



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREMIER MINISTRE



PRÉSENTATION DU RAPPORT ▼

▶ Développement durable

Des technologies compétitives au service du développement durable

par **Vincent Chriqui**,
Directeur général du Centre d'analyse stratégique

en présence de **Jean Bergougnoux**,
Président du groupe de travail

Mardi 28 août 2012

▶ DOSSIER DE PRESSE

PLUS
D'INFOS

sur www.strategie.gouv.fr

■ **Contact Presse :**

Jean-Michel Roullé, Responsable de la Communication

jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr

Tél. : +33 (0) 1 42 75 61 37 - Port. : 06 46 55 38 38

www.strategie.gouv.fr

(Des technologies compétitives au service du développement durable

Par lettre en date du 27 avril 2011, le directeur général du Centre d'analyse stratégique, Vincent Chriqui, confiait à Jean Bergougnoux, président d'honneur de la SNCF, directeur général honoraire d'EDF, la mission d'animer une réflexion de prospective technologique sur les secteurs de l'énergie, des transports et du bâtiment. La lettre de mission soulignait la nécessité d'examiner avec soin :

- ▶ les conditions d'intégration systémiques des évolutions ou ruptures technologiques à venir ;
- ▶ les calendriers réalistes à envisager tant pour le développement que pour le déploiement industriel de ces innovations technologiques ;
- ▶ la compétitivité des acteurs français sur la scène internationale en matière de développement et de mise en œuvre de ces innovations.

Organisation des travaux

La première phase a été consacrée à un important travail préliminaire mené par les équipes du Centre d'analyse stratégique. Coordonné par Gaëlle Hossie, rapporteure générale de la mission, et s'appuyant sur une analyse bibliographique systématique complétée par des entretiens, ce travail a permis :

- ▶ de structurer les travaux à venir en les articulant en thèmes et sous-thèmes et en esquissant les interactions qu'il faudrait prendre en compte dans une analyse systémique ;

- ▶ d'établir pour chaque sous-thème une "fiche", parfois volumineuse, susceptible d'initialiser une réflexion collective ultérieure sur le sujet en cause.

Dans une seconde phase a été créé un comité de pilotage (COFIL), qui a d'abord approfondi et complété la liste des thèmes et sous-thèmes à traiter. Sa composition figure en annexe.

Pour chacun des thèmes ou sous-thèmes a été choisi un animateur, secondé par un rapporteur issu des équipes du Centre d'analyse stratégique. Toute latitude a été laissée à ces animateurs d'organiser les travaux sur le thème qui leur était confié de la manière qu'ils jugeraient la plus efficace. Pour certains sujets, des groupes de travail ont été mis en place.

Les résultats ont été examinés et discutés en COFIL, souvent à deux reprises : d'abord sur la base d'un rapport préliminaire, puis sur la base d'un rapport plus finalisé mais qui a souvent fait l'objet de demandes de complément.

Le présent rapport de synthèse, élaboré avec l'aide des rapporteurs du Centre d'analyse stratégique, tente de résumer et de mettre en perspective l'ensemble des travaux dont font état ces rapports spécifiques. Force est de reconnaître que certains sujets très complexes méritent encore des compléments. Il pourrait donc être utile de prolonger ces travaux dans un certain nombre de domaines.

“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)



Vincent Chriqui
Directeur général
du Centre d'analyse
stratégique

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 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 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.

(Des technologies compétitives au service du développement durable

Au-delà de son rôle clé dans la compétitivité d'un pays, l'innovation technologique est indispensable pour apporter des réponses pertinentes 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).

Des technologies compétitives au service du développement durable

Un des enseignements de l'exercice est que la prospective technologique reste, en France, très émiétée, 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 l'industrie françaises.

▶ 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.

▶ 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.

▶ 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.

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 de la recherche 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.

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. En sus des interrogations croissantes qu'ils suscitent sur les risques sanitaires, environnementaux, sociétaux, apparaissent également des critiques de plus en plus fortes 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.



PREMIER MINISTRE

**Centre
d'analyse
stratégique**

Le Directeur général

Paris, le 27 avril 2011

Monsieur le Président,

S'engager sur la voie d'un développement durable implique de concilier croissance économique, progrès social et préservation de l'environnement ainsi que des ressources rares. Pour y parvenir, des progrès technologiques décisifs sont nécessaires dans les technologies de l'énergie, des transports et du bâtiment. Les pays qui sauront le mieux les anticiper aux plans scientifique, technique et industriel, bénéficieront d'avantages décisifs non seulement dans leur utilisation sur leur propre territoire, mais aussi dans leur valorisation à l'exportation.

Je vous demande d'organiser un exercice prospectif destiné à identifier les principales technologies répondant à cette problématique. Vous adopterez une approche systémique et proposerez des calendriers réalistes de mise en œuvre. Vous concentrerez vos investigations dans les trois secteurs de l'énergie, des transports et du bâtiment et vous proposerez les pistes d'action publique qui vous paraîtront les plus efficaces.

Pour mener à bien cet exercice, vous vous appuyerez sur les nombreux travaux aujourd'hui disponibles, en particulier sur l'identification de « technologies clés », ainsi que sur les monographies existantes par filières ou par secteurs. Vous pourrez aussi éclairer, le cas échéant, les divergences d'appréciation entre experts sur l'analyse relative à certains de ces secteurs.

Vous constituerez un groupe de pilotage que vous présiderez. Vous bénéficierez, dans la réalisation de cet exercice, du concours des agents du Centre d'analyse stratégique.

Vous me remettrez le résultat de vos travaux à la fin du mois d'octobre.

Je vous prie de croire, Monsieur le Président, à l'assurance de ma considération distinguée.


Vincent CHRIQUI

Monsieur Jean BERGOUGNOUX
88, avenue Raymond Poincaré
75016 PARIS

www.strategie.gouv.frCentre d'analyse stratégique - 18, rue de Martignac - 75700 Paris SP 07 - Tél. 01 42 75 60 00 - strategie@strategie.gouv.fr

► **Président**

Jean Bergougnoux, consultant

► **Rapporteure générale**

Gaëlle Hossie, chargée de mission, Centre d'analyse stratégique

► **Rapporteurs**

Étienne Beeker, chargé de mission, Centre d'analyse stratégique

Johanne Buba, chargée de mission, Centre d'analyse stratégique

Julien Delanoë, stagiaire, Centre d'analyse stratégique

Géraldine Ducos, chargée de mission, Centre d'analyse stratégique

Étienne Hilt, stagiaire, Centre d'analyse stratégique

Aude Rigard-Cerison, chargée de mission, Centre d'analyse stratégique

Aude Teillant, chargée de mission, Centre d'analyse stratégique

► **Coordinateurs**

Gaëlle Hossie, chargée de mission, Centre d'analyse stratégique

Dominique Auverlot, chef du département Développement durable, Centre d'analyse stratégique

► **Assistante**

Élise Martinez, assistante, Centre d'analyse stratégique

► **Membres**

Yves Bamberger, conseiller scientifique du président, EDF

Pascal Barthélémy, directeur général adjoint, Institut français du pétrole, énergies nouvelles – IFPEN

Emmanuel Clause, chargé de mission, ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services – MEDDTL-DGCIS

Fabrice Dambrine, ingénieur général des Mines, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies – CGIET

Jean Delsey, conseiller scientifique, Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux – IFSTTAR

François-Marie Duthoit, directeur R & T/ Innovation, DCNS Recherche et Technologie

Georgina Grenon, chargée de mission pour le développement des filières énergies solaires, éoliennes et marines, ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Direction générale de l'énergie et du climat – MEDDTL-DGEC

Alain Griot, sous-directeur, ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Commissariat général au développement durable – MEDDTL-CGDD

Rémi Guillet, ingénieur général des Mines, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies – CGIET

Richard Lavergne, chargé de mission stratégique Énergie-climat, ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Commissariat général au développement durable – MEDDTL-CGDD

Élisabeth Merlen, chargée de mission, Institut français du pétrole, énergies nouvelles – IFPEN

Nicole Mermilliod, directeur du Programme nouvelles technologies de l'énergie, Commissariat à l'énergie atomique – CEA-Grenoble

Xavier Montagne, directeur adjoint, Direction scientifique, Institut français du pétrole, énergies nouvelles – IFPEN

Jean-Yves Perrot, président directeur général, Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer – IFREMER

Christian Oeser, chargé de mission, ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement Direction générale de l'énergie et du climat – MEDDTL-DGEC

Jean-Gabriel Rémy, Ingénieur général des Mines, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies – CGIET

Jacques Roudier, président de la 5^e section "Sciences et techniques", ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Conseil général de l'environnement et du développement durable – MEDDTL-CGEDD

Françoise Roure, présidente de la section "Technologies et sociétés", ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies – CGIET

Georges Rozen, consultant

Armand Toubol, consultant

**Jean Bergougnoux**

Jean BERGOUGNOUX, né en 1939, est ancien élève de l'Ecole Polytechnique et de l'Ecole Nationale de la Statistique et de l'Administration Economique.

Après un début de carrière à l'Institut National de la Statistique et au Ministère de l'Industrie, il entre à EDF. Après avoir dirigé le service des Etudes de Réseaux et le Service des Etudes Economiques Générales, il devient Directeur de la Stratégie d'EDF puis Directeur Général d'EDF de 1987 à 1994. Durant cette période, il est amené à présider l'association des électriciens européens EURELECTRIC et le Comité des études du Conseil Mondial de l'Energie.

Il est ensuite appelé à la Présidence de la SNCF en 1994. Président d'honneur de la SNCF depuis 1996, il se partage aujourd'hui entre des activités de consultant international dans le domaine de l'énergie, des transports, de la stratégie et du management et des activités "d'intérêt général" :

- membre de la Commission Nationale du Débat Public depuis sa création en 1997, il a présidé plusieurs débats publics sur de grands projets d'équipements portuaire, aéroportuaire et autoroutier et le débat public sur les options générales en matière de développement et de régulation des nanotechnologies.
- président des groupes de travail sur la "régulation des services publics en réseaux", la tarification de l'accès aux réseaux de transport de gaz, membre, en tant qu'expert, de la "commission Champsaur" sur la tarification de l'électricité, ...
- responsable de la synthèse de la Commission de l'Energie du conseil d'analyse stratégique, président du groupe de travail "ressources rares" (énergie, matières premières, environnement, agriculture) de l'étude prospective France 2025
- pilote du chantier opérationnel "transport de marchandises" dans le cadre du Grenelle de l'environnement.
- il vient d'être appelé à la présidence d'un groupe de travail "prospective technologique" au Centre d'analyse stratégique

▶ Synthèse générale.....	11
Énergie	11
Transport	26
Bâtiment.....	32
Technologies transverses	42
▶ Propositions	47
▶ Présentation	53
▶ ÉNERGIE	
Introduction.....	59
Le nucléaire	61
1. Les générations de réacteurs : évolutions et révolutions technologiques	63
2. Une question cruciale : la sûreté des installations nucléaires	72
3. Le cycle du combustible	79
L'énergie éolienne	97
1. Différentes technologies éoliennes pour différents marchés.....	98
2. Les sauts technologiques attendus pour développer une industrie française	100
3. La filière éolienne en France : point de départ	102
4. La filière éolienne en 2030 : une vision d'avenir à laquelle la France peut aspirer	102
L'électricité solaire	105
1. L'énergie solaire photovoltaïque.....	106
2. Solaire photovoltaïque à concentration	113
3. Solaire thermodynamique à concentration (CSP)	114
Les énergies renouvelables marines	119
1. Développements technologiques	119
2. Aspects systémiques	121
3. Industrie française/acteurs	121
L'hydroélectricité	123
1. L'hydroélectricité dans le contexte énergétique mondial et national.....	123
2. Les différents types de centrales hydroélectriques et leur contribution à la régulation des systèmes électriques	124
3. Des enjeux très différents d'un pays à l'autre	124
4. Les aspects technologiques.....	125
5. Une position très forte de l'industrie française	126
La géothermie	127
1. Les puits canadiens	129
2. La géothermie très basse énergie	130
3. La géothermie basse énergie.....	131
4. La géothermie dans les îles volcaniques	133
5. La géothermie profonde	133

Réseaux de chaleur et valorisation énergétique des déchets	137
1. Progrès sur les composants	137
2. Aspects systémiques	139
3. Industrie française/acteurs	139
Conversion de la biomasse en chaleur ou en électricité	141
1. Éléments de contexte	141
2. Les techniques de production de chaleur et d'électricité à partir de biomasse	142
3. Les voies de progrès technologique	144
Conversion de la biomasse en chaleur ou en électricité	141
1. Éléments de contexte	141
2. Les techniques de production de chaleur et d'électricité à partir de biomasse	142
3. Les voies de progrès technologique	144
Carburants alternatifs d'origine biomassique et fossile	147
1. Contexte	148
2. Les voies de progrès technologique par type de carburant alternatif	155
3. Les voies de progrès transversales et de type « système »	163
Les réseaux électriques	167
Réseaux électriques intelligents ou <i>smart grids</i>	171
1. Définition	171
2. Pour un positionnement stratégique mondial	171
3. État des lieux : quelques éléments de contexte	172
4. Marché des réseaux actuel et en prévision	173
5. Quelques objectifs pour les <i>smart grids</i> en Europe	173
6. Intelligence des réseaux : pourquoi et pour qui ?	174
7. Principaux verrous technologiques	177
8. Protocoles, standards et verrous politiques	179
9. Verrous socioéconomiques	180
10. Besoins de R & D	180
11. Comment développer les <i>smart grids</i> ?	181
12. Questions économiques et financières	183
Le stockage stationnaire d'énergie	185
1. Hydrocarbures liquides ou gazeux : le cas du stockage souterrain du gaz naturel	185
2. Le stockage stationnaire d'électricité	187
Les applications industrielles de l'électricité	199
1. Progrès technologiques sur les composants	199
2. Industrie et acteurs français	202
Captage, transport, stockage et valorisation du CO₂	203
1. Le captage, transport, stockage de CO ₂	204
2. La valorisation du CO ₂	209
Les hydrocarbures non conventionnels	211
1. Contexte	212

2. Hydrocarbures non conventionnels et hydrocarbures de roche-mère	213
3. La fracturation hydraulique et les interrogations environnementales qu'elle peut susciter	216
4. Analyse en cycle de vie (ACV) des hydrocarbures non conventionnels	218
5. Avant toute exploration, comprendre le milieu géologique	220
6. La fracturation hydraulique et les techniques associées	220
7. Les questions spécifiques liées à l'utilisation de l'eau	223
8. Aspects législatifs et réglementaires	225
Conclusions et recommandations	226
Les perspectives technologiques dans le raffinage	229
1. Conversion des bruts lourds et extra-lourds	229
2. Déséquilibre de la demande gazole/essence	230
3. Désulfuration des fiouls de soute	230
4. Réduction des émissions de gaz à effet de serre	231
5. Biocarburants et raffinerie	231
6. L'industrie française du raffinage	232
Annexe : principe de fonctionnement d'une raffinerie	232
L'hydrogène	235
1. L'hydrogène-énergie et les piles à combustible : définitions	235
2. Le champ des applications de l'hydrogène-énergie et des piles à combustible	236
3. Production de l'hydrogène	236
4. Les enjeux d'avenir	237
5. Les paramètres clés	239
6. Verrous et leviers	239
7. Les acteurs industriels	241
8. Les axes stratégiques de développement de la filière	241
Interactions eau et énergie	243
1. Production d'eau potable et énergie : le dessalement	243
2. Traitement des eaux résiduaires et énergie	245
▶ TRANSPORT	
Introduction	249
Le véhicule particulier	251
1. Contexte	252
2. Rappels et motorisations possibles	252
3. Le véhicule thermique : d'importants gains apportés par le <i>downsizing</i> du moteur	253
4. Le véhicule hybride thermique-électrique : une variété d'optimisations possibles selon l'usage choisi	255
5. Le véhicule électrique : un avenir étroitement lié aux progrès réalisés sur les batteries	256
6. Allègement et amélioration de l'architecture du véhicule : une multiplicité de gains	260

7. Compétitivité de la filière automobile française.....	262
L'aéronautique	265
1. Contexte.....	265
2. Des progrès incrémentaux sur la structure de l'avion	267
3. D'importantes innovations au niveau de la propulsion	268
4. L'efficacité énergétique des appareils de bord : des gains faibles mais multiples	269
5. Les technologies de l'information et de la communication : gestion du trafic aérien	270
6. Compétitivité de la filière aéronautique française	271
Le secteur maritime et fluvial	273
1. Contexte.....	273
2. Structures et revêtements	275
3. Le moteur et la production d'énergie	276
4. Propulsion du navire	276
5. Gestion de l'énergie à bord	277
6. Technologies de l'information et de la communication : sécurité et intelligence à bord.....	278
7. Compétitivité de la filière navale française	278
Le secteur ferroviaire	281
1. Contexte.....	281
2. Le transport de voyageurs	282
3. Le transport de fret.....	285
4. Des mesures communes au fret et aux voyageurs : TIC et nouveaux matériaux.....	288
5. Compétitivité de la filière ferroviaire française	289
▶ BÂTIMENT	
Introduction	293
Les enjeux énergétiques liés au bâtiment	295
1. La place du bâtiment dans la consommation d'énergie et la production de gaz à effet de serre	295
2. Les différents besoins énergétiques des bâtiments et leurs évolutions	295
3. Les normes d'efficacité énergétique	296
4. De l'efficacité énergétique à l'analyse du cycle de vie.....	297
Le contexte d'accroissement de l'efficacité énergétique des bâtiments	299
1. La structure du parc	299
2. Les critères d'optimisation du seul point de vue du bâtiment.....	300
3. Des périmètres d'analyse de taille variable	301
4. Les facteurs de variation dans le temps	302

Les pistes de progrès technologiques sur les composants	303
1. L'enveloppe du bâtiment	303
2. Les systèmes de production d'énergie	309
3. Le stockage de chaleur	314
4. La ventilation	314
5. L'éclairage	315
6. L'électroménager et le multimédia	318
Les besoins d'innovation dans l'intégration et les systèmes	319
1. L'évolution des besoins d'énergie dans le bâtiment	319
2. Le besoin d'une approche systémique	320
3. Les innovations d'intégration et d'interconnexion entre les composants	322
4. La position des acteurs français	323
Les limites de la technologie :	
les besoins d'innovation dans l'organisation	325
1. Les contraintes de l'innovation dans le secteur du bâtiment	325
2. Des besoins de structuration de filières	326
3. Les outils de simulation	326
4. Les limites introduites par la réglementation, la normalisation et la documentation technique	327
5. Le modèle économique	327
6. La convergence énergie-transport-bâtiment	328
▶ TECHNOLOGIES TRANSVERSES	
Introduction	331
Les techniques de régulation et de contrôle-commande	333
1. Enjeux du contrôle-commande	334
2. Les perspectives technologiques	335
3. Le marché du contrôle-commande	336
La métrologie	339
1. Les perspectives technologiques	340
2. Enjeux sectoriels	341
Les nanotechnologies	345
Le réseau domiciliaire	351
1. Enjeux sociétaux et économiques du réseau domiciliaire	351
2. Les perspectives technologiques	352
3. Le marché du réseau domiciliaire	352
▶ ANNEXES	
Lettre de mission	357
Composition du groupe de travail	359
Personnes auditionnées	363
Bibliographie	369



Directeur de la publication :
Vincent Chiqui, Directeur général
Directeur de la rédaction :
Hervé Monange,
Directeur général adjoint

Contact presse :
Jean-Michel Roullé, responsable
de la Communication
01 42 75 61 37 / 06 46 55 38 38
jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr

Jonathan Lorrillard, chargé de mission
Communication
01 42 75 60 39 / 06 89 86 89 53
jonathan.lorrillard@strategie.gouv.fr



“Des technologies compétitives au service du développement durable”

Rapport disponible sur

www.strategie.gouv.fr, rubrique publications

Retrouvez les dernières actualités du Centre d'analyse stratégique sur :

-  Internet : www.strategie.gouv.fr
-  Facebook : [centredanalysestrategique](https://www.facebook.com/centredanalysestrategique)
-  Twitter : [Strategie_Gouv](https://twitter.com/Strategie_Gouv)

Le Centre d'analyse stratégique est une institution d'expertise et d'aide à la décision placée auprès du Premier ministre. Il a pour mission d'éclairer le gouvernement dans la définition et la mise en œuvre de ses orientations stratégiques en matière économique, sociale, environnementale et technologique. Il préfigure, à la demande du Premier ministre, les principales réformes gouvernementales. Il mène par ailleurs, de sa propre initiative, des études et analyses dans le cadre d'un programme de travail annuel. Il s'appuie sur un comité d'orientation qui comprend onze membres, dont deux députés et deux sénateurs et un membre du Conseil économique, social et environnemental. Il travaille en réseau avec les principaux conseils d'expertise et de concertation placés auprès du Premier ministre : le Conseil d'analyse économique, le Conseil d'analyse de la société, le Conseil d'orientation pour l'emploi, le Conseil d'orientation des retraites, le Haut Conseil à l'intégration.

www.strategie.gouv.fr