



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE
ET DES FINANCES

MINISTÈRE
DU COMMERCE
ET EXTÉRIEUR

MINISTÈRE
DU REDRESSEMENT
PRODUCTIF

MINISTÈRE
DE L'ARTISANAT,
DU COMMERCE ET DU TOURISME



EXAMEN PROFESSIONNEL POUR L'ACCES AU CORPS DES INGENIEURS DE L'INDUSTRIE ET DES MINES

SESSION 2013



ÉPREUVE ÉCRITE D'ADMISSIBILITÉ N°1 DU 29 AVRIL 2013



NOTE DE SYNTHÈSE

REMARQUES IMPORTANTES :

- les copies doivent être rigoureusement anonymes et ne comporter aucun signe distinctif ni signature, même fictive, sous peine de nullité.
- le candidat s'assurera, à l'aide de la pagination, qu'il détient un sujet complet de 29 pages dont 1 page de sujet.
- dans la correction des copies, il sera tenu compte :
 - du respect des trois pages maximum,
 - de l'esprit de synthèse du candidat,
 - de la rigueur du plan,
 - de la qualité de l'expression écrite : clarté du style, richesse et précision du vocabulaire,
 - du respect des règles de français : grammaire, orthographe, ponctuation.



(Durée : 4 heures - Coefficient : 4)

TOUTE NOTE INFÉRIEURE À 6 SUR 20 EST ÉLIMINATOIRE

NOTE DE SYNTHÈSE

Des technologies compétitives au service du développement durable

La mission de prospective technologique menée par le centre stratégique d'analyse et présidée par Jean BERGOUGNOUX a remis en août 2012 un rapport sur les technologies compétitives au service du développement durable.

Il vous est demandé d'élaborer une note de synthèse, de **trois pages maximum**, à partir du document ci-joint.

Document joint :

« Des technologies compétitives au service du développement durable »
(rapport de la mission présidée par Jean BERGOUGNOUX,
extrait – août 2012) Pages 2 à 29



Liberté - Égalité - Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREMIER MINISTRE

**Centre
d'analyse
stratégique**

2012
n°51 **RAPPORTS
& DOCUMENTS**

**Des technologies compétitives
au service du développement durable**



Développement durable

**Rapport de la mission présidée par
Jean Bergougnoux**

LE MINISTRE DE
**La
documentation**
Française

Avant-propos



Vincent Chiqui
Directeur général
du Centre d'analyse
stratégique

« Avant la crise, les États-Unis et le monde entier étaient confrontés à de nombreux problèmes, la nécessité de s'adapter au réchauffement climatique n'était pas le moindre [...] Après la crise, ces défis seront toujours là, encore plus importants, mais les ressources dont nous disposerons pour y faire face auront considérablement diminué. »

Joseph Stiglitz, *Le Triomphe de la cupidité* (2010)

Le réchauffement climatique, la pollution de notre environnement physique et les tensions sur les ressources fossiles sont autant de défis qui mettent en jeu notre avenir. Nous devons sans conteste modifier nos comportements mais l'innovation technologique doit parallèlement apporter des éléments de réponse. Dès lors, ces défis formidables doivent aussi nous apparaître comme des opportunités de différenciation et de création de valeur ajoutée pour nos industries et nos entreprises. Les avancées technologiques dans les domaines de l'énergie, du transport et du bâtiment sont déjà porteuses de promesses. Dans bien des cas, il reste cependant des sauts technologiques à effectuer avant de pouvoir envisager une diffusion massive : c'est le cas du stockage de l'électricité, des biocarburants de seconde génération, du photovoltaïque et des super-isolants minces, pour ne citer que quelques exemples.

La réflexion menée dans le cadre de la mission de prospective présidée par Jean Bergougnoux s'est efforcée de recenser les technologies porteuses d'avenir dans ces trois domaines clés et, pour chacune d'entre elles, a cherché à identifier l'état de l'art mais aussi les conditions d'un développement. Les hiérarchiser et n'en retenir qu'une petite sélection n'auraient guère eu

DES TECHNOLOGIES COMPÉTITIVES AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

de sens : leur importance future dépend bien souvent des sauts technologiques qui pourront ou non intervenir dans les prochaines années. Dans le secteur de la production d'électricité, par exemple, les technologies foisonnent sans qu'il soit possible aujourd'hui de dire laquelle finira par s'imposer.

Si les entreprises, petites et grandes, sont les viviers naturels de l'innovation et doivent en rester les premiers acteurs, le rôle d'accompagnateur de l'État n'en est pas moins crucial. Dans ce contexte, l'identification précise du stade de développement des technologies est un enjeu clé pour la puissance publique. Les capacités de financement public deviennent elles aussi une ressource en voie de raréfaction, à utiliser de manière judicieuse. Ainsi n'est-il plus envisageable aujourd'hui de soutenir par des aides pérennes de l'État le déploiement massif d'une technologie non compétitive.

L'investissement public doit être adapté à l'état de la technologie : il accompagne les efforts de R & D dans des domaines qui nécessitent des ruptures technologiques, il encourage la réalisation de démonstrateurs pour les technologies dont la faisabilité technique et économique reste à démontrer, il soutient le déploiement à échelle industrielle lorsqu'une technologie est mature et compétitive.

Il importe dans cette perspective d'élaborer une vision partagée des acteurs de l'innovation – chercheurs et industriels – en matière de prospective technologique, afin d'évaluer les coûts et les performances, actuels et projetés, de ces technologies. Une telle démarche, qui s'inscrit dans le prolongement d'initiatives existantes visant à rapprocher entreprises, universités et organismes publics de recherche, permettra de rationaliser les choix d'affectation des crédits disponibles.

La stratégie de la France doit être double : consolider ses atouts en matière d'innovation technologique et s'appuyer sur les ruptures technologiques pour développer son industrie sur des segments de marché où elle est peu présente. Dans un certain nombre de secteurs, notre pays est bien placé au niveau mondial. Il convient de conforter cette position, en accompagnant les actions de recherche – publiques et privées – qui préparent les futures avancées dans ces filières, en veillant à ce que les réglementations n'entravent pas le développement d'un marché intérieur et en soutenant les efforts à l'exportation (des grandes entreprises mais plus encore des PME innovantes). 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

AVANT-PROPOS

de nouveaux marchés prometteurs. Or notre pays bénéficie d'un avantage concurrentiel important : une recherche publique (CNRS, CEA, etc.) 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.

Une autre stratégie, parfois plus onéreuse mais souvent très efficace, consiste à acheter la technologie au bon moment en se portant acquéreur d'une entreprise qui la maîtrise. La France pourrait ainsi rattraper son retard de compétitivité dans un certain nombre de domaines. Enfin, pour innover, il faut savoir coopérer : la France ne peut pas – ne doit pas – développer tout, toute seule. À l'échelle européenne, la coopération se révèle fructueuse dans plusieurs domaines de haute technologie. Il est également possible et souhaitable de développer la coopération avec les pays non européens, avec les États-Unis, bien sûr, mais aussi et peut-être surtout avec les pays émergents, en Asie et en Amérique latine. Ces pays constitueront des marchés considérables et orienteront par là-même les choix technologiques.

N'oublions pas enfin qu'une nouvelle technologie ne pourra se développer que dans la mesure où elle ne suscitera pas de réaction de défiance parmi la population. À l'État dès lors de créer les procédures d'information et de concertation nécessaires pour mettre en place des processus d'encadrement des nouvelles technologies recueillant l'adhésion de nos concitoyens.

Synthèse générale

Au-delà de son rôle clé dans la compétitivité d'un pays, l'innovation technologique est indispensable pour répondre aux défis que pose notre engagement en faveur d'un développement durable en termes de croissance économique, de préservation de l'environnement et de progrès social. La mission de prospective technologique menée par le Centre d'analyse stratégique s'est efforcée d'éclairer cette double problématique en proposant une vision de long terme pour les secteurs de l'énergie, des transports et du bâtiment. Pour chaque technologie étudiée, elle a tenté d'apprécier à la fois la contribution possible en matière de développement durable et le potentiel de compétitivité de notre pays sur la scène internationale. Ses travaux, présidés par Jean Bergougnoux, ont passé en revue les progrès technologiques susceptibles d'intervenir au cours des prochaines décennies dans les secteurs considérés. Ils ont examiné les conditions d'une intégration de ces progrès dans les systèmes et sous-systèmes préexistants (ou à créer) ; et les conditions d'une arrivée à maturité technique, économique mais aussi sociale. Dans la mesure du possible, deux horizons de temps ont été retenus : un horizon à moyen terme, 2030, pour lequel nous avons une vision assez claire des évolutions à venir et un horizon à long terme, 2050, qui permet d'envisager des sauts scientifiques encore incertains. Enfin, la mission s'est intéressée à quatre technologies transverses qui interviennent de façon constante dans les trois grands secteurs étudiés, et qui sont susceptibles de produire des avancées déterminantes : la métrologie ; les nanotechnologies ; la régulation et le contrôle commande ; le réseau domiciliaire.

■ ÉNERGIE

La problématique structurante de l'avenir énergétique mondial est claire : comment répondre à une demande en énergie croissante, de manière durable, économique et sûre, tout en réduisant son impact sur l'environnement et en particulier sur le climat ? La question est d'autant plus complexe que certains

pays voient leurs marges de manœuvres budgétaires fortement contraintes, du moins à court terme, par une situation économique difficile.

Le premier défi concerne la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). En octobre 2009, le Conseil européen s'est engagé sur un objectif de réduction de 80 % minimum pouvant aller jusqu'à 95 % en 2050, par rapport au niveau de 1990, objectif réaffirmé en février 2011. On peut donc parler d'un « facteur 5 » (division par cinq des émissions de GES).

Le deuxième défi porte sur la maîtrise – ou plutôt la réduction – des consommations d'énergie primaire et finale, axe qui devrait jouer un rôle décisif dans la division par cinq des émissions de gaz à effet de serre de l'Union européenne (UE) à 2050 et de la constitution de son mix énergétique. La feuille de route Énergie 2050 de la Commission européenne envisage ainsi une diminution de l'ordre du tiers de la consommation d'énergie primaire à 2050. Plus ambitieuse, l'Allemagne s'est fixé un objectif de 50 %, même si elle affiche clairement que cette réduction devrait provenir en partie d'une baisse de la population (10 millions d'habitants en moins selon certaines prévisions). Avec une population qui devrait continuer à s'accroître, la dynamique démographique de la France est bien différente, ce qui suppose des actions ambitieuses dans tous les domaines : maîtrise de la demande d'énergie et en particulier de la demande d'électricité, mais aussi de la croissance de la pointe.

Le troisième défi a trait à la sécurité des approvisionnements énergétiques (combustibles fossiles et électricité), au regard de la volatilité des prix et de la disponibilité des ressources fossiles, dont la part dans les mix énergétiques français et européen est conséquente.

Enfin, au niveau européen et français, disposer d'une énergie compétitive est également une des priorités clairement identifiées.

Ces ambitions multiples sont retranscrites dans la politique énergétique européenne, définie dans le Traité de Lisbonne, qui a pour but d'assurer un approvisionnement durable, à moindre coût et sûr en énergie. Les enjeux de long terme de la politique énergétique sont par conséquent :

- *économiques* : 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 sur la compétitivité des entreprises. La disponibilité, l'accessibilité et le prix des énergies auront des effets sur la croissance économique du pays, donc sur l'emploi ;

SYNTHÈSE GÉNÉRALE

- *environnementaux* et en particulier *climatiques* : pour limiter les conséquences environnementales liées à la production et la consommation d'énergie (notamment les émissions de gaz à effet de serre), il faut favoriser autant que possible le recours à des moyens de production décarbonés ;
- *sociaux* : il s'agit de répondre aux enjeux de gouvernance et d'encadrement des technologies.

Pour concilier ces enjeux, des progrès dans les technologies de l'énergie sont indispensables. Ils concerneront aussi bien les technologies spécifiques au domaine de l'énergie que des technologies transverses, d'une importance fondamentale.

Il faut avoir conscience que le terrain sur lequel se jouent les progrès technologiques de demain et leur mise en œuvre est mondial. Au-delà de la réponse aux enjeux précités, ces progrès offrent à des acteurs français des opportunités de positionnement stratégique à l'échelle mondiale, sur les différents stades de développement des technologies : la recherche fondamentale, la recherche appliquée et l'industrialisation. Ainsi, la politique technologique dans le domaine de l'énergie présente non seulement un volet scientifique, technique, industriel mais aussi un volet commercial avec un fort potentiel de génération d'activité économique (emploi et croissance). À cet égard, le poids économique de pays émergents comme la Chine et l'Inde, qui sont à la fois des marchés et des concurrents, devient de plus en plus important, ce qui impose de ne pas tenir compte uniquement des besoins nationaux mais également de la possibilité de diffusion des technologies en dehors de nos frontières.

Une technologie venant nécessairement s'insérer dans un système technico-économique existant, avec des opportunités et des contraintes spécifiques, toute réflexion sur les évolutions technologiques suppose d'examiner avec soin les conditions de cette intégration systémique et d'établir des calendriers réalistes de leur accès à maturité. Ce terme recouvre trois notions distinctes relatives à la faisabilité technique, à la rentabilité économique mais aussi à l'acceptation sociale d'une nouvelle technologie. On peut considérer que, sauf entrave à la diffusion, la faisabilité technique est la même d'un pays à l'autre, ce qui conduit les industriels à développer des avantages exportables dans le monde entier. En revanche, les conditions de rentabilité et d'acceptation sociale peuvent varier très fortement d'un territoire à l'autre. Certains pays auront tendance à privilégier un mix exploitant leurs ressources naturelles,

qu'il s'agisse d'énergies fossiles, de potentiels hydrauliques ou de conditions de vent ou d'ensoleillement, etc. L'acceptation sociale constitue un aspect à ne pas négliger : la remise en cause dans notre société du sens à donner au progrès technique conduit à des interrogations de plus en plus fortes sur le déploiement des innovations techniques.

Comme évoqué plus haut, le rôle des technologies transverses est crucial, les progrès dans des technologies comme la métrologie¹, la régulation, le contrôle-commande, les TIC et les nanotechnologies étant souvent la condition et le moteur des évolutions dans les technologies spécifiques. La métrologie environnementale et la nanométrie sont aujourd'hui en plein développement : elles permettront notamment de répondre à certains enjeux sanitaires liés aux technologies. La métrologie est aussi un facteur clé de la compétitivité. L'amélioration des techniques de régulation et de contrôle-commande sera nécessaire pour assurer le bon fonctionnement de réseaux électriques intelligents et de centrales de production électrique, notamment les centrales nucléaires. Enfin, les nanotechnologies fournissent une bonne illustration puisqu'elles ont permis d'ores et déjà la mise sur le marché de batteries nanostructurées plus performantes (gains en intensité énergétique et en durée de vie). De véritables ruptures technologiques liées aux nanotechnologies sont attendues à moyen et long terme, notamment pour les panneaux photovoltaïques, *via* l'amélioration des rendements et la diminution des coûts.

Deux horizons de temps ont ici été retenus : 2030 et 2050. Par définition, les découvertes scientifiques et les ruptures technologiques sont imprévisibles : néanmoins, dans les secteurs capitalistiques comme l'énergie, la durée nécessaire à la diffusion massive d'une innovation envisagée en laboratoire permet d'avoir une vision assez fiable à court et moyen terme. Cette durée longue pour le développement des technologies du secteur de l'énergie est confirmée par une analyse rétrospective des évolutions sur les trente dernières années. Cela n'exclut pas les surprises : ainsi, la révolution des gaz non conventionnels n'avait pas été anticipée, même par les spécialistes. On peut cependant raisonnablement avancer que les technologies qui formeront le paysage énergétique à horizon 2030 ainsi que les verrous techniques, économiques et sociétaux à leur déploiement à grande échelle sont aujourd'hui relativement bien identifiés.

[1] La métrologie comprend tous les aspects théoriques et pratiques des mesurages, quel que soit le domaine d'application.

SYNTHÈSE GÉNÉRALE

Les familles technologiques permettant de répondre aux enjeux énergétiques évoqués concernent :

- la production décarbonée d'électricité ;
- la régulation et la sécurité du système électrique ;
- la valorisation de la chaleur provenant des énergies thermiques locales (renouvelables ou fatales) ;
- la production de carburants à faible impact environnemental.

■ TRANSPORT

Le secteur des transports représente environ 19 % de la consommation mondiale d'énergie et plus de 26 % des émissions de gaz à effet de serre. Le scénario de référence de l'AIE estime que les émissions de ce secteur devraient augmenter de près de 50 % à horizon 2030 et d'environ 80 % à horizon 2050. La réduction des émissions de gaz à effet de serre est alors un enjeu de taille qui nécessitera le développement de technologies propres et des changements de comportements, notamment dans le choix du mode de transport. Le report modal, tant voyageur que fret de la route vers le rail ou le maritime/fluvial, pourrait ainsi faire diminuer les émissions du secteur des transports de 40 % par rapport au niveau de 2005.

De tous les modes, le transport routier est le plus consommateur d'énergie au niveau mondial (plus de 75 %), suivi du transport aérien (10-15 %), du transport maritime et fluvial (environ 10 %) et enfin du transport ferroviaire (2-3 %). Tous auront un rôle à jouer dans la diminution des émissions de gaz à effet de serre mais aucune mesure internationale contraignante n'est aujourd'hui instaurée pour atteindre cet objectif.

Au niveau européen, la situation est différente. La politique des transports est guidée par le Livre Blanc de mars 2011 intitulé *Feuille de route pour un espace européen unique des transports – Vers un système de transport compétitif et économe en ressources*. Ce document contient 40 propositions, prône l'augmentation de la mobilité des citoyens, la réduction des importations de pétrole de l'UE et la diminution des émissions de gaz à effet de serre (60 % à horizon 2050). Ce texte propose notamment de développer un réseau de transport plus propre, plus sûr et plus économe en énergie et s'inscrit ainsi dans l'optique de réduction de 20 % des émissions de gaz à effet de serre de l'UE à horizon 2020. À ce titre, on notera également l'entrée, cette année, du transport aérien dans le système d'échange de quotas d'émissions de CO₂ européen (ETS). La mobilité des personnes et des marchandises repose sur la meilleure association des divers modes (co-modalités) en s'appuyant sur une intermodalité efficace. En parallèle, l'optimisation de la gestion des trafics

SYNTHÈSE GÉNÉRALE

dans un souci de fluidification engendrera d'importantes économies d'énergie et réduira l'impact environnemental.

Au niveau national, depuis 1973, la part relative du secteur de l'industrie dans la consommation énergétique finale a diminué, celle du résidentiel-tertiaire est stable, celle du secteur des transports a fortement augmenté (passage de 19 % à 31 %). Toutefois, en valeur absolue, la consommation énergétique du secteur a augmenté fortement entre 1973 et 2000 mais, depuis cette date, s'est stabilisée. En 2010, le secteur des transports représentait environ 30 % de la consommation énergétique finale en France et 33,7 % des émissions de gaz à effet de serre. Le secteur routier est le principal responsable de ces émissions (plus de 90 %). Viennent ensuite, par ordre décroissant (en 2009) : le secteur aérien (de l'ordre de 3 %, avec un pouvoir radiatif environ trois fois supérieur à celui des émissions terrestres¹), le secteur maritime et fluvial (de l'ordre de 3 %), et le secteur ferroviaire (de l'ordre de 0,5 %). Il faut cependant noter que pour les secteurs aérien et maritime, ces chiffres ne prennent pas en compte les émissions provenant des échanges internationaux, qui constituent la majorité des échanges réalisés par ces modes de transport. Concernant le transport ferroviaire, la situation de la France est différente des autres pays de l'UE car il est essentiellement alimenté par de l'électricité d'origine nucléaire, donc décarbonée.

Au vu des enjeux actuels, à la fois climatiques (émissions de GES), environnementaux et sanitaires (pollution locale, bruit), économiques (dépendance aux ressources fossiles : 98,8 % en 2009²) et sociétaux (aménagement urbains, cohésion sociale), des évolutions technologiques sont indispensables, en particulier le recours à de nouveaux carburants pour réduire la dépendance au pétrole, le développement de technologies propres³ et efficaces pour diminuer la consommation énergétique et de CO₂ et les rejets polluants, et enfin la promotion du transfert modal vers des modes de transport moins carbonés : de la route vers le rail et de l'aérien vers le rail, ce

(1) Ce pourcentage, calculé à partir des émissions de gaz à effet de serre générées par l'aviation en GteqCO₂, devrait être au minimum doublé pour considérer le forçage radiatif réel de ces émissions (son impact sur l'effet de serre) en comparaison des autres modes de transport. Plus l'altitude augmente, plus l'impact sur l'effet de serre des émissions est important. Attention, ce sujet ne fait toutefois pas l'objet d'un consensus scientifique. Des programmes de recherche ont été lancés sur les effets des émissions autres que le CO₂ (sont essentiellement concernés les cirrus qui pourraient être induits par les traînées de condensation).

(2) INSEE, SDeS.

(3) Les technologies présentées ici sont associées à un horizon de temps particulier qui correspond à leur maturité à la fois technique et économique (coût de production et réalité économique extérieure).

DES TECHNOLOGIES COMPÉTITIVES AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

qui paraît particulièrement intéressant dans le cas français. Le développement des technologies de l'information et de la communication (TIC) sera également nécessaire pour optimiser la gestion du réseau de transport, ce qui favorisera une baisse de la consommation d'énergie et encouragera l'utilisation de modes de transport moins carbonés. Les entreprises françaises de ce secteur sont compétitives sur ces marchés à haute technicité. Les thématiques présentées ci-dessus étant valables pour l'ensemble des pays de l'OCDE ainsi que de nombreux pays émergents (Chine, Inde, Brésil, etc.), les capacités à l'export de ces entreprises sont de première importance.

E BÂTIMENT

■ Les enjeux énergétiques liés aux bâtiments

Le bâtiment est le premier poste de consommation d'énergie en France (42 % de la consommation totale d'énergie finale) et le deuxième poste pour les émissions directes de gaz à effet de serre (26 % des émissions françaises de CO₂). Les défis posés par ce secteur sont donc cruciaux pour la maîtrise de l'énergie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Les besoins énergétiques des bâtiments sont de deux natures :

- les besoins thermiques : chauffage et refroidissement, eau chaude sanitaire et cuisson, dont la croissance a été contenue (+ 5,4 % de 1990 à 2008), en dépit d'une forte augmentation forte des surfaces construites ;
- les besoins liés à l'électricité spécifique : il s'agit des usages pour lesquels l'électricité ne peut pas, aujourd'hui du moins, être remplacée par une autre source d'énergie, notamment l'éclairage, l'ensemble des appareils domestiques ou professionnels et, dans le futur, le véhicule électrique.

Au-delà d'un simple rôle de consommateur d'énergie, le bâtiment résidentiel et tertiaire peut jouer un rôle actif soit en stockant, soit en produisant de l'électricité selon différentes technologies, parfois même à des niveaux supérieurs à sa consommation, au moins en moyenne annuelle¹.

Enfin, le pilotage fin de l'ensemble des ressources et des consommations en énergie apporte également un gisement d'économies, alors même que l'introduction d'énergies renouvelables, par nature intermittentes, introduit des éléments de fluctuations supplémentaires du côté de la production d'énergie.

(1) Le « bâtiment à énergie positive » (BEPOS) est obtenu, d'abord, par une efficacité et une sobriété énergétiques maximales (isolation, régulation), puis en utilisant les ressources énergétiques locales thermiques ou électriques (géothermie, biomasse, photovoltaïque). L'existence d'un équilibre moyen des productions et des consommations d'énergie, et non instantané, laisse entière la question des fluctuations journalières et saisonnières, qui peut être traitée soit par stockage d'énergie, soit par des apports dans un sens ou dans l'autre sur un réseau.

■ TECHNOLOGIES TRANSVERSES

En matière d'innovation technologique, le rôle joué par les technologies transverses est crucial. Le contrôle-commande, la métrologie et les nanotechnologies sont en effet des domaines où les progrès influenceront directement sur l'avenir des technologies spécifiques. Le réseau domiciliaire apparaît comme une technologie de régulation clé dans le domaine du bâtiment. Certaines technologies transverses comme les matériaux innovants (en particulier les matériaux composites) ou les technologies de l'information et de la communication n'ont pas fait l'objet de chapitres dédiés mais sont systématiquement mentionnées tout au long du rapport, là où elles sont sources de progrès décisifs comme dans le transport (pour l'optimisation et la régulation du trafic, pour une meilleure intermodalité) et dans le bâtiment (pour une meilleure gestion active de la régulation).

1 ■ Le contrôle-commande

Le contrôle-commande, au sens large, regroupe l'ensemble des dispositifs servant à la gestion et la régulation d'un système. Il constitue de ce fait un élément nécessaire à l'optimisation du fonctionnement et à la protection des grandes infrastructures techniques. Il se compose essentiellement de capteurs (transformation des grandeurs physiques mesurées en signaux électriques), d'automates (traitement du signal électrique), de moyens de surveillance et de commande mis à la disposition d'opérateurs, et enfin d'actionneurs permettant de transformer les signaux électriques de commandes en actions mécaniques. Il intervient de manière plus ou moins complexe dans de nombreux secteurs, parmi lesquels :

- la production et la distribution d'énergie : réseaux électriques intelligents, centrales nucléaires et installations de retraitement des combustibles usés ;
- le transport, comme outil de gestion du trafic aérien ou routier ;
- le bâtiment : aussi bien au niveau des équipements (appareils électroménagers par exemple) qu'au niveau des outils d'intégration des services (comptage intelligent, réseau domiciliaire).

Les progrès technologiques dans le domaine du contrôle-commande sont principalement poussés par l'évolution vers des systèmes de complexité croissante, ouverts, standardisés, dotés de fonctions intelligentes, intégrés dans les environnements de communication du Web et de l'Internet et pouvant être mis en relation avec d'autres systèmes.

Ces progrès concernent :

- à court terme :
 - la mise au point de puissants modèles de calcul et de programmation permettant de répondre aux contraintes suivantes : l'augmentation des besoins en calcul haute performance, l'hétérogénéité des données et la sûreté des systèmes ;
 - la diminution de la consommation énergétique des centres de traitement de données (*datacenters*) ;
 - la mise au point de capteurs à basse consommation, voire autonomes en énergie : les nano-capteurs sont à ce titre une piste intéressante ;
 - une conception améliorée des interfaces homme-machine : ergonomie et simplicité sont les maîtres-mots ;
 - le développement de matériaux de substitution pour pallier la raréfaction de certaines matières premières ;
- à moyen et long terme :
 - le développement de technologies de conception, simulation et de validation des systèmes complexes ;
 - l'amélioration de l'autonomie des systèmes : il s'agit aussi bien d'autonomie énergétique que de capacité de résilience suite à des incidents de fonctionnement.

Le marché du contrôle-commande est essentiellement tiré par le secteur de l'énergie et présente de vastes opportunités, les besoins se trouvant tant dans les pays émergents que dans les pays industrialisés. La France fait partie, avec les États-Unis, le Japon et l'Allemagne, des pays les mieux placés sur ce secteur.

2 ■ La métrologie

La métrologie, qui recouvre l'ensemble des techniques et savoir-faire permettant d'effectuer des mesures et de garantir leur fiabilité, est un domaine fondamental car la mesure est un prérequis à la connaissance, à la prise de décision et à l'action. Il s'agit par conséquent d'une science omniprésente jouant un rôle clé pour l'innovation aussi bien dans les technologies matures que dans les technologies émergentes comme les nanotechnologies.

La métrologie représente un enjeu important dans plusieurs domaines :

- dans l'énergie nucléaire : l'augmentation des températures de fonctionnement pour la génération IV nécessite l'amélioration des mesures de températures et de paramètres physico-chimiques à de telles températures ;
- dans le transport ferroviaire, où se développent les outils de mesure embarqués (en particulier pour déterminer la position des obstacles extérieurs lorsque le train se déplace à grande vitesse) ;
- dans le bâtiment : la mesure des concentrations de polluants spécifiques à l'air intérieur conduit à l'établissement de références nationales.

Les progrès technologiques attendus en métrologie tiennent à plusieurs facteurs :

- les besoins relatifs à la qualité des mesures (précision et dynamisme, en particulier) et à leur analyse rapide impliquent des gains de simplicité, de fiabilité et de coût sur les capteurs. Ces progrès sont rendus possibles par le couplage entre des mesures *in situ* et des données satellitaires, ou par l'utilisation optimale des complémentarités entre mesure et modélisation ;
- les préoccupations croissantes vis-à-vis de l'impact des technologies (nouvelles ou non) sur l'environnement (notamment la qualité de l'eau, de l'air et du sol) et sur la santé font émerger une nouvelle spécialité : la métrologie environnementale. Celle-ci vise à développer des méthodes d'analyse des mesures rapides et peu coûteuses (en particulier pour la qualité de l'eau) et à permettre l'identification et l'analyse *in situ* des polluants à très faible dose (résidus pharmaceutiques, perturbateurs endocriniens, pesticides, etc.) ;
- la nanométrie est une branche nouvelle de la métrologie motivée par l'émergence des nanosciences et des nanotechnologies, et des questionnements sur leurs effets sanitaires et environnementaux. Un des principaux enjeux est la caractérisation des nanoparticules (forme, propriétés physico-chimiques) et l'amélioration des mesures des matériaux nanostructurés.

La France occupe une bonne position dans le domaine de la recherche, elle fait partie des six pays les mieux placés (derrière les États-Unis, le Japon et l'Allemagne). En revanche, le transfert des acquis de la métrologie fondamentale vers l'industrie est problématique : les instituts Carnot pourraient jouer un rôle primordial dans le développement de la recherche en partenariat avec des entreprises (PME en particulier).

3 Les nanotechnologies

Les nanotechnologies regroupent les instruments, les techniques de fabrication et les applications dérivées exploitant les caractéristiques de la matière à l'échelle du nanomètre (10^{-9} m). L'intérêt majeur de ce domaine émergent tient au fait que la dimension nanométrique confère des propriétés et des fonctionnalités nouvelles aux matériaux. Les nanomatériaux apparaissent alors comme des vecteurs d'innovation permettant de développer des produits hautement performants en utilisant des quantités très faibles de matières premières.

Les nanotechnologies sont transversales aussi bien au niveau des nombreuses disciplines qu'elles exploitent (physique, chimie, biologie, mathématiques, etc.) qu'au niveau de leurs applications très diversifiées : celles-ci constituent de véritables innovations et laissent augurer des ruptures technologiques en particulier dans les secteurs investigués ici, à savoir l'énergie, le transport et le bâtiment. On peut citer quelques exemples éclairants :

- dans l'énergie : le recours aux nano-fils de silicium pour augmenter le rendement des panneaux photovoltaïques; l'utilisation d'électrodes nanostructurées pour améliorer les performances et la durée de vie des batteries pour le stockage de l'électricité (enjeu crucial également pour la mobilité électrique); le stockage d'hydrogène à l'état solide dans des nanomatériaux carbonés (nanotubes de carbone ou charbons actifs);
- dans le transport : l'utilisation de matériaux nanostructurés plus légers et plus résistants et de revêtements aux multiples propriétés (anti-rayures, anti-usure, etc.) pour la structure des véhicules (en particulier pour l'automobile et l'avion);
- dans le bâtiment, les progrès concernent aussi bien l'isolation, les matériaux de construction, le vitrage et l'éclairage : les matériaux nanoporeux pour l'isolation, la dispersion d'additifs nanométriques dans les bétons auto-réparants, le vitrage hydrophobe, les diodes électroluminescentes de nouvelle génération, etc.

Ainsi, les applications sont très variées et leurs stades de maturité le sont tout autant : certaines sont déjà commercialisées, d'autres font encore l'objet de recherches en laboratoire. Malgré des progrès dans les domaines de la métrologie et de la caractérisation des nanoparticules, on ignore encore largement les impacts sur la santé ou l'environnement de leur diffusion à

grande échelle. Les études sur la toxicité, l'écotoxicité et les moyens de limiter l'exposition aux nanoparticules doivent être poursuivies.

Dans ce domaine, les acteurs français sont nombreux mais parfois difficiles à identifier (notamment en raison de l'absence, jusqu'à présent, d'un inventaire des entreprises utilisant des nanomatériaux). La recherche est de qualité (voir les travaux du CEA LITEN¹ sur les batteries nanostructurées), mais le transfert technologique vers les applications industrielles et commerciales est beaucoup moins efficace. Les pays en position dominante sur le développement de la recherche et de l'industrie des nanotechnologies sont les États-Unis, la Chine, le Japon et, au sein de l'Union européenne, l'Allemagne. Le positionnement des industriels français dépend des applications : pour les bâtiments, Saint-Gobain fait figure de leader sur les vitrages de nouvelle génération (autonettoyants, thermochromes), Lafarge est un acteur majeur des apports des nanotechnologies dans les matériaux de construction cimentaires, et dans le domaine du transport, Airbus, EADS ou Michelin ont une importante activité de R & D liée aux nanomatériaux. On peut noter cependant que, dans l'ensemble, l'investissement privé en R & D en France est très inférieur aux niveaux observés aux États-Unis ou en l'Allemagne.

4 ■ Le réseau domiciliaire

Le concept de réseau domiciliaire renvoie à la gestion commune au sein du bâtiment, à usage résidentiel ou tertiaire, de l'ensemble des services qui lui sont associés, à savoir essentiellement :

- le management de l'énergie (production locale, moyens de stockage locaux) ;
- les services de télécommunications (Internet, téléphonie, télévision) ;
- la santé à domicile ;
- la sécurité des biens et des personnes ;
- les systèmes de confort ;
- les différents appareils électroménagers comme les réfrigérateurs, les lave-linge, etc.

Ces services sont aujourd'hui commercialisés séparément avec des technologies « propriétaires » incompatibles entre elles, ce qui freine considérablement leur diffusion. Tirant enseignement du succès de la commercialisation du *triple*

[1] LITEN : Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles.

SYNTHÈSE GÉNÉRALE

play, combinaison des services d'accès à Internet, de la téléphonie fixe et de la télévision, les industriels impliqués dans la fourniture de services au domicile ont compris l'intérêt de faire converger leurs technologies afin de mutualiser l'infrastructure TIC qui les sous-tend. L'enjeu est économique puisqu'il s'agit de créer de nouvelles opportunités commerciales par le développement d'un nouveau marché. Il est également sociétal puisque le réseau domiciliaire va intégrer les contraintes liées à l'émergence de nouvelles fonctionnalités associées au bâtiment : on peut citer la santé à domicile et le suivi des personnes âgées de même que le rôle du bâtiment comme producteur et gestionnaire d'énergie et non plus seulement comme consommateur.

Il s'agit alors de faire converger les différents services – dans le logement ou l'entreprise – au sein d'un même réseau qui concentre l'intelligence dans des « *box* ». Ces *box* assurent les liaisons avec des serveurs extérieurs (*cloud*), mais aussi un fonctionnement autonome local mettant les usagers à l'abri d'une défaillance du réseau de communication. L'acquisition des informations veille à mutualiser autant que possible les capteurs, les capteurs de mouvement pouvant par exemple également servir à recueillir des paramètres sur la santé ou l'environnement. Toutefois, le traitement des données est différent et doit être correctement séparé entre les différentes applications. En particulier, les possibilités de transfert de données vers des centres extérieurs, ou de réalisation d'actions dans les locaux à partir du monde extérieur sont à traiter au cas par cas.

À court-moyen terme, on devrait assister à une augmentation significative de la puissance de calcul des unités intelligentes gérant les services dans les locaux considérés, mais aussi dans la recherche et développement à des progrès sur les actionneurs faible consommation rendus communicants au protocole IP. À long terme, la convergence des piles protocolaires¹ est le point essentiel : actuellement, chaque filière technologique poursuit le développement de ses standards, accentuant *de facto* la cacophonie. La question n'est pas de créer un nouveau standard mais de sélectionner un « bouquet » de standards permettant un interfonctionnement harmonieux entre les différents « silos » technologiques. La perspective actuelle consiste à appliquer à l'ensemble de ces services une architecture IP, en partant du constat que le « monde IP » est désormais incontournable dès qu'il s'agit de réaliser des applications communicantes avec des composants de très grande série.

[1] Une pile de protocoles est une combinaison de plusieurs protocoles de communication réseau (ensemble de règles et de procédures de communication) : dans une pile, les protocoles collaborent entre eux de manière ordonnée et hiérarchisée. «

DES TECHNOLOGIES COMPÉTITIVES AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les acteurs français dans ce domaine sont aujourd'hui regroupés au sein de l'agora du réseau domiciliaire et d'un syndicat unifié, IGNES (Industries du génie numérique énergétique et sécuritaire). L'agora regroupe une vingtaine de membres (industriels et PME) et ambitionne notamment de réaliser un démonstrateur en 2012.

La situation actuelle est favorable pour la France et l'Europe, étant donné que les États-Unis, en avance dans ce domaine, sont aujourd'hui bloqués par les insuffisances de leur approche qui sépare les applications audiovisuelles des autres, rendant difficiles leur convergence et leur couplage.

Propositions

Un des enseignements de l'exercice est que la prospective technologique reste, en France, très émiettée, ce qui rend difficile à la fois une approche systémique pourtant indispensable et, s'agissant du bon usage de cette ressource rare que constituent les fonds publics, la définition des priorités sur des bases solides. Dans chaque discipline, dans chaque secteur, les chercheurs, les industriels ont leur propre vision prospective, parfois trop optimiste pour les premiers, mais ces visions s'inscrivent insuffisamment dans un cadre de cohérence permettant d'apprécier l'intérêt réel des innovations envisageables. Mettre autour d'une table les spécialistes des différents domaines comme nous l'avons fait est à la fois complexe et constructif, mais cet exercice exige au préalable un travail méthodologique rigoureux afin d'approfondir et de renouveler périodiquement les connaissances.

Une difficulté d'ordre pratique dans la conduite d'une démarche prospective globale tient à l'absence de bases de données validées et partagées sur le coût et les performances des technologies. Cela vaut aussi bien pour l'état actuel des différentes technologies que pour les informations – au moins les ordres de grandeur – concernant des innovations en cours de développement ou d'expérimentation. Ces données existent ou pourraient exister, si la demande en était clairement formulée, mais elles sont dispersées dans autant d'organismes et supposent une mise en cohérence suffisante pour pouvoir servir de base à une démarche prospective.

PROPOSITION N° 1

Tenir compte, dans la définition des mécanismes de soutien au développement d'une technologie, de sa maturité technique et économique, de sa capacité d'intégration dans les systèmes existants et du positionnement au niveau mondial de la recherche et de l'industrie françaises.

La maturité technique et économique

Dans la vie d'une innovation technologique, il y a plusieurs temps : le temps de la R & D, le temps de la démonstration de la faisabilité technique et économique, le temps du déploiement à échelle industrielle. Chacun appelle des mécanismes de soutien appropriés dans le cadre d'un pilotage adaptatif : fonds de soutien à la R & D, aide à la réalisation de démonstrateurs, aide aux premiers pas du déploiement. Il ne sert à rien de brûler les étapes en soutenant prématurément la diffusion à grande échelle d'une technologie qui est encore éloignée de la compétitivité économique.

La capacité d'intégration dans les systèmes existants

Puisqu'une technologie vient nécessairement s'insérer dans un système existant caractérisé, sur les plans technique et économique, par des opportunités et des contraintes spécifiques, un élément important est l'analyse des conditions de cette intégration. Par exemple, l'utilisation de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique semble offrir des perspectives séduisantes : il peut être produit à partir de différentes sources d'énergie primaire, dont certaines décarbonées et, au-delà de ses usages traditionnels en chimie et pétrochimie, il pourrait être valorisé dans de nombreux usages énergétiques (applications mobiles pour alimenter les véhicules, applications stationnaires dans le bâtiment pour la production d'électricité, combinée ou non avec la production de chaleur). Malheureusement, l'analyse systémique montre que toutes les chaînes « production-transport-stockage-utilisation à des fins énergétiques » (notamment *via* des piles à combustible) employant l'hydrogène comme vecteur intermédiaire, envisageables à ce jour, sont, même en supposant certaines difficultés techniques résolues, dominées par des chaînes énergétiques présentant un meilleur rendement et/ou des coûts d'investissement plus faibles. Des sauts technologiques sont certes possibles mais cela repousse, bien loin le développement, au demeurant hypothétique, de l'hydrogène-vecteur énergétique à échelle industrielle.

Le positionnement au niveau mondial de la recherche et de l'industrie françaises

La conception et la mise en œuvre de mécanismes de soutien adaptés supposent une bonne connaissance préalable des forces et faiblesses de la recherche et du tissu industriel français, grandes entreprises et PME.

Prétendre identifier les points forts de la France en matière de maîtrise et d'innovations technologiques en dressant la liste des grandes entreprises françaises compétitives sur la scène internationale serait singulièrement

PROPOSITIONS

réducteur. Ce serait oublier que la compétitivité que confère la mise sur le marché de produits et services innovants ne peut s'inscrire dans la durée que par la maîtrise des différentes étapes, qui de la recherche, parfois fondamentale, jusqu'au déploiement à échelle industrielle jalonnent l'émergence d'une technologie innovante. Ce serait aussi oublier que ces grandes entreprises s'inscrivent très souvent dans un contexte scientifique et technologique porté par un tissu de laboratoires et de PME qui, loin d'être de simples sous-traitants, sont des acteurs parfois essentiels des différentes étapes du parcours innovant.

Ces précautions prises, il est possible de dresser sommairement et sans souci d'exhaustivité un état des lieux des filières qui constituent aujourd'hui, pour la France, dans les domaines qui nous concernent ici, des points forts en matière d'innovation technologique au service de la compétitivité :

- pour l'énergie : la prospection et l'exploitation des gisements d'hydrocarbures, les grandes centrales de production électriques, les turbines hydrauliques, les matériels de réseau de transport et de distribution ;
- pour les transports : l'aéronautique au sens large (avions civils et militaires, hélicoptères, aérospatial), véhicules de faible consommation, équipements automobiles, grande vitesse ferroviaire, transports urbains, constructions navales de haut de gamme ;
- pour le bâtiment : isolation thermique, verres et vitrages ;
- pour les technologies transverses : métrologie, contrôle-commande et régulation.

Il convient bien entendu de conforter ces points en soutenant les actions de recherche publiques et privées qui prépareront les futures avancées technologiques dans ces filières, en soutenant les PME innovantes du secteur, en veillant à ce que les réglementations favorisent le développement d'un marché intérieur où les technologies en cause puissent prospérer et en soutenant les efforts à l'exportation de toutes les entreprises de la filière (les grandes entreprises, certes mais, plus encore, les PME innovantes).

En examinant la liste qui précède, on se rend compte qu'un certain nombre de technologies porteuses d'avenir, plus ou moins matures, n'y figurent pas, même si de grandes entreprises françaises s'intéressent de près à certaines d'entre elles : éolien, photovoltaïque, capture et stockage du CO₂, batteries de forte puissance en réseau, matériaux de construction nanostructurés, fondations et sondes géothermiques pour l'utilisation de la chaleur du sous-sol dans le bâtiment, technologie des LED pour l'éclairage, etc. Chaque cas mérite analyse mais *in fine*

la même question se posera : faut-il tenter de créer une filière française dans des domaines où notre industrie est peu présente aujourd'hui ou risque de ne pas l'être lorsque le marché se développera ? Même si l'on a envie de répondre positivement, il faut avoir conscience qu'il est très difficile de s'introduire sur un marché mature ou même de combler un retard dans la maîtrise d'une technologie nouvelle lorsqu'elle est proche de la maturité. En revanche, être précurseur en matière de détection et de valorisation bien organisée d'un saut technologique dans un domaine où l'on était absent pourrait permettre d'entrer avec succès sur de nouveaux marchés prometteurs. Or notre pays bénéficie dans cette perspective d'un avantage concurrentiel important : une recherche publique (CNRS, CEA...) et privée de grande qualité même dans des disciplines que l'industrie française a encore insuffisamment valorisées (optoélectronique, nanotechnologies...). De plus, les soutiens publics, qui permettent aux entreprises de développer la recherche et l'innovation, y sont importants : en témoignent des mesures comme le crédit d'impôt recherche (CIR) ou le programme « Investissements d'avenir ». C'est en s'appuyant sur cette base scientifique que, le moment venu, la mise à profit d'un saut technologique est susceptible d'assurer le développement d'une filière compétitive. Une autre stratégie, plus onéreuse, consiste à acheter la technologie au bon moment par acquisition d'une entreprise qui la maîtrise. Elle peut donner à la France les moyens de rattraper son retard dans l'éolien terrestre ou le solaire photovoltaïque.

PROPOSITION N° 2

Dans le domaine de la production d'électricité, encourager le déploiement des énergies renouvelables compétitives et privilégier, pour celles dont le coût de production de l'électricité serait supérieur à un seuil à déterminer, les opérations de démonstration et de recherche.

Afin d'assurer un approvisionnement durable en énergie, sûr et à moindre coût, il est souhaitable de disposer à terme de moyens de production d'électricité à partir de sources renouvelables et de dispositifs de stockage, à des coûts raisonnables. Ces technologies sont aujourd'hui connues pour la plupart et bien que les estimations de coûts soient variables, deux certitudes, au moins, apparaissent :

- elles sont plus chères que les technologies mises en œuvre aujourd'hui, voire, pour certaines qui présentent un intérêt majeur à long terme (solaire photovoltaïque, batteries électrochimiques), beaucoup plus chères (en l'état actuel des connaissances) ;

PROPOSITIONS

- des progrès technologiques importants résultant d'investissements judicieux et soutenus en R & D sont susceptibles de modifier radicalement les équations économiques d'aujourd'hui.

Leur développement se heurte toutefois à des contraintes budgétaires de plus en plus fortes. Garantir un soutien pérenne à ces technologies suppose par conséquent le respect d'une méthodologie rigoureuse. Comme explicité dans la proposition précédente, les mesures de soutien accordées aux technologies permettant d'exploiter les énergies renouvelables doivent être adaptées à la maturité technique et économique de celles-ci. Il faudrait ainsi :

- pour les technologies dont le prix est encore trop élevé pour que leur déploiement massif soit supportable par les budgets publics ou par les usagers, appuyer les efforts de R & D dans les cas où des ruptures technologiques sont nécessaires et, dans les cas où des bénéfices substantiels sont attendus d'économies d'échelle, mener des opérations de démonstration ou de déploiement limité. Le seuil au-delà duquel une technologie ne peut être considérée comme compétitive est à déterminer ;
- encourager le déploiement des énergies renouvelables dont le prix est proche de celui du marché en privilégiant, à compétitivité égale ou légèrement moindre, les solutions créatrices d'emplois industriels en France. Il serait également pertinent d'étudier des mesures incitant à la fabrication des équipements dans l'Union européenne. Il existe ainsi au Canada et en Italie des tarifs d'achat favorisant les installations photovoltaïques comportant une forte part de production locale (respectivement dans l'État de l'Ontario et dans l'Union européenne¹) : toutefois, de telles mesures peuvent donner lieu à controverse, l'Union européenne et le Japon ayant porté plainte auprès de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) contre le programme de tarifs de rachat garantis (FIT) de l'Ontario².

[1] L'Italie offre une prime supplémentaire de 10 % pour les installations photovoltaïques dont le coût de construction (hors coûts de main-d'œuvre) est composé à 60 % ou plus de produits fabriqués dans l'Union européenne.

[2] FIT : *Feed-in tariff*. Pour être éligible à ce programme de tarifs de rachat garantis, les parcs éoliens de plus de 10 kW et les installations photovoltaïques entrant en exploitation en 2012 doivent comporter une part minimale (respectivement 50 % et 60 %) de biens et services provenant de l'Ontario.

PROPOSITION N° 3

Compte tenu des différences de prix entre les installations photovoltaïques au sol et en toiture, étendre le concept de bâtiment à énergie positive à un ensemble plus large, l'îlot ou le quartier, afin de bénéficier d'énergies locales à moindre coût.

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, leur déploiement massif dans la perspective de concevoir des bâtiments à énergie positive pourrait donc s'avérer particulièrement coûteux : aussi semble-t-il 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. Lorsque la disponibilité du foncier n'est pas suffisante pour produire de l'électricité photovoltaïque en quantité satisfaisante, on pourrait s'autoriser le recours à une production en provenance d'un rayon plus étendu. Cette extension du concept de bâtiment à énergie positive permet de surcroît de bénéficier, avec un meilleur rapport coût/efficacité, d'autres énergies disponibles localement comme la biomasse ou la géothermie ou encore de moyens de gestion comme les réseaux de chaleur.

PROPOSITION N° 4

Investir dans les technologies transverses : les dispositifs de régulation et gestion des systèmes (contrôle-commande) et en particulier du bâtiment (réseau domiciliaire) ; les nanotechnologies ; les techniques de mesure (métrologie) ; les TIC ; les matériaux.

Le rôle des technologies transverses est crucial, les progrès dans ces domaines étant souvent la condition et le moteur des évolutions dans les technologies spécifiques :

- le contrôle-commande regroupe l'ensemble des dispositifs servant à la gestion et la régulation d'un système. Il constitue, de ce fait, un élément nécessaire à l'optimisation du fonctionnement et à la protection des grandes infrastructures techniques. Il intervient de manière plus ou moins complexe dans de nombreux secteurs : la production et la distribution d'énergie (*smart grids*, nucléaire), le transport (outils de gestion du trafic aérien ou routier), les grandes installations industrielles, etc. ;

PROPOSITIONS

- le concept de réseau domiciliaire apparaît comme une technologie de régulation clé dans le domaine du bâtiment en permettant la gestion commune de l'ensemble des services qu'il assure (production et stockage de l'énergie, services de télécommunication, santé à domicile, sécurité, etc.);
- les nanotechnologies apparaissent comme des vecteurs d'innovation permettant de développer des produits hautement performants en utilisant des quantités très faibles de matières premières. Leurs nombreuses applications laissent augurer de véritables ruptures technologiques, par exemple dans le domaine des cellules photovoltaïques ou des matériaux super-isolants;
- les progrès en métrologie – la science des mesures – permettront une meilleure appréhension des enjeux sanitaires et environnementaux relatifs tant aux technologies matures qu'aux technologies émergentes : par exemple, dans le bâtiment pour améliorer la mesure des concentrations de polluants atmosphériques spécifiques à l'air intérieur ou encore dans le domaine des nanotechnologies, pour affiner la caractérisation des nanoparticules (forme, propriétés physico-chimiques).

Certaines technologies transverses comme les matériaux innovants (en particulier les matériaux composites) ou les technologies de l'information et de la communication n'ont pas fait l'objet de chapitres dédiés mais apparaissent systématiquement comme sources de progrès décisifs, en particulier dans le transport (pour l'optimisation et la régulation du trafic, pour une meilleure intermodalité) et dans le bâtiment (pour une meilleure gestion active de la régulation).

Conclusion

Le vaste panorama des évolutions technologiques nécessaires pour répondre au défi du développement durable et les champs prometteurs ainsi ouverts justifient le soutien public à accorder, même en période de tension budgétaire, à la recherche publique et privée ainsi qu'au développement de PME, acteurs essentiels de la transition de l'innovation au marché. La mise en place d'un signal économique sur le prix du carbone favorise en outre la mise au point des technologies permettant de lutter contre le changement climatique.

DES TECHNOLOGIES COMPÉTITIVES AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Toutefois, au-delà des crédits publics, le développement de ces innovations ne peut se faire sans l'assentiment de la population. Les progrès technologiques, dans un monde où les avancées dans le domaine des TIC ont levé les barrières spatiales et temporelles à l'information, soulèvent une défiance manifeste de la part de la société. Outre les interrogations croissantes qu'ils suscitent sur les risques sanitaires, environnementaux, sociétaux, des critiques de plus en plus fortes se font entendre concernant l'absence de transparence et la confiscation de l'expertise dans les processus de décision. Tout ceci invite à revoir, en profondeur, les pratiques actuelles en matière de prise de décisions publiques et privées. L'innovation est nécessaire, à tout point de vue, notamment en raison de ses retombées en termes de croissance économique : pour qu'elle puisse se réaliser, les enjeux sociétaux qui lui sont attachés doivent être pris en considération le plus en amont possible à travers des débats de société.