des ventes de voitures à l'horizon 2020 et non l'inverse. De même, l'invention de moyens peu coûteux de stockage de l'énergie électrique bouleversera notre conception du réseau. Mais dans les deux cas, que ce soit celui de la batterie électrique peu coûteuse ou du stockage de l'électricité, nul ne sait si de telles découvertes interviendront dans le courant de l'année prochaine ou dans plus d'un siècle ;

- dans ces conditions, plutôt que d'identifier les technologies miracles de demain, **la mission a cherché à examiner le stade actuel de maturité d'un certain nombre de technologies ainsi que les conditions de leur développement ; une trentaine de technologies ont ainsi été étudiées.** Les hiérarchiser et n'en retenir qu'une petite sélection n'aurait pas véritablement eu de sens dans la mesure où la place qu'elles occuperont dans le futur dépend bien souvent des sauts technologiques qui pourront ou non intervenir dans les prochaines années mais également des moyens (et il ne s'agit pas uniquement de moyens financiers) que l'on se donnera pour y parvenir : rien n'est écrit d'avance ;

- troisième réflexion essentielle : **les financements publics sont de plus en plus rares.** Ainsi n'est-il plus envisageable aujourd'hui de soutenir, par des aides pérennes, le déploiement massif d'une technologie non compétitive. **Nous arrivons dès lors à la première recommandation (simple et de bon sens) : l'investissement public, lorsqu'il est nécessaire, doit être adapté au stade actuel de développement de la technologie** : efforts de R&D dans les domaines qui requièrent une rupture technologique, réalisation de démonstrateurs lorsque la faisabilité technique et économique reste à démontrer, et soutien à un déploiement massif seulement lorsqu'une technologie est mature et compétitive. N'oublions pas qu'aujourd'hui en Allemagne l'équivalent de la CSPE pour les énergies renouvelables représente environ 10 milliards d'euros. Dans ce dernier cas, au-delà de leurs effets keynésiens, **les investissements réalisés n'auront d'effet positif durable sur notre économie que dans la mesure où ils auront permis la mise en place sur le territoire d'une filière industrielle compétitive et exportatrice.**

Je vais maintenant revenir brièvement sur les trois secteurs examinés par la mission : l'électricité, le transport et le résidentiel tertiaire. Jean Bergougnoux présentera plus en détail ces différents sujets.

Dans le secteur de la production d'électricité, les technologies foisonnent sans qu'il soit possible aujourd'hui de dire laquelle finira par s'imposer : rien que pour les énergies marines, plus de 250 technologies sont en cours de développement ! C'est bien évidemment une bonne nouvelle : les énergies renouvelables portent la promesse de sources énergétiques inépuisables : le vent, le soleil, les cours d'eau, la mer, la biomasse, la chaleur du sous-sol. Elles permettent de plus de réduire nos émissions de gaz à effet de serre. **Leur développement actuel se heurte cependant à deux obstacles principaux** :

- **leur coût** : le prix des énergies est une donnée d'entrée importante de l'économie, qui joue à la fois sur le pouvoir d'achat des ménages et la compétitivité des entreprises ;

- **leur intermittence** : en l'absence de solution bon marché de stockage de l'électricité, les énergies renouvelables nécessitent des moyens de *back up* importants qui en renchérissent le coût pour la collectivité.

Sous réserve de bénéficier d'un régime de vent favorable, **l'éolien terrestre est aujourd'hui, une technologie mature et compétitive sur le sol français** puisqu'elle affiche des prix de revient de l'électricité produite comparables aux prix actuels du marché européen. **Malheureusement**, même si le leader mondial pour la conception et l'installation d'éoliennes rabattables est français, **il n'y a aucun constructeur français de turbines éoliennes parmi les 10 premières entreprises mondiales** (qui détiennent 80 % du marché mondial).

L'éolien *off shore* est encore une filière expérimentale très coûteuse : des progrès importants en termes de coûts de fabrication, d'installation, de maintenance et de raccordement doivent donc être accomplis. À terme, cette technologie peut bénéficier de deux avantages pour notre économie : les vents sont plus puissants et plus réguliers et offrent par conséquent une plus longue durée de fonctionnement ; de plus, l'éolien *offshore* représente un saut technologique dans lequel **des entreprises françaises pourraient trouver une place au niveau mondial**.

Le photovoltaïque est aujourd'hui compétitif dans des zones réunissant des conditions particulières : un fort ensoleillement, un prix de l'électricité élevé et une demande électrique maximale durant les périodes d'ensoleillement, **Ce n'est aujourd'hui le cas ni en France continentale, ni même en Europe à l'exception des zones plus méridionales. Des baisses de coût importantes sont encore nécessaires.** Elles sont envisageables mais doivent être réalisées concrètement. **Des progrès sont en effet encore possibles** : en diminuant la quantité de matériaux utilisés, en améliorant les rendements (en particulier, dans le cas des couches minces, en ayant recours à de nouveaux matériaux comme l'arséniure de gallium pour lequel des rendements de cellule record de 28 % ont été atteints), en augmentant la productivité des procédés de fabrication ainsi que la durée de vie des modules. **À plus long terme, des ruptures technologiques sont également envisageables** : le photovoltaïque organique laisse présager de possibilités de fortes réductions de coût et les concepts avancés de couches minces pourraient, grâce à l'utilisation des nanotechnologies, permettre des rendements très élevés. Point problématique actuellement : la Chine vend ses panneaux solaires à des prix nettement plus faibles que ceux des principales usines de fabrication européenne, dont plusieurs ont fermé ces derniers mois. **L'industrie européenne du solaire doit effectuer une avancée technologique pour retrouver son leadership et sa compétitivité.**

Les énergies marines (hydroliennes, énergie thermique des mers) ou la géothermie profonde sont encore aujourd'hui en France au stade de l'expérimentation ou de la recherche et présentent un intérêt non négligeable du fait du potentiel naturel disponible sur nos côtes et dans notre sous-sol. Un fort accent doit être mis à la fois sur la recherche et les opérations de démonstrations. La géothermie profonde est un enjeu de recherche sur lequel la France dispose de compétences scientifiques reconnues ; **Soultz-sous-Forêts dans le Bas-Rhin est un site de démonstration franco-allemand qui fait figure de pionnier à l'échelle mondiale** : il importe d'y conforter une activité de recherche durable en consolidant le statut de Très Grande Infrastructure de Recherche de ce site.

Dans le contexte actuel de forte tension budgétaire, et compte tenu du très grand nombre de technologies possibles de production d'électricité, il est nécessaire de bien adapter les mesures de soutien à la maturité technique et économique de ces technologies. **Nous proposons donc, deuxième recommandation, d'encourager le déploiement des énergies renouvelables compétitives en privilégiant, pour celles dont le coût de revient de l'électricité serait supérieur à un seuil à déterminer, les opérations de démonstration et de recherche.**

Le nucléaire constitue aujourd'hui un des atouts de l'industrie française. Dans ce secteur, la France dispose d'une longue expérience sur son territoire et est bien positionnée au niveau mondial – tant en termes de recherche que d'industrie : **il faut chercher à préserver cet avantage compétitif. Les marchés d'avenir sur lesquels les industriels vont se livrer une concurrence acharnée se situent essentiellement dans les pays émergents,** qui non seulement ont leur propre vision mais encore essaient de développer leur propre filière.

Dans le nucléaire, les évolutions majeures concernent :

- l'amélioration continue des performances des réacteurs actuellement en service (essentiellement des réacteurs de deuxième génération construits à partir des années 1970) ;
- la mise sur le marché, à des coûts maîtrisés, de la troisième génération de réacteurs ;
- et le développement de réacteurs à neutrons rapides de génération IV qui devraient permettre d'économiser les ressources d'uranium naturel et de minimiser le volume des déchets ultimes du cycle du combustible nucléaire.

L'exploitation de ces centrales doit naturellement se faire dans le respect le plus absolu des préconisations de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Pour terminer ce survol du secteur énergétique, il est nécessaire d'évoquer les technologies de captage et de stockage du dioxyde de carbone (CCS). Leur mise en œuvre au plan mondial est nécessaire : dans les scénarios de l'Agence internationale de l'énergie, les énergies fossiles contribuent encore pour plus de la moitié à la production d'électricité en 2030. Si des projets sont en cours, **il semble malheureusement que le déploiement à grande échelle de ces technologies ne puisse intervenir avant 2030. Des opérations de démonstration à grand échelle sont donc nécessaires auxquelles doivent prendre part les industriels français.** Au-delà des difficultés techniques et de l'amélioration nécessaire de la rentabilité économique, l'acceptation sociale est également un enjeu majeur qui pèse véritablement sur les perspectives de développement de ces technologies.

La forte contribution actuelle du secteur des transports aux émissions mondiales de gaz à effet de serre, sa dépendance au pétrole et sa croissance prévisible **font de la réduction simultanée de la consommation énergétique et des émissions de ce secteur un enjeu de taille.**

Incontestablement, **l'amélioration continue des moteurs thermiques qui seront toujours largement présents à l'horizon 2030 est la piste de progrès la plus importante** : grâce au downsizing des moteurs (réduction de la cylindrée du moteur sans en dégrader les performances) et à des procédés de combustion améliorés, des réductions de consommations allant de 20 à 40 % sont possibles avant 2020.

Pour aller au-delà, il faudra hybrider le véhicule. C'est là la deuxième piste majeure de progrès : l'électrification progressive. **Il peut s'agir d'hybridation douce** : par là, on entend le recours à des systèmes *stop & start* (qui coupent le moteur lorsque la voiture est à l'arrêt ou roule à très faible allure et le redémarrent ensuite) et de récupération d'énergie au freinage. Combinés aux progrès précédemment décrits, ils pourraient permettre d'atteindre le **seuil de 50-60 grammes de CO₂ par kilomètre** parcouru, soit une réduction de près de 60% par rapport à la moyenne d'émissions actuelles des véhicules neufs en France qui se situe autour de 130 grammes de CO₂ par kilomètre).

Enfin, une **hybridation forte**, reposant sur le couplage d'une motorisation thermique et d'une motorisation électrique, **devrait permettre d'atteindre 40 grammes de CO₂ par km** à condition, en parallèle, de réduire la vitesse du véhicule et de l'alléger: c'est cette motorisation qui semble la voie d'avenir la plus prometteuse.

Le véhicule tout électrique reste bien entendu une piste d'avenir : mais pour dépasser les 10 % de vente espérés en 2020, d'importants progrès restent à faire sur les performances des batteries ainsi que sur leur coût. A court et moyen terme, les efforts de recherche se concentrent sur la batterie lithium-ion, qui est la plus performante aujourd'hui. A plus long terme (2030-2050), on peut envisager de recourir aux batteries lithium-air dont l'énergie massique élevée rendrait possible des autonomies supérieures à 300 km (contre 100 km aujourd'hui pour les véhicules équipés de batteries lithium-ion). Il s'agit toutefois d'une véritable rupture technologique dont la réalisation se heurte à un certain nombre de verrous techniques.

La dernière piste de progrès pour réduire les émissions de CO₂ des véhicules concerne les biocarburants. La première génération est aujourd'hui sujette à controverses : leur bilan en termes d'émissions de gaz à effet de serre pourrait dans certains cas être équivalent, voire supérieur, à celui des carburants classiques. Ils ont également été fortement critiqués en raison de leur impact sur le prix des denrées alimentaires comme ce fut le cas pendant l'envolée des prix du maïs aux États-Unis en 2008. La deuxième génération de biocarburants qui valorise la plante entière permet de réduire la concurrence entre l'usage de la biomasse pour l'alimentation ou le transport. La voie biochimique (hydrolyse et fermentation) qui permet la production d'éthanol, semble aujourd'hui la plus avancée. **Les biocarburants de deuxième génération restent pour le moment extrêmement coûteux** ; d'ici 2020, les démonstrateurs en cours pourraient apporter les confirmations nécessaires et **une production massive pourrait dès lors être envisagée. Les premiers résultats obtenus sur le démonstrateur Futurol, situé dans la Marne et qui produit du bioéthanol de deuxième génération, sont prometteurs et pourraient conduire à un calendrier plus rapide.**

Le secteur résidentiel-tertiaire est le premier poste de consommation d'énergie finale et le deuxième en termes d'émissions directes de gaz à effet de serre. **Des objectifs très ambitieux** d'accroissement de l'efficacité énergétique ont été fixés pour ce secteur dans le cadre du Grenelle de l'environnement : **une réduction par un facteur 4 de la consommation pour les bâtiments neufs et de 40 % pour les bâtiments existants.**

Il faudra se rapprocher de tels objectifs tout en tenant compte de **trois contraintes** :

- d'une part, **la consommation d'énergie n'est pas le seul critère d'optimisation de la construction et l'exploitation d'un bâtiment** : la sécurité, la santé, le confort, les fonctionnalités attendues d'un lieu de vie ou d'un lieu de travail constituent des priorités essentielles ;
- **d'autre part, il n'y a pas un mais des bâtiments** qui diffèrent par la fonction (locaux d'habitation, locaux tertiaires, locaux commerciaux et industriels), la taille (construction individuelle, immeubles collectifs, immeubles de grande hauteur), la localisation géographique et les conditions climatiques associées, et enfin par l'âge, un élément déterminant des matériaux et des procédés employés.
- dans la mesure où les bâtiments ont une longue durée de vie, avec un taux de renouvellement à peine supérieur à 1 %, **l'innovation devra concerner tout autant, sinon plus, la rénovation de l'existant que la construction neuve.**

Si les technologies à mettre en œuvre dans le bâtiment neuf et l'existant sont souvent très proches, les problématiques sont sensiblement différentes :

- **la construction neuve peut être pensée d'emblée comme un système cohérent intégrant l'ensemble des progrès et les sauts technologiques actuels** : la réduction dès la construction des besoins énergétiques en utilisant une enveloppe très performante techniquement fait que la majeure partie des besoins énergétiques pendant l'utilisation concernera plutôt les besoins en électricité pour les applications télécommunication et multimédia (télévision, équipements informatiques etc.) et les équipements électroménagers ;
- **dans le bâtiment existant, les marges de manœuvre sont plus faibles.** Si un certain nombre d'investissements d'économie d'énergie en particulier ceux qui visent à améliorer la régulation ou à remplacer certains équipements, présentent, d'ores et déjà, des temps de retour acceptables, à condition de les réaliser dans le bon ordre, d'autres, en particulier certaines opérations d'isolation du bâti, peuvent s'avérer à la fois bien trop onéreux par rapport aux économies d'énergie réalisées et peu adaptés à la configuration du bâtiment.

Les champs d'innovation concernent à la fois :

- **la conception d'ensemble dans le cas du bâtiment neuf** : il s'agit d'intégrer dans le choix d'implantation et dans sa conception les éléments propres à assurer l'efficacité énergétique ; l'architecture bioclimatique participe de cette approche ;
- **les composants et équipements de même que les dispositifs de régulation et de contrôle aussi bien dans le neuf que dans l'existant**; on peut citer : les nouveaux matériaux de construction et d'isolation permettant d'améliorer la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment. Deux technologies émergentes, les aérogels et les panneaux isolants sous vide (PIV), semblent particulièrement prometteuses mais ces matériaux qui sont trois à dix fois plus performants que les isolants classiques à épaisseur égale sont encore trop coûteux aujourd'hui. On peut également citer les matériaux à changement de phase qui permettent de stocker de l'énergie, les pompes à chaleur et les ampoules basse consommation avec la révolution des LED.

Un des enseignements de cette exercice est également que les technologies utilisables pour traiter les problèmes d'énergie d'un bâtiment peuvent avoir une meilleure pertinence, qu'il s'agisse de conception et surtout de régulation, sur des ensembles plus vastes, en passant du logement au bâtiment, lorsqu'il devient collectif, au quartier ou même à la ville. **L'intégration du bâtiment dans un ensemble plus vaste pour répondre à ces besoins est également bénéfique lorsqu'il s'agit de produire de l'énergie, en particulier dans le cas du photovoltaïque.** En effet, les toitures photovoltaïques résidentielles ou tertiaires présentent aujourd'hui un coût de revient de l'électricité plus élevé que les parcs photovoltaïques au sol. En l'absence de progrès technologiques significatifs sur celles-ci, leur déploiement massif dans la perspective de concevoir des bâtiments à énergie positive pourrait donc s'avérer particulièrement coûteux : **il semble alors souhaitable d'élargir le concept de bâtiment à énergie positive à une échelle spatiale plus grande : l'îlot ou le quartier, qui rendraient possible la production d'électricité à partir de centrales photovoltaïques au sol : c'est notre troisième proposition.**

Je compléterai ces analyses sectorielles en mentionnant le rôle crucial joué par **les technologies transversales**, que l'on aurait tort de négliger. En effet, bien souvent, l'innovation technologique va résulter d'innovations dans ces domaines transverses qui vont alors se propager dans un grand nombre de technologies spécifiques. Bien qu'il n'entraîne pas dans le rôle de la mission de les aborder de manière exhaustive, **un certain nombre d'entre elles sont apparues comme incontournables et demandent dès lors, quatrième proposition, une attention et des investissements particuliers : le contrôle-commande, les dispositifs de régulation et de gestion des systèmes (contrôle-commande) et en particulier du bâtiment (réseau domiciliaire) ; les nanotechnologies ; les techniques de mesure (métrologie) ; les TIC ; les matériaux** sont ainsi concernés.

Dans le développement des technologies au service du développement durable, **la stratégie de la France doit ainsi être double** : elle doit d'une part **consolider ses atouts en matière d'innovation technologique** et d'autre part, **s'appuyer sur les ruptures technologiques pour développer son industrie sur des segments de marché où elle est peu présente.** Être précurseur dans la détection et la valorisation d'un saut technologique dans un domaine où l'on était absent doit permettre d'entrer avec succès sur de nouveaux marchés prometteurs. Notre pays bénéficie d'un avantage concurrentiel important : une recherche publique et privée de grande qualité, y compris dans des disciplines que notre industrie a encore insuffisamment valorisées (optoélectronique, nanotechnologies, etc.). C'est en s'appuyant sur cette base scientifique que, le moment venu, l'exploitation d'un saut technologique est susceptible de susciter l'essor d'une filière compétitive.

Pour finir, n'oublions pas qu'une nouvelle technologie ne pourra se développer que dans la mesure où elle ne suscitera pas de réaction de défiance parmi la population. **L'État a dès lors un rôle à jouer dans la création des procédures d'information et de concertation nécessaires pour mettre en place des processus d'encadrement des nouvelles technologies** : il ne s'agit pas de « faire accepter » une nouvelle technologie, mais de discuter les conditions de son développement et de sa régulation afin de l'adopter ou de la refuser.

Nous espérons que ce rapport pourra servir à la préparation de la Conférence environnementale qui se tiendra mi-septembre et contribuer ensuite au débat sur la transition énergétique.

Je tiens à remercier tout particulièrement Jean Bergougnoux, les membres de son comité de pilotage et de ses (nombreux !) groupes de travail, Gaëlle Hossie et Dominique Auverlot, ainsi que les rapporteurs de cette mission: Etienne Beeker, Johanne Buba, Julien Delanoë, Géraldine Ducos, Etienne Hilt, Aude Rigard-Cerison et Aude Teillant.

• **Contact Presse**

Centre d'analyse stratégique

Jean-Michel Roullé

Responsable de la communication

Tél. : +33 (0) 1 42 75 61 37

jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr