

**Ministère de l'Économie,
des Finances et de l'Industrie**

Technologies clés 2010



DIRECTION GÉNÉRALE DES ENTREPRISES

Les *Éditions de l'Industrie*, Paris 2006
Collection Textes clés

Conformément aux dispositions des articles 40 et 41 de la loi du 11 mars 1957 sur la propriété littéraire et artistique :

- Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, ne peut être effectuée sans autorisation expresse et préalable des Éditions de l'Industrie, service de la Communication, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, 139, rue de Bercy, 75572 Paris cedex 12.
- Les copies ou reproductions doivent être strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et les analyses et courtes citations faites dans un but d'exemple et d'illustration.

ISSN : 1263-2856
ISBN 10 : 2-11-096349-2
ISBN 13 : 978-2-11-096349-9

SOMMAIRE

Préface du ministre	5
Avant-propos du président du comité de pilotage	7
Introduction	11
L'exercice technologies clés : un exercice collectif de prospective technologique qui constitue l'un des quatre grands volets de la politique d'innovation..... 11	
Technologies clés et les autres études de prospective technologique	14
Les objectifs de l'étude Technologies clés 2010	17
La méthodologie	18
La réalisation de l'étude	18
La caractérisation des technologies clés	20
Le contexte	23
Au niveau mondial	23
- Les enjeux du changement climatique	25
- Les ressources en eau douce seront-elles suffisantes ?	27
- Vers de futurs chocs énergétiques ?	29
- Les ressources minérales et minières	32
Au niveau européen et français	34
- Le vieillissement démographique	34
- L'emploi à l'horizon 2020	37
- La compétitivité économique	40
Les technologies clés 2010	45
Technologies de l'information et de la communication	49
- Des grands enjeux aux technologies clés	50
- Le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC)	50
1 - Gestion de la microénergie	59
2 - Stockage de l'information numérique	62
3 - Processeurs et systèmes	65
4 - RFID et cartes sans contact	68
5 - Outils et méthodes pour le développement de systèmes d'information	71
6 - Ingénierie des systèmes embarqués	74
7 - Composants logiciels	77
8 - Infrastructures et technologies pour réseaux de communication « diffus »	80

9 - Virtualisation des réseaux.....	82
10 - Sécurisation des transactions électroniques et des contenus.....	84
11 - Acquisition et traitement de données.....	87
12 - Gestion et diffusion des contenus numériques.....	90
13 - Technologies du Web sémantique.....	93
14 - Interfaces humain-machine.....	96
15 - Modélisation, simulation, calcul.....	99
16 - Réalité virtuelle, augmentée, 3D.....	102
17 - Affichage nomade.....	105
Matériaux - chimie.....	107
- Des grands enjeux aux technologies clés.....	108
- Le secteur des matériaux et de la chimie.....	108
18 - Matériaux nanostructurés et nanocomposites.....	117
19 - Matériaux pour l'électronique et la mesure.....	120
20 - Procédés catalytiques.....	123
21 - Biotechnologies industrielles.....	125
22 - Microtechnologies pour l'intensification des procédés.....	128
23 - Recyclage des matériaux spécifiques.....	130
24 - Fonctionnalisation des matériaux.....	132
25 - Textiles techniques et fonctionnels.....	135
Bâtiment.....	137
- Des grands enjeux aux technologies clés.....	138
- Le secteur du bâtiment.....	138
26 - Systèmes d'enveloppe de bâtiment.....	142
27 - Matériaux composites pour la construction, à base de matériaux recyclés ou de biomasse.....	144
28 - Gestion de l'air dans le bâtiment.....	146
29 - Gestion de l'eau dans le bâtiment.....	148
30 - Technologies d'intégration des ENR dans le bâtiment.....	150
Energie - environnement.....	153
- Des grands enjeux aux technologies clés.....	154
- Le secteur de l'énergie et de l'environnement.....	154
31 - Systèmes photovoltaïques avec stockage intégré.....	162
32 - Systèmes éoliens avec stockage intégré.....	164
33 - Carburants de synthèse issus de la biomasse.....	166
34 - Réacteurs nucléaires de 3 ^e génération.....	168
35 - Valorisation et distribution de la chaleur à basse température par pompe à chaleur.....	170
36 - Composants et systèmes d'éclairage à rendement amélioré.....	172
37 - Capture et stockage géologique du CO ₂ avec nouvelle conception de centrale à charbon.....	174
38 - Contrôle-commande des réseaux et de la puissance.....	176
39 - Mesure des polluants de l'eau prioritaires ou émergents.....	178
40 - Technologies de filtration membranaire (traitement de l'eau).....	180
41 - Automatisation du tri des déchets.....	182
42 - Accélération de la dégradation des déchets fermentescibles et valorisation énergétique.....	184
43 - Traitement des odeurs non confinées.....	186

Technologies du vivant - santé - agroalimentaire	189
- Des grands enjeux aux technologies clés.....	190
- Le secteur des technologies du vivant, de la santé et de l'agroalimentaire.....	190
44 - Transgénèse.....	198
45 - Thérapie cellulaire.....	200
46 - Protéomique.....	202
47 - Thérapie génique.....	204
48 - Génomique fonctionnelle à grande échelle.....	206
19 - Techniques de criblage et de synthèse à haut débit.....	208
50 - Vectorisation.....	210
51 - Ingénierie des anticorps monoclonaux.....	212
52 - Vaccins recombinants.....	214
53 - Alimentation pour le bien-être et la santé.....	216
54 - Contrôle des allergies alimentaires.....	218
55 - Imagerie et instrumentation associées aux sciences du vivant.....	220
Transports	223
- Des grands enjeux aux technologies clés.....	224
- Le secteur des transports.....	224
56 - Architecture et matériaux pour infrastructures de transport terrestre.....	232
57 - Travaux d'infrastructures furtifs.....	234
58 - Infrastructures routières intelligentes.....	236
59 - Sécurité active des véhicules.....	238
60 - Architecture et matériaux pour l'allègement des véhicules.....	240
61 - Sécurité passive des véhicules.....	243
62 - Moteurs à pistons.....	245
63 - Turbomachines.....	248
64 - Acoustique des véhicules.....	251
65 - Architecture électrique des véhicules.....	253
66 - Architecture électronique des véhicules.....	255
67 - Gestion de l'énergie à bord des véhicules.....	257
68 - Liaisons de données véhicule - infrastructure.....	259
69 - Systèmes aériens automatisés.....	261
70 - Positionnement et horodatage ultraprécis.....	263
71 - Gestion des flux de véhicules.....	265
Distribution - consommation	269
- Des grands enjeux aux technologies clés.....	270
- Le secteur de la distribution et de la consommation.....	270
72 - Technologies d'authentification.....	275
73 - Traçabilité.....	278
Technologies et méthodes de production	281
- Des grands enjeux aux technologies clés.....	282
- Le secteur des technologies et méthodes de production.....	282
74 - Contrôle de procédés par analyse d'image.....	288
75 - Capteurs intelligents et traitement du signal.....	290
76 - Assemblage multimatériaux.....	293
77 - Micro et nanocomposants.....	295
78 - Procédés et systèmes de photonique.....	298
79 - Nouveaux procédés de traitement de surface.....	300
80 - Procédés de mise en forme de matériaux innovants.....	303

81 - Méthodes et outils de coconception.....	305
82 - Ingénierie des systèmes complexes.....	307
83 - Transfert de technologie.....	310
Conclusions et recommandations	313
Les grandes tendances technologiques mises en avant par ce travail	
de prospective technologique.....	313
L'importance de la normalisation.....	315
Les limites de l'étude.....	315
Les suites possibles de l'étude technologies clés 2010.....	316
Annexes	319
Annexe 1 - Liste des participants au projet.....	319
Annexe 2 - Bibliographie sommaire.....	326
Annexe 3 - Priorités technologiques d'autres pays.....	329
Annexe 4 - Les technologies « candidates ».....	332
Annexe 5 - Liste des disciplines scientifiques.....	340
Annexe 6 - Liste des compétences technologiques et codes CIB.....	341
Annexe 7- Liste des domaines d'application.....	343
Annexe 8 - Liste des pôles de compétitivité.....	344



PRÉFACE

La technologie et l'innovation technologique sont au cœur du développement économique et de l'emploi des pays industrialisés. Le progrès technique est la clé de la compétitivité économique. En transformant les conditions de marché, la technologie remet sans cesse en cause les situations établies, et permet à ceux qui sont en avance de détenir un avantage compétitif. Dans un tel contexte, il est indispensable de pouvoir anticiper ces transformations et les bouleversements qui y sont liés pour s'y préparer et en faire des opportunités, des chances à saisir.

Le ministère chargé de l'Industrie lance périodiquement une étude de prospective technologique qui vise à identifier quelles seront les technologies les plus importantes pour l'industrie française à l'horizon de 5 à 10 ans. La première étude sur les technologies clés est parue en 1995 et la seconde en 2000. Technologies clés 2010 est la troisième version de cet exercice.

En proposant un panorama de l'évolution des différents secteurs économiques et une liste de technologies clés pour la France, ces études ont l'ambition d'être une aide à la réflexion pour les acteurs de l'innovation et un catalyseur pour l'action, en leur permettant de définir des stratégies gagnantes et de collaborer plus efficacement autour de thématiques technologiques porteuses d'avenir.

La technologie doit fournir les clés d'un développement durable

Depuis 2002, la politique du Gouvernement de soutien à l'innovation a été redéfinie et considérablement amplifiée : le Fonds de compétitivité des entreprises, que gère la DGE, s'est vu confier le rôle de fonds interministériel unique pour le soutien des pôles de compétitivité par les ministères ; de nouvelles structures ont été créées (ANR, All), d'autres ont vu leur périmètre modifié (Oséo-anvar au sein du groupe Oséo) ; la loi de programme pour la recherche consacre des moyens importants en faveur des partenariats public-privé et de la valorisation de la recherche. Une nouvelle politique industrielle, construite autour des pôles de compétitivité, d'Euréka et des grands projets innovants de l'All se met en place.

Dans ce nouveau contexte, *Technologies clés 2010* apporte un éclairage sur les changements technologiques des dix prochaines années.

Dans le cadre de ce projet, un peu plus d'une centaine d'experts ont travaillé au sein de huit groupes thématiques. Dans quatre régions, les acteurs locaux du développement technologique ont été impliqués à la réflexion. Qu'ils en soient ici remerciés car sans eux ce rapport n'existerait pas.

Je laisse au lecteur le soin de découvrir plus en détail les résultats de ce travail. Pour ma part, je souhaite souligner quelques points qui me paraissent essentiels :

- À la différence des précédentes études, Technologies clés 2010 a cherché à répondre aux attentes des acteurs locaux du développement économique et technologique. La participation d'un certain nombre d'entre eux au travail d'élaboration traduit cette volonté. Il appartient maintenant aux responsables locaux, s'ils le souhaitent, de se saisir de ce rapport pour en faire un outil au service du développement économique local et construire des actions tant de soutien à l'innovation que de diffusion des technologies les plus modernes dans les entreprises pour en accroître la compétitivité et la création d'emploi. Les directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement et les conseils régionaux seront moteurs pour stimuler les actions locales pour aider nos entreprises, notamment celles de taille modeste, à être pionnières dans la mise au point et l'utilisation des nouvelles technologies. C'est un facteur incontournable de leur compétitivité dans une économie globalisée.

- Le développement technologique est le résultat d'interactions entre les progrès de la science, le choix de technologies élémentaires et leur imbrication dans des systèmes toujours plus complexes, les facteurs humains et sociaux, les stratégies des entreprises. La maîtrise et l'efficacité du développement technologique est dans une grande mesure déterminée par la connaissance de ces interactions et leur contrôle. Les technologies de l'information et de la communication y sont omniprésentes et les biotechnologies s'annoncent comme porteuses de développement considérables. Le facteur temps y est fondamental mais ne s'exprime pas de la même manière selon les domaines technologiques. La notion de système prend une place prépondérante dans l'évolution technologique contemporaine, tout particulièrement dans les pays développés. Nombre de technologies clés identifiées relèvent de cette approche. La seule maîtrise des technologies de base n'est plus suffisante. Les méthodes de conception, d'organisation, de marketing, de gestion des connaissances, sont aussi déterminantes dans le succès d'une innovation que la technologie proprement dite. Ce sont des approches pluridisciplinaires qu'il nous faut promouvoir.

- Les attentes de la société envers la science et la technologie sont toujours aussi fortes. Elles sont multiples, et se manifestent, aujourd'hui, par l'exigence d'un développement technologique plus responsable, permettant à la fois de faire progresser le bien-être et de mieux protéger notre environnement. Nos concitoyens attendent de la technologie les clés d'un développement durable.



François Loos
Ministre délégué à l'Industrie

AVANT-PROPOS

L'étude Technologies clés 2010 s'inscrit dans le prolongement de deux études de même nature qui ont fait l'objet de rapports publiés en 1995 et 2000. Il s'agit à chaque fois d'identifier, à horizon de cinq ans, les technologies clés pour l'industrie française. Il existe donc une certaine continuité de la démarche, mais elle s'accompagne cependant d'une évolution.

L'étude 2010 diffère ainsi des précédentes par la cible retenue qui est, de façon prioritaire mais non exclusive, constituée par les acteurs publics - et singulièrement les acteurs régionaux - impliqués dans la recherche d'une compétitivité industrielle à travers la maîtrise technologique. L'importance de cette dimension régionale a été exprimée, en particulier par quatre réunions de présentations dans les régions Rhône-Alpes, Nord - Pas-de-Calais, Centre et Alsace. Enfin, davantage que dans les exercices précédents, on a abordé les technologies clés sous l'aspect de leur importance pour l'économie française, au-delà de la seule dimension industrielle. On ne peut en effet ignorer que les technologies ont un rôle significatif dans le secteur des services qui représente 70 % du PIB.

Le démarrage de l'étude 2010 a coïncidé avec le lancement de l'appel d'offres gouvernemental pour les pôles de compétitivité régionaux qui a conduit à la labellisation, en juillet 2005, de 66 pôles de compétitivité. L'articulation de l'étude avec cette démarche qui structure le soutien public à l'innovation a reçu une attention particulière. Le rapport précise, pour chacune des technologies retenues, sa relation aux pôles de compétitivité. On observera que la plupart des technologies retenues sont associées à un ou plusieurs pôles, mais que huit d'entre elles sont orphelines. Leur ancrage territorial devra, dans l'avenir, faire l'objet d'une attention particulière.

La transformation rapide du contexte international dans lequel évolue l'industrie française - les effets de la mondialisation de l'économie et de la montée en puissance de la dimension européenne - marque nécessairement toute réflexion sur le développement de l'industrie française et plus généralement de l'économie. La présence de la dimension européenne s'est d'ailleurs traduite concrètement par la présence active, au sein du comité de pilotage, d'un représentant de la Commission européenne. Dans le choix des technologies labellisées, cette prise en compte du contexte international implique non seulement une appréciation de leur importance intrinsèque, mais aussi un jugement sur les atouts dont dispose la France dans chaque cas particulier. En d'autres termes, la procédure de choix confronte d'une part des critères technologiques et d'autre part des critères économiques et stratégiques qu'il convient d'apprécier dans le contexte international.

L'étude dont ce rapport rassemble les résultats n'est nullement un effort isolé. Avec une méthodologie différente, l'étude FutuRis, engagée un an plus tôt et conduite dans le cadre de l'Association nationale de la recherche technique (ANRT), poursuit le même objectif de dynamisation du système français de recherche et d'innovation.

Par ailleurs, la Commission européenne conduit, dans ce domaine, ses propres réflexions. Sur un sujet d'une telle importance, une redondance de la réflexion est en soi souhaitable, mais pour en tirer tout le bénéfice, il est nécessaire que les résultats en soient confrontés, les convergences et les divergences analysées. Il serait particulièrement important de rapprocher l'éclairage national que fournit le présent rapport de la vision européenne élaborée par la Commission. C'est là un prolongement naturel et une forme d'exploitation de l'étude qui s'achève.

Comment caractériser les tendances qui se dégagent de l'étude 2010 ? La sélection de 83 technologies, parmi les quelque 250 qui ont été examinées, se fonde sur le travail d'une centaine d'experts et sur une méthodologie qui est explicitée dans le corps du rapport. On ne saurait prétendre que la sélection présentée a la nature d'une vérité absolue, mais on peut affirmer qu'elle constitue un résultat robuste. On y discerne, et c'est une tendance qui ne peut que s'accuser dans l'avenir, une montée en puissance des technologies qui ont pour objet de réduire les externalités négatives ou, le cas échéant, de les monétariser. C'est l'effet d'une sensibilité accrue aux atteintes à l'environnement, qu'il soit global ou local, et à la rareté croissante de certaines ressources. Le poids des enjeux environnementaux tend à privilégier, dans le processus de sélection, les technologies « économes » par rapport aux technologies de rupture.

8

Par ailleurs, on a souvent choisi de désigner comme clés, plutôt que des technologies trop spécifiques, des systèmes qui reposent sur plusieurs briques technologiques plus étroites. Cela résulte de la prise en compte de critères économiques dans les choix et du fait que le maintien de la compétitivité des pays développés, et singulièrement de la France, repose sur la maîtrise des systèmes complexes davantage que sur celle de composants technologiques très spécifiques. Il en est résulté que la liste des technologies clés 2010 est, avec 83 éléments, plus restreinte que celle établie en 1995 pour 2000 (136 technologies) et en 2000 pour 2005 (119 technologies). Cela explique également que la plupart des technologies clés sont liées à plusieurs pôles de compétitivités qui détiennent les briques technologiques pertinentes. Enfin, le faible pourcentage de technologies de rupture tient à ce que, contrairement à l'étude FutuRis qui est plus centrée sur la recherche, l'étude Technologies clés 2010 s'intéresse prioritairement à ce qui sort des laboratoires pour être industrialisé dans les prochaines années.

Il ne me semble pas déplacé d'examiner les voies de l'avenir d'une étude qui elle-même est tournée vers le futur. On peut aborder de deux façons cette démarche d'autoprospective et se demander :

- Quelles utilisations peut-on faire des résultats de l'étude ?
- Quel regard rétrospectif et critique peut-on porter sur la démarche et quelles conclusions peut-on en tirer pour la suite de l'effort engagé par le ministère chargé de l'Industrie ?

Sur le premier point, il faut reconnaître que la valeur de la démarche n'est pas tout entière contenue dans la sélection des technologies les plus prometteuses et qu'elle ne saurait être tout entière enfermée dans un rapport de synthèse. L'information contenue dans ce rapport

ne représente qu'une faible fraction de celle qui a été rassemblée pour le préparer et qui était accessible pour les participants à l'étude - experts et membres du comité de pilotage - sur le site Internet créé à cette occasion.

C'est ainsi que les informations relatives aux technologies qui ont été écartées par le processus de sélection sont absentes du rapport. Au total, il a fallu rassembler et organiser une grande masse de données et de réflexions dont il me semble essentiel d'examiner comment elle pourra être complètement valorisée. En 1995, la direction générale des stratégies industrielles avait conduit une étude analogue qui avait donné lieu non seulement à un rapport de synthèse, mais à un gros livre intitulé *Annuaire des technologies clés*. Je souhaite qu'une démarche analogue vienne prolonger l'étude en cours ; mais, depuis cette époque, les techniques informationnelles ont évolué ; le livre n'est plus, aujourd'hui, le seul moyen de donner accès à l'information rassemblée par l'étude. Le site Internet établi pour sa conduite, et qui a servi de lien entre les nombreux acteurs impliqués, serait facile à transformer en un outil permanent de communication avec l'ensemble des acteurs du tissu technico-économique.

Un des avantages de ce mode de communication est sa grande facilité d'accès dont bénéficierait tout particulièrement la cible importante que constituent les PME. Cet acteur majeur de l'innovation est peu muni, en termes de temps et de moyens humains disponibles, pour rechercher les informations qui pourraient lui être utiles. Toute démarche de nature à lui faciliter leur accès doit donc être favorisée. La création d'un site Internet permanent, accessible par le portail du ministère chargé de l'Industrie irait certainement dans ce sens et, plus généralement, permettrait de juxtaposer, à l'effort investi pour constituer un gisement d'information au niveau central, un effort complémentaire pour promouvoir sa diffusion dans le tissu économique et industriel.

L'existence d'un site Internet poserait immédiatement la question d'un mécanisme de mise à jour, ce qui nous conduit à la question de la continuité. Je pense qu'il faut s'interroger sur le point de savoir si l'effort entrepris doit s'arrêter complètement à l'issue de l'étude telle qu'elle est définie, pour être repris dans cinq ou dix ans, ou s'il ne serait pas mieux adapté au suivi de l'évolution technique de maintenir un niveau d'activité modeste mais permanent, appuyé sur un réseau réduit d'experts. Si l'outil de communication choisi est le site Internet qui, à la différence du livre, non seulement se prête aisément à des mises à jour mais exige qu'elles soient faites, une convergence entre les deux propositions que je viens de formuler sera aisée à établir.

Cette question de la pérennisation de l'effort d'étude a été évoquée au cours des réunions du comité de pilotage et lors de la réunion de l'ensemble des experts qui s'est tenue à Bercy le 3 octobre 2005. Il resterait naturellement à en arrêter le niveau et à en préciser le contenu : constitution d'un noyau dur d'experts, animation du site Internet, événements de communication, déclinaisons régionales en liaison avec les Drire. Sans chercher, à ce stade, à aller plus loin dans la définition précise de la démarche, disons qu'elle devrait s'inspirer, dans sa continuité, du dynamisme permanent de l'évolution technique, qui jamais ne s'arrête.

André Lebeau

Président du comité de pilotage

Introduction

Alors que les pays développés sont confrontés à de nouveaux défis (mondialisation, délocalisations, tensions sur les cours de certaines matières premières, émergence de nouvelles puissances économiques...), un axe stratégique ne fait plus débat aujourd'hui pour ces économies : l'impérieuse nécessité de l'innovation. Cette prise de conscience a conduit à la mise en œuvre de plusieurs initiatives, notamment au niveau européen : formulation des « objectifs de Lisbonne », renforcement du Programme cadre de recherche et développement...

En France, un nouveau dispositif public s'est progressivement mis en place depuis 2004 : l'enjeu étant d'améliorer le système français de recherche et d'innovation (SFRI). L'évolution des aides à l'innovation (statut de jeune entreprise innovante, amélioration du crédit d'impôt recherche,...), la mise en place de l'ANR (Agence nationale de la recherche) et de l'All (Agence de l'innovation industrielle), le lancement du Pacte pour la recherche sont quelques-unes des mesures phares récentes.

L'exercice de prospective du ministère chargé de l'Industrie sur les technologies clés participa à ce dispositif. Il constitue un outil pour la définition de priorités technologiques et à ce titre est l'un des éléments importants de la politique française en faveur de l'innovation.

11

L'exercice technologies clés : un exercice collectif de prospective technologique qui constitue l'un des quatre grands volets de la politique d'innovation

La politique d'innovation mise en œuvre par le gouvernement s'appuie sur quatre grands volets qui sont l'accompagnement financier global des entreprises qui innovent, le soutien aux projets de R&D, le renforcement des liens entre la recherche publique et les entreprises et la prospective technologique.

L'accompagnement financier global des entreprises qui innovent

Deux grands types de mesures ont été mises en place :

- **des mesures de soutien aux investisseurs** dans des entreprises innovantes :
 - **la société unipersonnelle d'investissement à risque (SUIR)**. Adoptée en 2003 et améliorée en 2005, cette mesure a pour objectif d'offrir un cadre juridique adapté aux *business angels* ou investisseurs providentiels plus simple que la société par action simplifiée (SAS) ou la société de capital risque (SCR). Elle vise également à développer cette catégorie d'investisseurs qui est proportionnellement dix à vingt fois moins représentée en France que dans les pays anglo-saxons et qui est au cœur de la problématique des entreprises de taille moyenne.

La SUIR permet aux investisseurs d'apporter leurs capitaux et leur expérience aux jeunes entreprises et de bénéficier d'une exonération d'impôt sur les sociétés pendant dix ans, et d'impôt sur le revenu en tant qu'associé unique pendant la même durée ;

– **les fonds communs de placement à risque (FCPR) et les fonds communs de placement innovants (FCPI)** sont également des véhicules utilisés par les investisseurs, qui bénéficient d'une fiscalité favorable ;

• **des mesures de financement pour les entreprises**, autour de deux dispositions essentielles :

– l'aide aux projets des **jeunes entreprises innovantes (JEI)**, pour les PME de moins de huit ans, indépendantes d'un groupe et consacrant plus de 15 % de leurs charges à la recherche et au développement. Il s'agit d'une exonération des taxes locales (si elle est votée par les collectivités concernées) et d'une exonération des cotisations sociales patronales pour les salariés et mandataires sociaux participant à la recherche, ainsi que d'allègements d'impôt sur les bénéfices. Sur deux ans (2004-2005), cette mesure a concerné au total déjà environ 1 300 entreprises ;

– **le crédit impôt recherche** est une incitation fiscale au développement de la recherche scientifique et technique des entreprises. Le crédit d'impôt recherche consiste en une réduction d'impôt sur les sociétés. Fortement amélioré dans la loi de finances 2006, il est égal à la somme d'une part en volume de 10 % des dépenses de recherche et développement engagées sur une année et d'une part en accroissement de 40 % de la différence entre les dépenses de recherche d'une année minorée de la moyenne des dépenses des deux années précédentes. Il est plafonné à 10 M par entreprise et par an et tient compte pour partie des dépenses de recherche sous-traitée.

Le soutien ciblé aux projets de R&D

Depuis le début de l'année 2005, le gouvernement a procédé à une mise à plat de son dispositif de soutien à la R&D des entreprises. À côté des acteurs existants, de nouveaux organismes sont apparus pour aider spécifiquement le développement des projets stratégiques de R&D.

Ces organismes ont des vocations différentes, selon la taille des projets, leur nature et le type de coopération avec le secteur public. Le tableau ci-après propose une représentation synthétique de l'architecture d'ensemble des différents dispositifs.

Recherche			Recherche		
Projets coopératifs laboratoires publics - entreprises privées	All : Agence pour l'innovation industrielle	> 10 M€, principalement en avances remboursables	Projets académiques	ANR : Agence nationale pour la recherche	Subventions d'ampleur variable
	FCE : Fonds de compétitivité des entreprises, dans le cadre des pôles de compétitivité ou des clusters Eurêka	de 1 M€ à 10 M€, en subventions			
Projets individuels d'entreprise < 2000 personnes	Oséo-Anvar	En moyenne 75 k€ en avances remboursables	Projets coopératifs	ANR : Agence nationale pour la recherche RRIT (réseaux de recherche et d'innovation technologique)	Subventions en moyenne de 0,5 à 1 M€





Oséo-Anvar participe à la mobilisation des financements nécessaires à la croissance des PME, notamment à travers le soutien à des projets individuels d'innovation incrémentale.

L'Agence nationale de la recherche (ANR) est notamment chargée de soutenir le développement de la recherche fondamentale et de la recherche appliquée « amont », ainsi que le partenariat entre le secteur public et le secteur privé et de contribuer au transfert technologique des résultats de la recherche publique vers le monde économique. Elle procède par appels à projets et évaluation par des experts.

Le Fonds de compétitivité des entreprises (FCE), géré par le ministère chargé de l'Industrie, intervient en faveur des projets de R&D structurants s'inscrivant dans le cadre des pôles de compétitivité labellisés en juillet 2005 par le gouvernement et dans les clusters Eurêka. Il est l'outil majeur d'appui aux projets des pôles de compétitivité, à côté des exonérations fiscales et de charges sociales qui ont été par ailleurs prévues.

L'Agence de l'innovation industrielle (All) soutient, en cofinancement avec des entreprises, des grands programmes de R&D industrielle, visant à des débouchés de marché mais nécessitant un important développement de recherche et développement.

Les pôles de compétitivité visent à accroître la compétitivité de l'industrie en mettant en réseau les entreprises, les centres de recherche publics et privés et les organismes de formation autour de projets communs de R&D. Leurs projets de R&D bénéficient surtout du FCE mais sont susceptibles, selon leurs caractéristiques, de recevoir des fonds de différentes sources (Oséo-Anvar, ANR, All, collectivités locales impliquées dans les pôles, exonérations fiscales et sociales).

Le renforcement des liens entre la recherche publique et le monde de l'entreprise

La plupart des projets de R&D soutenus par les pouvoirs publics rassemblent des acteurs de la recherche et des acteurs du monde industriel. Le financement par le FCE des projets des pôles de compétitivité impose ainsi une condition de collaboration entre, au minimum, deux entreprises et un laboratoire public. Deux autres dispositifs particuliers sont emblématiques de cette volonté de faire travailler ensemble ces acteurs :

- **les réseaux de recherche et d'innovation technologiques (RRIT)** ont pour but de favoriser le couplage entre la recherche publique et les entreprises, sur des domaines jugés prioritaires par le gouvernement, notamment dans les secteurs où l'effort conduit par les structures habituelles est jugé insuffisant. Ces réseaux rassemblent des industriels et des équipes issues de la recherche publique autour de projets de R&D sélectionnés suite à un appel à projets. Ces projets sont financés par l'ANR. Parmi ces réseaux, on trouve :

- PREDIT (transports terrestres),
- PAN H (hydrogène et pile à combustible),
- Écotecnologies,
- RNRT (télécommunications),
- RNTL (logiciels),
- RIAM (multimédia)
- Nanosciences et nanotechnologies,
- Matériaux et procédés,
- RIB (biotechnologies),
- RNTS (technologies pour la santé) ;

- **les labels « Instituts Carnot »** : il s'agit d'un nouveau dispositif créé dans le cadre du pacte pour la recherche qui vise à donner plus de visibilité et de ressources aux organismes publics (laboratoires ou instituts) ou parapublics reconnus pour mener efficacement des activités de recherche partenariales, c'est-à-dire effectuées en relation avec les acteurs économiques.

Cette labellisation sera subordonnée à la capacité des candidats à satisfaire une charte reposant sur les critères suivants : compétences technologiques, liens avec la recherche académique, capacité à conduire des projets complexes en respectant des délais d'exécution, et partenariats déjà établis avec le secteur socio-économique. L'abondement financier de l'État sera calculé en fonction du volume et de l'accroissement des contrats conclus avec les partenaires.

La prospective technologique

Les pouvoirs publics utilisent la prospective pour aider à la définition de priorités.

Ainsi, l'ex-Commissariat général du plan, devenu le Centre d'analyse stratégique, mais aussi la Datar, devenu la Diact, ont publié ces dernières années de nombreux rapports prospectifs sur des sujets aussi divers que : « Étudiants et chercheurs à l'horizon 2020 : enjeux de la mobilité internationale et de l'attractivité de la France » (CGP, 2005) ou « La gestion des risques à l'horizon 2020 » (Datar, 2004).

Pour les besoins de la Défense, la Délégation générale pour l'armement (DGA), la Délégation aux affaires stratégiques (DAS) et les états-majors conduisent également des travaux de prospective géostratégique et géopolitique, comportant des dimensions économiques, industrielles et technologiques. Le Plan prospectif à trente ans (PP30) intègre une grande partie de ces réflexions.

De 2003 à 2005, l'Agence nationale de la recherche technique (ANRT) a engagé une réflexion approfondie sur le système français de recherche et d'innovation (SFRI) qu'elle a intitulé « FutuRIS ». Cette opération a réfléchi aux évolutions possibles du SFRI. Les travaux des divers groupes d'experts se sont traduits par des propositions de réformes de ce système¹. L'exercice « Technologies clés », piloté par le ministère chargé de l'Industrie, se veut avant tout un exercice de prospective ciblé sur la technologie. Ce type d'approche se retrouve également dans les « feuilles de route » élaborées par les réseaux de recherche et d'innovation technologique (RRIT), mais de manière plus ciblée.

Ces différents exercices de prospective permettent de nourrir la réflexion des acteurs publics. Dans un monde en profonde mutation, ils sont devenus indispensables.

Technologies clés et les autres études de prospective technologique

Dans le monde actuel, qui se transforme sans cesse et de plus en plus rapidement, la technologie joue un rôle grandissant. La compétitivité des entreprises et le bien-être des individus sont devenus dépendants de la technologie et de l'innovation. Face à la montée des coûts de recherche et développement et aux contraintes en matière de dépenses publiques, aucun gouvernement - même dans les pays les plus riches - n'a les moyens de tout développer dans le domaine de la science et de la technologie. Il est indispensable de faire des choix. La prospective technologique est un « outil » qui doit aider à élaborer et formuler ces choix.

La définition que l'on peut donner de la prospective technologique est la suivante² :

« Effort systématique tendant à examiner l'avenir à long terme de la science et de la techno-

(1) Les documents produits sont disponibles à l'adresse : <http://www.anrt.asso.fr/index.jsp> ; à la rubrique FutuRIS/Questions majeures.

(2) Cette définition est celle donnée dans « Numéro spécial sur les enquêtes gouvernementales sur la prospective technologique », *STI Revue*, n° 17, OCDE, 1996, p. 19.





logie, de l'économie et de la société en vue de faire ressortir les technologies génériques naissantes de nature à procurer le plus d'avantages économiques et/ou sociaux. »

Depuis le début des années 90, ce besoin d'éclairage sur l'avenir technologique s'est imposé peu à peu aux autorités publiques nationales de nombreux pays à travers le monde. Ainsi, des exercices nationaux de prospective technologique ont été menés par la plupart des grands pays industriels : États-Unis, Japon, Allemagne, Royaume-Uni, Italie, Espagne, etc.

Cette montée en puissance du nombre d'exercices nationaux de prospective technologique s'est accompagnée d'une diversité croissante des caractéristiques de chacun d'entre eux, qui porte à la fois sur les objectifs et sur les méthodes mises en œuvre pour les atteindre.

Il est possible de distinguer deux grandes familles de travaux : celle correspondant à la vision « traditionnelle » de la prospective, qui privilégie les résultats, et celle, d'apparition plus récente, qui met en avant le processus de réflexion et d'analyse. Cette dichotomie entre ces différentes approches a l'avantage de bien mettre en avant l'importance que l'on doit accorder à l'objectif que l'on se donne au moment de définir l'exercice de prospective. En effet, de cet objectif découle une méthodologie et, au final, un résultat. Aussi, chaque famille d'exercices, répondant à une préoccupation différente, ne peut apporter de réponses à des questions qui lui sont étrangères par principe. En ce sens, le résultat est le produit de la méthodologie choisie.

Ces exercices ont généralement pour cadre les frontières nationales. À l'expérience, il apparaît nécessaire d'avoir une approche qui permette d'alimenter une réflexion aux différents niveaux, régional, national et européen.

Les exercices mettant en avant l'élaboration de priorités technologiques

Les premiers exercices de prospective technologique se sont inscrits dans une vision traditionnelle d'aide à la décision. Un certain nombre des exercices de prospective technologique des années 90 (USA 1995 et 1998, France 1995 et 2000, Italie 1996, Pays-Bas 1998, Espagne 2000, Portugal 2000, Chine 2003) ont eu la même approche : il s'agissait d'élaborer des priorités technologiques afin d'aider les décideurs publics, notamment mais pas uniquement, dans le choix des mesures à mettre en œuvre pour favoriser le développement technologique.

La principale méthode utilisée dans ce type d'exercice est celle dite des « technologies clés » (ou des « technologies critiques » pour les Américains). Cette méthode consiste en la sélection de technologies prioritaires, retenues le plus souvent après que des experts ont évalué de longues listes de technologies sur la base de différents critères.

La caractéristique commune de ce premier type d'exercice est, d'une part, d'avoir pour objectif de produire un rapport sélectionnant des technologies, d'autre part, de formuler, plus ou moins explicitement, des recommandations pour l'action publique. Les résultats du travail de réflexion et d'analyse sont privilégiés par rapport au processus lui-même.

Cette famille d'exercices a l'avantage de proposer aux décideurs, publics comme privés d'ailleurs, une représentation du devenir technologique telle que l'imagine un certain nombre d'experts. De cette vision technologique il est possible de tirer des lignes d'actions concrètes.

A contrario, ce type d'exercice s'appuie sur des panels d'experts, restreints par construction, ce qui ne permet pas, à la fois, un large partage du processus prospectif et une véritable légitimité du résultat qui reste celui du groupe d'experts : l'efficacité est privilégiée au détriment de la diversité des points de vue.

L'étude *Technologies clés 2010* s'inscrit dans ce type d'exercice. Elle vise à proposer des possibilités de priorités technologiques aux différentes collectivités publiques françaises.

Les exercices mettant en avant le processus : la recherche d'une vision partagée

Au milieu des années 90, une nouvelle approche de la prospective est apparue : ce qui est important ce n'est plus tant les résultats de l'exercice que l'exercice lui-même. C'est ainsi que certains exercices (Irlande 1998, Australie 1997 et 2001, Nouvelle-Zélande 1998, Allemagne 1998 et 2001, Canada 2003, Royaume-Uni 1995 et 2000 et Suède 2000 et 2002) ont placé au cœur de leurs préoccupations l'élaboration d'une vision commune des futurs technologiques possibles, partagée par le plus grand nombre d'acteurs. L'idée clé de ces exercices est que le processus d'élaboration force l'ensemble des acteurs, parties prenantes de l'exercice, à converger progressivement vers cette vision, favorisant ainsi le passage ultérieur à l'action. Cette approche est souvent présentée sous le vocable de « Foresight », en référence aux exercices initiés au Royaume-Uni (1995, 2000).

Ces exercices se caractérisent par un processus participatif, au cours duquel on cherche à mobiliser non seulement des experts technologues sectoriels mais également les différents types de groupes d'intérêts existants au niveau national, voire régional.

La caractéristique commune à cette seconde famille de travaux est de privilégier la mobilisation des acteurs, voire la création de réseaux, aux fins d'élaboration d'une vision partagée du futur qui peut être ensuite déclinée sectoriellement.

La recherche d'une vision partagée oblige à une mobilisation large, cohérente avec les objectifs d'élaboration. Un tel processus rend moins efficace, voire moins pertinente la production de résultats « facilement » utilisables. Par contre, ce type d'exercice a le mérite d'associer le plus grand nombre à un travail de réflexion sur le devenir technologique. Des échanges peuvent naître des partenariats et des collaborations, de plus, à tous les niveaux, une culture prospective peut se développer et s'entretenir.

« FutuRIS », piloté par l'ANRT, s'inscrit plutôt dans ce type d'approche.

16

Le cadre géographique d'une prospective technologique

Quel que soit le type d'exercice choisi, dans la quasi-totalité des cas, le territoire concerné par la réflexion prospective est le territoire national. Il est évident que ce cadre d'analyse a sa pertinence et sa légitimité. Toutefois, deux niveaux d'analyse ne manquent pas de s'imposer et s'avèrent essentiels en terme de prospective technologique : le niveau régional et le niveau européen.

L'enjeu régional

L'importance économique et institutionnelle prise par les régions, les réflexions sur la localisation des activités industrielles, sur l'attractivité des territoires font que toute analyse en terme de prospective technologique doit se « décliner » au moins à ce niveau. On peut imaginer deux possibilités pour cette déclinaison :

- chaque région fait sa propre étude de prospective technologique, à partir de ses potentiels scientifiques et technologiques, de son tissu industriel, etc. L'avantage d'une telle démarche est l'appropriation « naturelle » de l'exercice par ceux qui l'ont fait. Le risque est d'avoir une vision prospective régionale s'appuyant essentiellement sur l'état actuel des « forces » de la région, ce qui peut conduire à une vision « conservatrice » et « défensive » de technologies obsolètes à moyen terme ;
- chaque région utilise les résultats d'une étude nationale pour construire sa réflexion prospective, prenant en compte ses forces et ses faiblesses, les synergies possibles avec les régions voisines, etc. L'avantage d'un tel processus réside dans l'existence d'un cadre de référence commun. Le risque, ici, est de ne pas trouver de relais régionaux susceptibles de





s'approprier l'exercice national, soit par une absence de volonté, soit par une sorte de sentiment de défiance vis-à-vis d'un travail venant du niveau central.

Technologies clés 2010 relève, en terme d'utilisation régionale, de la seconde approche. Les technologies identifiées sont, en effet, considérées comme les plus importantes pour le site France.

La dimension régionale suppose que l'on prenne en compte les forces et les faiblesses des potentiels régionaux. Seul un travail spécifique à chaque territoire peut le faire. Les collectivités régionales avec l'appui des DIRE, en collaboration avec les autres services de l'État en région, peuvent utiliser les résultats de cet exercice pour mener une réflexion stratégique sur les atouts et faiblesses, opportunités et menaces des territoires, leur diversification et leurs perspectives de développement.

L'enjeu européen

Si la région est un cadre de réflexion prospective pertinent, le niveau européen l'est tout autant, notamment dans la définition des priorités technologiques des futurs PCRD. En 2005, la Commission a lancé un exercice comparable à *Technologies clés*, appelé *Key Technologies for Europe*. Durant six mois, un groupe d'experts a travaillé sur les technologies clés cruciales pour l'Europe à l'horizon 2015-2020. Les rapports préparés par ces experts ont été présentés et discutés les 19 et 20 septembre 2005³.

À la différence des exercices français, ces rapports ont été rédigés par un expert et ne sont pas le produit d'une réflexion collective de plusieurs experts de domaines différents mais connexes. Ils sont, néanmoins, intéressants en tant que document de réflexion pour qui souhaite poursuivre une analyse de prospective technologique.

Il apparaît qu'une réflexion plus approfondie sur l'identification des priorités technologiques européenne est nécessaire. *Technologies clés 2010* et *Key Technologies for Europe* sont des éléments utiles à la réflexion.

Les objectifs de l'étude Technologies clés 2010

Technologies clés 2010 vise à être un « outil » d'aide à la réflexion pour les autorités publiques, principalement les acteurs territoriaux du développement économique et les relais d'accompagnement. Il s'agit de donner des repères et des clés d'arbitrage permettant, notamment, une optimisation des investissements publics.

L'étude a cherché à répondre à deux questions essentielles :

- quelles sont les technologies qui assureront un avantage de compétitivité et d'attractivité à la France dans le monde à l'horizon 2010-2015 ?
- quelles orientations technologiques doivent prendre les acteurs publics pour répondre à ces impératifs ?

(3) Les rapports sont disponibles à l'adresse suivante : http://www.cordis.lu/foresight/kte_expert_group_2005.htm

Méthodologie

La réalisation de l'étude

La démarche prospective mise en œuvre tout au long de l'étude Technologies clés 2010 s'est attachée à intégrer les enjeux socio-économiques dans une finalité technologique. Elle a visé à identifier les technologies ayant un impact positif sur les activités industrielles et de services réalisées en France.

La conduite de l'étude

Suite à un appel d'offres de la direction générale des Entreprises (DGE), la réalisation de l'étude a été confiée à un consortium de cinq sociétés conduit par le cabinet de conseil en innovation Erdyn. Le consortium était constitué des sociétés Futuribles, Cybion, Virtuoz et Biotics. L'équipe projet était placée sous la direction de Patrick Haouat, PDG d'Erdyn.

L'étude a été orientée et pilotée par un comité (composition en annexe) présidé par André Lebeau, ancien président du CNES et de Météo France. Philippe Bourgeois, du bureau des politiques d'innovation et de la technologie de la DGE, a apporté soutien et appui tout au long de l'étude.

Plus d'une centaine d'experts de l'industrie (dont des PME), de la recherche publique et des relais locaux d'accompagnement ont été, par ailleurs, mobilisés pour apporter une contribution à la réflexion prospective.

Le déroulement de l'étude

L'étude s'est déroulée sur douze mois, en trois phases, à partir de novembre 2004.

Phase 1 : préparation et grandes orientations (trois mois)

Cette première phase a permis de délimiter finement le cadre de l'étude, de concevoir et développer les outils et les méthodes mis en œuvre par la suite. Durant cette phase, les actions suivantes ont été conduites :

- une série d'entretiens avec les responsables sectoriels de la DGE a permis de construire un premier panorama de l'industrie française, tous secteurs d'activité confondus, et d'identifier les enjeux et les thématiques prioritaires ;
- les informations recueillies lors de ces entretiens ont été complétées grâce à un travail d'analyse documentaire. Les documents recueillis ont été indexés et archivés sur le site Internet dédié à l'étude. On trouvera en annexe une sélection des références bibliographiques les plus utiles ;
- en complément de cette approche technico-économique, les grands enjeux socio-économiques - à l'échelle mondiale, européenne et française - ont été analysés. Le document de synthèse correspondant est intégré dans le présent rapport ;
- basé sur des sollicitations directes (méls, courriers) et une opération de communication

dans la presse, un large appel à candidatures a été lancé, afin de « recruter » la centaine d'experts amenés à contribuer à l'étude. Ces experts ont été répartis dans huit groupes de travail ;

- le site Internet de l'étude a été mis en ligne à l'adresse www.tc-2010.fr. Doté d'une partie privée et d'une partie publique, le site a permis à chacun (même hors de la liste des experts) de proposer des technologies susceptibles d'être clés.

Durant cette phase, les travaux de l'équipe projet ont été suivis et validés par un groupe de travail spécifique, dit « groupe méthode ».

Phase 2 : travaux de groupes d'experts (cinq mois)

L'animation de groupes d'experts a été au cœur de l'étude. Un découpage, orienté besoins et applications plutôt que technologies, a été retenu pour huit groupes au total qui se sont réunis chacun quatre fois.

1 - Services de base : production et distribution énergétiques, fourniture et traitement de l'eau, recyclage, construction et services immobiliers, équipements domestiques, meubles ;

2 - Besoins quotidiens : agriculture, industrie agroalimentaire, pharmacie, produits de toilette et détergents, textile et habillement ;

3 - Se déplacer : équipements de transport, services de transport, services à l'automobile, hôtellerie-restauration et agences de voyage ;

4 - Communiquer : équipements informatiques et de bureau, équipements de radio, télévision et communication, médias et services de communication et d'information, publicité et marketing, édition ;

5 - Semi-produits : exploitation minière hors énergie, matériaux de base (métal, papier, bois et minéraux), plastiques et chimie (hors pharmacie), métaux et produits métalliques ;

6 - Équipements, process et méthodes de production : instrumentation, machines et équipements industriels, machines et équipements électriques, méthodes d'amélioration de la productivité ;

7 - Fonctions support : banque-assurance, R&D et conseil, activités d'ingénierie et d'architecture, services de sécurité, services de recrutement et de travail temporaire, services légaux, de comptabilité et de management, commerce de gros et de détail, services divers ;

8 - Outil d'aide à la réflexion : groupe transversal aux activités économiques et aux technologies, constitué d'acteurs régionaux et consulaires du développement économique.

Les sept premiers groupes ont débattu de « monographies sectorielles » rédigées par Futuribles. Ces documents ont été progressivement enrichis des contributions des experts.

Les points suivants ont été traités lors des réunions des groupes :

- Réunion 1 : des enjeux aux activités économiques
 - présentation de la démarche générale de l'étude ;
 - cadrage socio-économique : débat, appropriation par le groupe ;
 - présentation des monographies sectorielles : débat.
- Réunion 2 : des activités clés aux besoins en technologies
 - activités clés pour la France et ses régions : quels critères permettent de qualifier une activité de « clé » ?
 - identification des technologies qui sous-tendent ces activités ;
 - élaboration d'une première liste de technologies « candidates ».
- Réunion 3 : des technologies candidates aux technologies clés
 - technologies candidates : ajustement de la première liste ;
 - élaboration des critères pour qualifier une technologie de « clé » ;
 - élaboration d'une première liste de technologies clés.
- Réunion 4 : technologies clés et régions
 - affinage de la première liste de technologies clés ;

- hiérarchisation des technologies clés, verrous, freins ;
- intégration de la dimension territoriale.

Phase 3 : rédaction et validation du livrable - finalisation de l'étude (quatre mois)

À l'issue des réunions des groupes d'experts, les listes des technologies clés proposées par chacun des sept groupes ont fait l'objet d'une mise en cohérence par l'équipe projet. C'est ainsi que 83 technologies clés ont été retenues, et les fiches correspondantes ont été renseignées, puis soumises aux spécialistes sectoriels de la direction générale des Entreprises (DGE) et de la direction générale de l'Énergie et des Matières premières (DGEMP), ainsi qu'aux membres du comité de pilotage, pour validation.

Des versions synthétiques des monographies sectorielles ont également été rédigées pour être intégrées au présent rapport.

La concertation avec les acteurs du développement technologique s'est poursuivie pendant cette dernière phase :

- une réunion plénière, rassemblant l'ensemble des experts, a eu lieu au ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie ;
- quatre rencontres ont été organisées en région (Rhône-Alpes, Nord - Pas-de-Calais, Centre, Alsace).

Le cadre géographique et temporel de l'étude

Pour rester en cohérence avec les études précédentes, **l'horizon temporel** a été fixé à 2010. C'est un horizon très proche pour un exercice de prospective, et les résultats de l'étude s'en ressentent, même si le long terme n'a pas été négligé. En effet :

- les technologies identifiées comme clés correspondent à des applications susceptibles d'être mises sur le marché à l'horizon 2010-2015 ;
- le cadre d'analyse a souvent dépassé cet horizon pour observer des tendances plus structurelles pouvant être largement postérieures à 2020.

Le champ géographique de l'étude comportait quant à lui une triple dimension :

- l'analyse a pris en compte la dimension internationale, et notamment européenne, ce qui a permis d'intégrer des critères de positionnement, de mobilité et de localisation d'activités. Les possibilités de coopération avec d'autres pays européens ont également été identifiées ;
- l'objectif visé revêt une envergure nationale. Le cadre de réalisation des orientations mises en avant dans l'étude est l'espace national qui est le cadre de référence dans lequel s'inscrit les technologies clés identifiées ;
- les régions ont été intégrées à l'analyse, en tant qu'acteurs du développement économique et futurs utilisateurs de l'étude. La dimension territoriale apparaît également à travers les pôles de compétitivité qui sont identifiés dans chaque fiche.

La caractérisation des technologies clés

La grille d'analyse de chaque technologie clé

Une technologie (ou un ensemble de technologies) a été considérée comme clé dès lors qu'elle permet d'agir structurellement sur la compétitivité et l'attractivité des activités en France. Le niveau de « granularité » auquel est descendu l'étude n'était pas précisé a priori. Le « poids » de chacune des technologies clés, en termes d'importance des marchés d'applications, est in fine relativement hétérogène : certaines technologies du domaine des matériaux représentent plusieurs points de PIB, alors que d'autres, plus spécifiques, « pèsent »

beaucoup moins, mais recèlent un fort potentiel de croissance et répondent à des enjeux sociétaux majeurs.

Les technologies finalement retenues comme clés sont donc aussi bien des technologies existantes présentant un fort potentiel d'évolution et d'impact que des technologies émergentes pouvant être introduites et déployées dans l'industrie dans les dix prochaines années. Chaque technologie clé est décrite dans une fiche dont les champs sont les suivants :

- **l'intitulé** synthétique de la technologie ;
- **la description** de la technologie, qui énonce les grands principes sur lesquels elle repose, donne des exemples de « briques technologiques » qui la composent, identifie les verrous éventuels, et précise le niveau de maturité de la technologie ;
- une zone de **commentaires**.

Chaque fiche renseigne également les critères suivants qui constituent la grille d'analyse des technologies :

Enjeux, Impact : il s'agit de préciser en quoi la technologie considérée permet de répondre à un certain nombre d'enjeux et quel est son impact prévisible :

- développement durable : modération de la ponction sur les ressources naturelles, réduction des rejets de gaz à effet de serre, polluants, déchets... ;
- enjeux sociaux : création ou maintien d'emplois, vieillissement de la population (accessibilité...) ;
- enjeux réglementaires ou normatifs : respect des directives européennes, établissement de standards alignés sur la technologie ;
- impact positif sur l'attractivité des territoires : les technologies appliquées aux infrastructures (transports, communications...) sont susceptibles d'être les plus concernées par ce critère ;
- impact sur la compétitivité du tissu des entreprises : conquête de nouvelles parts de marché, réduction des coûts, potentiel de diffusion dans les PME, réduction du « time to market »... ;
- autres impacts ;
- horizon temporel prévisible de l'impact.

Marché : il s'agit de préciser à quoi servira la technologie considérée :

- quelles sont les applications, les usages (intermédiaire, final) de la technologie considérée ;
- comment se caractérise(nt) le (ou les) marché(s) visé(s) (taille, dynamique, potentiel export pour les entreprises françaises) ? Pour ce critère, les limites de l'étude sont claires : il s'agit de donner (lorsque l'information est disponible) des repères qualitatifs ou quantitatifs, et non pas de décrire avec précision le champ concurrentiel pour chaque technologie.

Acteurs : il s'agit de caractériser « l'écosystème » dans lequel la technologie considérée pourra se développer :

- quelles disciplines scientifiques sous-tendent la technologie ?
- quelles compétences technologiques sont nécessaires ?
- quels pôles de compétitivité sont actifs sur la technologie ?
- avec quelles autres technologies clés la technologie considérée interagit-elle ?
- qui sont les principaux acteurs français et étrangers actifs sur la technologie : entreprises, laboratoires publics... ?

Les divers niveaux d'utilisation du document

Une première utilisation de l'étude permet une simple « navigation » à partir d'une information de départ choisie par l'utilisateur. Ainsi, à titre d'illustration, à partir des informations contenues dans les fiches descriptives :

- un laboratoire de recherche, sur la base d'une ou plusieurs disciplines scientifiques qui font

son excellence, peut accéder aux technologies clés liées, mais aussi aux pôles de compétitivité et aux acteurs industriels concernés ;

– une PME, ou un réseau de PME, positionnée sur un marché, donc sur un domaine d'application, identifiera les technologies clés qui impactent ce marché et les acteurs clés associés (industriels donneurs d'ordres, laboratoires).

Les régions, mais aussi les entreprises aux activités multiples gérées en « portefeuilles stratégiques », peuvent envisager une utilisation plus « avancée » de l'outil.

L'alignement du référentiel des 83 technologies clés sur des nomenclatures déjà utilisées par des organismes tels que l'Observatoire des sciences et des techniques (OST) apporte toute sa valeur à ce type d'utilisation. Ces nomenclatures, en termes de compétences scientifiques, de compétences technologiques, de secteurs d'activité, permettent des analyses variées dont on trouvera des exemples dans l'ouvrage *Régions et technologies clés : quelles stratégies ?*⁴.

À partir de ce type d'analyse, il est possible de définir et de mesurer la proximité d'une région avec une ou plusieurs technologies clés. Cet indicateur de proximité est un indicateur « composite » :

- une région sera d'autant plus « proche » d'une technologie clé qu'elle sera active ou spécialisée sur des disciplines scientifiques ou des compétences technologiques qui sous-tendent cette technologie clé ;
- cette proximité sera renforcée par la présence sur le territoire régional d'acteurs majeurs (entreprises, laboratoires) ou de pôles de compétitivité actifs dans une technologie clé.

En complément d'une analyse stratégique, qui peut se baser sur des méthodes de type AFOM (Atouts - Faiblesses - Opportunités - Menaces), cet indicateur de proximité propose des axes de réflexion.

Une application typique de ce type d'analyse est la nécessité, pour une région, de se positionner sur des technologies clés dont elle est proche, en réaction à des menaces qu'elle aura identifiées.

Précaution d'usage

Il est bien évident qu'une utilisation « mécanique » de ce type d'analyse risque de conduire à des erreurs d'interprétation, car la maille proposée pour les disciplines scientifiques ou les compétences technologiques est relativement grande. Plus adaptée à une étude au niveau national, cette maille doit être plus finement segmentée au niveau d'une région. Cet outil donne des repères et permet d'initier la réflexion. Il reste un outil et, en aucun cas, il ne se substitue à une analyse fine.

(4) Ce document est disponible à l'adresse suivante : <http://www.industrie.gouv.fr/biblioth/docu/regettech.htm>

Contexte

Afin d'éclairer le contexte, il convient de cerner les enjeux, tant mondiaux qu'européens et français, auxquels les innovations technologiques pourraient répondre ou contribuer à leur résolution, et ainsi trouver leur marché. Certes le sujet est vaste, mais en considérant que certains enjeux (réduction de la pauvreté, démocratie...) dépendent davantage de choix politiques (même si la technologie peut aussi contribuer à ces objectifs), nous avons choisi de restreindre le champ d'investigation aux sujets sur lesquels l'innovation technologique a un impact direct. Les enjeux suivants ont été identifiés et sont développés ci-après :

- au niveau mondial :
 - les problèmes de sécurité liés au contexte géopolitique ;
 - le changement climatique ;
 - la ressource en eau ;
 - les défis énergétiques (production et maîtrise de la consommation) ;
 - la disponibilité des matières premières ;
- au niveau européen et français :
 - le vieillissement démographique ;
 - l'emploi ;
 - la compétitivité économique.

Au niveau mondial

Le contexte géopolitique et la sécurité

Un monde de plus en plus instable

La disparition de l'Empire soviétique a entraîné toute une série de bouleversements majeurs dans l'appréhension des conditions de la sécurité internationale. Le monde est apparu comme potentiellement plus sûr, marqué par une moindre prégnance des confrontations internationales. Tout un discours s'est développé sur le « nouvel ordre mondial », la « fin de l'Histoire », et les budgets militaires des pays développés ont été réduits de manière drastique : les dépenses militaires mondiales ont ainsi baissé de près de 30 % entre 1990 et 2000. La baisse des budgets de défense fut en fin de période particulièrement forte dans les pays européens, ce qui ne fit qu'accroître la puissance militaire relative des États-Unis. Aujourd'hui, du point de vue militaire, les États-Unis sont la seule superpuissance mondiale.

Malgré cette puissance de coercition, le monde de 2005 ne paraît pas plus sûr et stable que celui d'avant la fin de la guerre froide, bien au contraire. Une étude du PIOOM (*Interdisciplinary Research Program on Causes of Human Rights Violation*) indique que, depuis 20 ans, le nombre de guerres internationales, comme l'invasion du Koweït par l'Irak en 1990, a diminué

au profit de conflits internes à des pays (génocide au Rwanda, les guerres yougoslaves, la Côte d'Ivoire, la Somalie, la Colombie, le Nigeria...). Si l'on compare les conflits en fonction du nombre de victimes par an, on constate que si le nombre de conflits de haute intensité (plus de 1 000 morts par an) a peu évolué de 1995 à 2000, celui des conflits politiques violents (moins de 100 morts par an) a augmenté de façon vertigineuse (de 40 à 178).

La pérennisation de l'asymétrie des conflits

Les États occidentaux ont accès à des moyens et des technologies leur assurant une supériorité militaire à peu près certaine. Face à cette réalité, les entités non étatiques ou les États hostiles ne peuvent qu'adopter des stratégies de contournement de la puissance. Pour ces « groupes armés non étatiques », qui sont aussi bien des milices, des guérillas plus ou moins dégénérantes, des démembrements de fonction régaliennes (du type de certains groupes d'autodéfense algériens ou colombiens), des groupes criminels transnationaux, des groupes terroristes ou même des sociétés privées de sécurité, des moyens forts sommaires, voire archaïques sont tout à fait à même de constituer des armes de destruction massive et de mettre en danger des armées occidentales modernes. Face à ce risque, la puissance militaire ne sait pas forcément qui et quoi frapper, comme l'ont déjà montré les ripostes américaines aux attentats contre les ambassades américaines au Kenya et en Tanzanie en 1998 ou la guerre contre Al Qaïda depuis.

On peut s'attendre à l'avenir à une poursuite d'une stratégie d'opposition de moyens archaïques aux très hautes technologies. Les menaces dites « NRBC », c'est-à-dire nucléaire, radiologique, bactériologique ou chimique, si elles sont considérées aujourd'hui comme encore très improbables, constituent des menaces d'événements à si fort impact que la maîtrise des technologies permettant de les contrer préventivement ou d'en atténuer les conséquences est un enjeu fort pour les sociétés potentiellement visées.

L'importance des technologies duales de sécurité

La défense a perdu son « cœur territorial » : ainsi, on ne défend plus la France à ses frontières. Cette tendance est renforcée en France par la construction européenne, qui affecte la définition de la notion de frontière (espace Schengen). Cette « dé-territorialisation » de la fonction de défense a deux conséquences :

- la défense et la sécurité intérieure se rapprochent ;
- les capacités de contrôle deviennent l'élément central de la puissance : l'essentiel est d'assurer la capacité de contrôle des flux (d'information, financiers, humains...). L'heure est donc au développement de senseurs, de moyens électroniques et informationnels de contrôle, en particulier des populations et des voyageurs, comme les moyens de biométrie.

On assiste également à un retour en grâce de la très ancienne mission de surveillance de ce que les militaires appellent les « approches » du territoire : l'espace aérien, les côtes, les zones de transit (ports et aéroports). De ce point de vue aussi, les technologies de capteurs et d'identification seront maîtresses. Dans un tel contexte, la maîtrise de technologies duales est un enjeu majeur. Le lien entre recherche militaire et innovation civile a toujours été l'objet de débats. Or, à l'ère des retombées du militaire sur le civil a succédé une période où le mouvement semblait avoir définitivement changé de sens, en raison des progrès fulgurants du secteur civil dans les technologies de l'information et de la communication. Mais aujourd'hui, l'heure est à l'intégration, comme l'illustre bien le cas des industries spatiales : militaire et civil sont liés, à la fois dans la recherche, dans la production et dans l'usage des technologies, la notion de sécurité dépassant le cadre de la défense traditionnelle. Il y a danger actuellement si rien n'est fait en France ou en Europe à voir les États-Unis imposer les standards et les outils qu'ils mettent au point au travers de leurs programmes *Homeland Security*.

Dans un environnement international marqué par la peur du terrorisme, les exigences de sécurité (dans un sens de plus en plus large) des infrastructures et des lieux publics vont devenir une part importante des spécifications et des cahiers des charges. L'impact économique direct d'une situation mondiale incertaine du point de vue de l'occurrence d'un événement terroriste de grande ampleur (la menace et la peur valant à cet égard pratiquement autant que la réalisation du risque) toucherait en priorité trois domaines : l'assurance, le risque terroriste étant difficilement assurable, les transports par un contrôle accru des marchandises comme des passagers, les dépenses privées de sécurité, déjà évaluées à 40 Md\$ US par an aux États-Unis en 1999 (selon certains, le marché mondial de la protection contre le terrorisme serait de 100 Md€).

L'impact n'est pas seulement économique car, pour que de nouvelles technologies permettant de préserver la sécurité (des données informatiques, des sites, des personnes...) soient acceptées par le marché, le challenge sera aussi qu'elles préservent en même temps l'espace privé pour éviter un syndrome de type *big brother*.

Les enjeux du changement climatique

L'effet de serre est nécessaire à l'équilibre climatique de la Terre et au maintien d'une température propice à la vie. Cependant, au début des années 1970, on a observé une augmentation notable de la concentration de certains gaz à effet de serre dans l'atmosphère et les prémices d'un réchauffement global. La réalité et l'origine, pour partie humaine, du phénomène ne font pratiquement plus débat, y compris parmi les détracteurs du protocole de Kyoto.

Les risques liés à l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre et l'élévation de la température terrestre

Tous les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, mis en avant par le groupe international d'experts sur le changement climatique (GIEC), prévoient une augmentation des concentrations de dioxyde de carbone, et une élévation de la température moyenne mondiale à la surface de la terre et une hausse du niveau de la mer au cours du XXI^e siècle. En 2004, l'Agence européenne de l'environnement (AEE) estimait qu'en Europe ces tendances se sont traduites par une augmentation moyenne des températures de 0,95°C depuis 1900, soit un réchauffement plus marqué que la moyenne mondiale. Si aucune mesure n'est prise, d'ici à 2100, l'AEE prévoit un réchauffement compris entre 2°C et 6,3°C. Quant au régime des pluies, il est de plus en plus contrasté entre le nord et le sud de l'Europe : dans le Sud, si, comme c'est probable, la tendance (- 1 % de précipitations tous les dix ans) se prolonge, l'impact pourrait être important sur l'agriculture et les ressources en eau.

Un certain nombre de phénomènes régulateurs du climat échappent encore à la compréhension des scientifiques. Aussi de nombreuses incertitudes pèsent sur les tendances lourdes identifiées ci-dessus au niveau de la quantification des phénomènes et/ou de leur échelle temporelle.

« Les changements climatiques prévus auront des effets bénéfiques et néfastes sur les systèmes environnementaux et socio-économiques, mais plus les changements et leur rythme seront grands, plus les effets néfastes prédomineront » indique le GIEC. Les risques sont inégalement répartis car les phénomènes climatiques ne se manifestent pas de manière uniforme ; d'autre part, l'impact économique et humain du changement climatique varie largement en fonction du niveau de développement et des ressources mobilisables pour l'adaptation. La hausse des températures pourrait favoriser le développement des maladies infectieuses, leur expansion vers les zones tempérées, et des épidémies mondiales. Par ailleurs, à l'horizon 2020, les vagues de chaleur estivale ou les événements climatiques extrêmes constituent un risque plus prégnant.

Les problèmes d'accès à l'eau potable sont également appelés à s'accroître d'ici à 2020. Le changement climatique peut amplifier le phénomène dans des régions comme l'Asie centrale, le Moyen-Orient, le pourtour méditerranéen et l'Australie. Dans les régions côtières, une salinisation accrue des estuaires et nappes phréatiques est envisageable. L'agriculture est la première activité susceptible d'être bouleversée par le changement climatique (sécheresse, parasites...). Une forte teneur de l'atmosphère en CO₂ favorise les rendements, mais ne compense pas les effets néfastes de la sécheresse.

Au-delà de 3° C de hausse, il y a un risque de baisse de la production, avec des inégalités en fonction des espèces et de la localisation, ce qui entraînerait une hausse des prix des produits alimentaires. Aux latitudes moyennes et élevées, on peut escompter des effets positifs sur l'agriculture en cas de réchauffement modéré. Sous les tropiques, les rendements devraient diminuer, même en cas de réchauffement modéré, car les cultures sont proches du seuil de tolérance thermique et les cultures pluviales prédominent. Cependant, la production agricole ne devrait pas être modifiée dans le cadre d'une augmentation de 2° C. Dans la mesure où on n'anticipe pas un réchauffement supérieur à 1,1° C d'ici à 2020, les approvisionnements ne devraient pas souffrir du changement climatique, en particulier aux latitudes moyennes si la fréquence et l'intensité des phénomènes climatiques extrêmes (sécheresses, pluies violentes) ne sont pas trop importantes.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)

La Convention climat (UNFCCC, 1992) et le protocole de Kyoto (1997) visent à réduire les émissions globales. Sachant que les États-Unis (qui représentent le quart des émissions mondiales) et l'Australie ont explicitement rejeté le Protocole, son entrée en vigueur n'a été possible en février 2005 que par la ratification de la Russie. Mais l'objectif de réduction des émissions du protocole de Kyoto est trop faible pour parvenir à stabiliser les émissions et il est limité dans le temps à dix ans. Un nouvel accord plus ambitieux, un « Kyoto II », serait nécessaire pour stabiliser les émissions de CO₂ et ralentir, à long terme, l'effet de serre.

Par ailleurs, si les États de l'Union européenne soutiennent le Protocole, ils ne parviennent généralement pas à remplir leurs engagements. Malgré les efforts et accords dans le sens d'une diminution, les émissions de gaz à effet de serre devraient continuer à croître. Selon le scénario de référence de l'OCDE, entre 1995 et 2020, les émissions du seul CO₂ devraient augmenter de 33 % dans l'OCDE et de près de 100 % dans les autres pays. Les évaluations du GIEC et de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) sont du même ordre de grandeur.

Les émissions de gaz à effet de serre procèdent de l'ensemble des activités humaines. Cependant, dans l'OCDE, le secteur de l'énergie au sens large (transport, production d'électricité, combustion industrielle et domestique) contribue pour environ 80 % aux émissions de gaz à effet de serre directes (CO₂, CH₄, N₂O) et indirectes (SO_x, NO_x, CO). La majeure partie de ces émissions est due à l'utilisation de combustibles fossiles. Les incertitudes relatives aux émissions relèvent donc en grande partie de l'évolution de la demande énergétique et de l'utilisation des combustibles fossiles pour répondre aux besoins énergétiques.

La stabilisation de la teneur de l'atmosphère en CO₂ conduit à limiter le niveau global des émissions à environ 3,5 Gt par an (capacité d'absorption de la biosphère). Le recours aux énergies fossiles ne devrait alors pas dépasser 4 Gtep (actuellement, une Gtep correspond à environ 0,9 Gt de carbone). Sur la base d'un scénario tendanciel de consommation énergétique à 13,5 Gtep, il s'agirait donc de produire 9,5 Gtep d'énergie hors carbone en 2020. Cette énergie pourrait être nucléaire ou renouvelable (1,3 Gtep aujourd'hui) ou encore fossile, mais avec une séquestration du carbone émis. Ce challenge semble irréaliste en vingt ans, c'est pourquoi l'objectif de stabilisation de la teneur en CO₂ ne semble atteignable, selon la plupart des études, qu'à un horizon de 50 ans (il implique une division par deux des émissions à l'échelle

du monde, soit une division par quatre des émissions des pays de l'OCDE pour permettre aux pays émergents de se développer). Il n'en reste pas moins que pour atteindre cet objectif, il est nécessaire d'inverser la tendance à la hausse des émissions avant 2020.

Les voies de réponses au changement climatique

Trois voies de réponses existent aux enjeux du changement climatique :

- la première consiste à le prévenir en limitant les émissions de gaz à effet de serre ce qui revient, pour l'essentiel, à utiliser des sources énergétiques plus pauvres en carbone et à maîtriser les besoins énergétiques ;
- la seconde consiste à capturer et stocker les émissions de gaz à effet de serre (stockage du CO₂) ;
- la troisième serait de prévenir les conséquences engendrées par le changement climatique :
 - prévention des risques liés à des inondations (glissements de terrains, pollutions de cours d'eau, revêtements routiers poreux permettant une meilleure évacuation de l'eau...);
 - risques liés à des périodes de fortes chaleurs estivales (technologies permettant d'économiser l'eau, climatisation par réversibilité du solaire thermique...);
 - risques liés à des tempêtes violentes (modes de construction plus résistants aux intempéries...);
 - risques liés au développement de maladies infectieuses comme le paludisme ou la dengue par des traitements médicaux appropriés.

Les ressources en eau douce seront-elles suffisantes ?

Une consommation croissante et inégalement répartie

Deux facteurs entrent en ligne de compte : la croissance démographique et l'augmentation de la consommation d'eau par habitant. Les prélèvements croissent deux fois plus vite que la population :

- depuis 50 ans, les prélèvements d'eau à l'échelle mondiale ont quadruplé. Selon l'OCDE, ils devraient s'accroître, d'ici à 2020, de 10 % dans les États membres de l'Union européenne, et de 30 % à l'échelle mondiale. Cependant, sachant qu'ils ne prennent pas en compte une possible augmentation de la consommation moyenne par habitant dans les pays en voie de développement (PVD), ces chiffres pourraient sous-évaluer la demande à venir ;
- en dépit de très fortes variations, les habitants des pays développés consomment davantage d'eau que ceux des PVD. Cependant, leur consommation a globalement diminué de 11 % depuis 1980. Cette tendance est encourageante car elle traduit un découplage de la croissance et de la consommation d'eau ;
- au niveau mondial, l'agriculture est le premier consommateur (70 % des prélèvements) et devrait le rester du fait de l'accroissement des surfaces irriguées.

Dans les pays de l'OCDE, les prélèvements industriels et ménagers diminuent (hausse des prix de l'eau, gains d'efficacité, délocalisations de certaines industries grandes consommatrices). Selon l'OCDE, c'est surtout la demande industrielle et énergétique des pays émergents, qui devrait accroître le plus les besoins en eau dans les vingt prochaines années.

Une dégradation de la qualité de l'eau

L'agriculture est le secteur le plus polluant. Le ruissellement entraîne une pollution diffuse par les engrais et les pesticides. En Europe et en Amérique du Nord, les concentrations en nitrates dépassent très souvent les taux recommandés par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Dans l'OCDE, ce problème devrait s'aggraver d'ici à 2020 compte tenu de la durée de vie de ces composés chimiques. L'industrie émet les polluants les plus dangereux (métaux

lourds, polluants organiques persistants) et les plus multiformes (liquides, atmosphériques, solides). Elle pourrait voir son impact multiplié par quatre d'ici à 2025 à l'échelle mondiale. Enfin, les ménages non raccordés à un réseau d'épuration contribuent à la pollution chimique et organique.

Les polluants ont des effets différés (accumulation dans les sédiments) et sur une longue durée. Il est particulièrement difficile de protéger les eaux souterraines des pollutions diffuses et encore plus de les dépolluer (faible débit, coût élevé). Selon l'OCDE, compte tenu de leur importance pour l'approvisionnement en eau potable, les coûts de traitement des nappes phréatiques devraient peser de plus en plus lourd dans l'économie de nombreux pays. Les effets sanitaires actuels de l'eau polluée sont les intoxications chimiques et les maladies infectieuses ou parasitaires qui seraient responsables de cinq millions de morts par an.

Les effets environnementaux et économiques

Les effets environnementaux et économiques sur les ressources en eau s'expriment à travers deux éléments :

- **l'eutrophisation** : la surabondance de nutriments (phosphore, azote) provenant des engrais conduit à la prolifération de micro-algues qui fait que l'oxygène n'est plus suffisant pour permettre le développement d'autres organismes. Les eaux deviennent stériles et inexploitable pour la pêche. Ce phénomène concerne, déjà aujourd'hui, plusieurs zones en Méditerranée et dans le golfe du Mexique ;
- **la salinisation** : dans le cas de l'irrigation, la surconcentration en sels minéraux des terres agricoles est néfaste aux cultures. Déjà 10 % des surfaces irriguées sont endommagées, dont le tiers en Inde.

Des risques de pénuries

Au cours des 50 dernières années, la croissance démographique et la contamination des eaux ont conduit à diviser par plus de deux la quantité d'eau disponible par habitant. Cette tendance devrait se maintenir. Aujourd'hui, dix-sept pays consomment plus d'eau qu'ils n'en reçoivent. La surexploitation des nappes phréatiques, qui représentent 90 % des ressources mondiales en eau douce directement utilisables, fait qu'elles se rechargent très lentement (0,1 à 0,3 % par an), ce qui pose problème. Les zones de stress⁵ ou de pénurie hydrique sont fonction des conditions géographiques et des niveaux de croissance démographique et/ou économique. Seront particulièrement concernés l'Afrique (Maghreb, Afrique australe), le Moyen-Orient et l'Asie, y compris l'Inde et la Chine. Sur la base des projections démographiques moyennes de l'ONU, on estime à 2,8 milliards le nombre d'individus qui souffriront de stress ou de pénurie hydrique en 2025.

Les enjeux technologiques liés à la ressource en eau

Les enjeux technologiques liés à la ressource en eau permettent soit une plus grande économie d'eau pour les besoins humains (agriculture), soit de préserver la qualité de l'eau par la réduction des sources de pollution, soit un accroissement des ressources. Dans l'agriculture, on peut ainsi envisager des plantes hybrides ou OGM résistant mieux aux sécheresses ou supportant un arrosage à l'eau saumâtre. Cette dernière option pose cependant problème car elle risque d'accélérer la salinisation des sols. Des techniques d'irrigation plus efficaces existent déjà (goutte-à-goutte), mais leur coût demeure élevé ce qui représente, en soi, un enjeu aussi. La limitation de l'usage d'engrais ou de pesticides dans l'agriculture par des technolo-

(5) Une région est dite sous le coup d'un stress hydrique lorsque les ressources annuelles, c'est-à-dire la quantité d'eau disponible pour tous les usages qu'ils soient humains (industrie, agriculture, consommation individuelle, ...) ou naturels (écosystèmes, plantes et animaux sauvages), sont inférieures à 1 700 m³ annuels par personne ; et d'une pénurie en deçà de 1 000 m³ par personne.

gies d'épandage ou de pulvérisation précis et économes et, mieux encore, la mise au point d'engrais ou pesticides « naturels » n'affectant pas la qualité de l'eau doivent être recherchées. Des technologies permettant de remettre à neuf ou de refaire une étanchéité des fosses septiques anciennes (pollution de sources en France) méritent une attention toute particulière.

Dans l'industrie, l'effort déjà réalisé en matière de rendement de l'eau utilisée devrait se perpétuer. L'incertitude pèse surtout sur l'extension des techniques économes aux pays en cours d'industrialisation. Au niveau des infrastructures, d'importants investissements seraient nécessaires pour limiter les fuites sur les réseaux de distribution et d'irrigation, ce qui peut être un enjeu en termes de matériaux ou de conception du réseau.

L'amélioration des techniques de traitement et de purification des eaux doit être poursuivie. Toutefois, aujourd'hui, le plus souvent une extension de la protection des bassins versants, c'est-à-dire des territoires qui reçoivent les eaux alimentant une nappe souterraine, un lac, une rivière..., est envisagée. Elle peut prendre la forme de réserves naturelles ou de rachat des terres, afin d'éviter que n'y soient utilisés des polluants agricoles ou industriels. Moins coûteuse à long terme (et parfois à court terme) que le retraitement de l'eau et recommandée par le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), elle est utilisée par la ville de New York et certaines agglomérations françaises.

Pour accroître les volumes disponibles, les technologies de dessalement de l'eau de mer sont une voie possible. Même si son coût est trois à quatre fois plus élevé que celui du traitement d'une eau brute, il a diminué de moitié en dix ans et devrait encore être divisé par deux dans la prochaine décennie. Cependant, pour beaucoup de pays, il n'est guère envisageable à grande échelle compte tenu de son coût prohibitif en énergie. Les technologies de dessalement de l'eau de mer à faible consommation énergétique et à faible coût sont clairement un enjeu aussi pour les régions dont le niveau de stress hydrique est déjà aujourd'hui trop important (Moyen-Orient, Maghreb...).

Vers de futurs chocs énergétiques ?

Les chocs pétroliers de 1973 et 1979 ont révélé la vulnérabilité d'une économie dépendante d'une matière première, qui plus est géographiquement concentrée. L'approvisionnement en matières premières, tant énergétiques que minérales et minières, apparaît comme un problème d'autant plus crucial que les systèmes économiques et modes de vie industriels reposent sur une consommation d'énergie croissante et que les pays émergents s'affirment comme de nouveaux pôles durables de consommation de matières premières, énergétiques et minières. En dépit de la diversité des sources primaires d'énergie, les combustibles fossiles (pétrole, gaz et charbon) représentent 80 % de la demande énergétique mondiale. On s'y attachera donc particulièrement.

L'accroissement de la demande énergétique

Une augmentation de la demande énergétique mondiale paraît inévitable à un horizon de vingt ans, compte tenu de l'accroissement démographique, de l'industrialisation des pays en développement, de l'inertie des systèmes de production. Son niveau exact pose cependant question. Si les tendances de croissance actuellement observées se pérennisent, en particulier celles de la Chine, c'est la consommation des pays en développement qui pourrait augmenter le plus rapidement. Il convient néanmoins de garder à l'esprit que ces prévisions sont surtout des projections des tendances présentes, qui n'établissent pas de scénarios différenciés de consommation en fonction d'hypothèses alternatives (moindre ou plus forte croissance économique, mesures d'économies d'énergies...).

La polarisation sectorielle de la demande énergétique

L'électricité et les transports sont les deux moteurs de la croissance de la consommation énergétique. Selon l'Agence internationale de l'énergie, entre 2000 et 2030, la croissance annuelle de leur demande respective devrait atteindre 2,4 % et 2,1 %. Néanmoins, les mêmes restrictions s'appliquent à ces prévisions, essentiellement fondées sur une transposition linéaire des tendances actuelles. Dans les pays de l'OCDE, les transports représentent d'ores et déjà plus de 60 % de la demande de pétrole.

Une efficacité énergétique accrue

Malgré une consommation globale et par habitant en augmentation, on observe un certain découplage de la consommation d'énergie et de l'activité économique. Passé un seuil critique de développement, une économie requiert de moins en moins d'énergie par unité supplémentaire de PIB. Dans l'OCDE, l'intensité énergétique (approvisionnements totaux en énergie primaire par unité de PIB) a diminué d'un peu plus de 16 % depuis 1980. La diminution de l'intensité énergétique s'est ralentie après 1985 à cause de la baisse des prix du pétrole.

La répartition inégale de la consommation énergétique à l'échelle mondiale

Aujourd'hui, un quart de la population mondiale n'a pas accès à l'électricité. Dans les pays en développement, la biomasse (bois, résidus agricoles, déjections animales) représente plus de la moitié de la consommation énergétique domestique : 2,4 milliards de personnes en dépendent pour se chauffer et cuisiner. Mais la part des pays de l'OCDE dans la consommation énergétique mondiale recule régulièrement du fait de l'accroissement de la demande des pays en développement en raison de leur industrialisation et d'un taux de croissance démographique élevé. Selon l'OCDE, la demande de la Chine pourrait augmenter de 3 % par an environ (2 % en Asie de l'Est).

30

La prépondérance des énergies fossiles et la dépendance énergétique

Aujourd'hui, la consommation énergétique mondiale est de 10 Gtep dont 8 Gtep de combustibles fossiles (pétrole, gaz et charbon). Durant les trente dernières années, dans l'OCDE, le gaz et le nucléaire ont progressivement remplacé le charbon et le pétrole pour la production électrique. Le pétrole est surtout consacré aux transports. La dépendance économique vis-à-vis des énergies fossiles devrait se maintenir et probablement s'accroître, essentiellement à l'égard du Moyen-Orient, qui détient 65 % des réserves prouvées. Selon l'OCDE, cette région devrait assurer plus de 74 % des approvisionnements mondiaux en pétrole brut en 2020 (54 % en 1997). L'Europe, comme les autres pays de l'OCDE, devra également faire face à une dépendance accrue pour ses besoins en gaz et en pétrole.

La dépendance de l'économie mondiale vis-à-vis des combustibles fossiles, et donc vis-à-vis d'un nombre relativement restreint de pays producteurs, fait de la stabilité politique de ces pays un enjeu économique majeur. D'autant que les sites de production et les infrastructures (oléoducs, gazoducs...) constituent des cibles privilégiées pour des groupes aux effectifs et moyens réduits, qu'ils soient terroristes ou séparatistes (Nigeria, Soudan). Les restrictions volontaires de production constituent également une arme politique pour ces pays sur la scène internationale. Si toutes les prévisions s'accordaient ces dernières années sur une augmentation des prix du pétrole et du gaz à long terme, aucune n'avait anticipé le baril à plus de 50\$ à court terme.

Des ressources limitées de combustibles fossiles

Des incertitudes majeures pèsent sur la disponibilité future des hydrocarbures (pétrole et gaz). En effet une partie des experts, en particulier l'Agence internationale de l'énergie, estime que

les progrès technologiques que ce soit pour découvrir de nouveaux gisements, améliorer les taux de récupération ou exploiter les hydrocarbures non conventionnels, permettront de faire face à l'augmentation prévue de la consommation pour les trente prochaines années. Mais d'autres experts considèrent que les données de réserves issues des agences officielles sont erronées. Selon eux, la production (conventionnelle ou non) de pétrole atteindra son maximum physique dans moins de vingt ans, si l'accroissement prévu de la consommation est avéré : 1,6 % par an de 2000 à 2030 selon l'Agence internationale de l'énergie. De même, l'accroissement de la production de gaz naturel pourrait être contraint à l'horizon 2030. Si les géologues ont raison, le prix du pétrole pourrait fortement augmenter de façon structurelle à un horizon 2015. Mais la question d'une éventuelle pénurie d'énergie fossile dépend de la capacité des pays à accroître leur consommation malgré l'augmentation du prix. Le charbon est le combustible fossile dont les réserves sont les plus abondantes. Celles-ci sont surtout localisées aux États-Unis (28 %), en Russie (23 %) et en Chine (11 %). La disponibilité de ressources en charbon bien au-delà de 2020 n'est pas controversée. Mais son pic de production (ou maxima de production) est possible à un horizon 2050. Les réserves d'uranium ne sont pas non plus infinies. À consommation inchangée (ce qui est très improbable), les ressources connues représentent environ 70 ans de réserves pour les réacteurs à neutrons lents (technologie courante). Avec des réacteurs à neutrons rapides (surgénération), qui permettent d'extraire beaucoup plus d'énergie du combustible, ces réserves seraient suffisantes pour des milliers d'années.

Les prévisions de consommation énergétique

Les nombreux scénarios prévisionnels de la consommation énergétique mondiale sont très dispersés : de 10,1 Gtep (scénario Noé du CNRS) ou 11,4 Gtep (scénario C2 du Conseil mondial de l'énergie - CME) à plus de 15 Gtep (scénario WETO 2003 de l'Union européenne, scénario A du CME) à l'horizon 2020. Le scénario tendanciel du CME s'établit à 13,5 Gtep. Cette dispersion s'explique par les hypothèses adoptées pour construire les différents scénarios. Les uns raisonnent en fonction du taux de croissance des consommations énergétiques primaires et prennent en compte les progrès d'intensité énergétique. Dans cette optique, le développement énergétique des pays les moins développés tend à reproduire le modèle que nous avons connu. Les autres cherchent à prendre en compte des politiques plus volontaristes de maîtrise de la demande et un développement énergétique des pays émergents qui « saute » des étapes technologiques.

Les enjeux technologiques liés à l'énergie

Les perspectives énergétiques renvoient à des enjeux particulièrement importants :

- la sécurité et l'indépendance énergétique de la France et de l'Europe ;
- l'épuisement progressif des réserves d'hydrocarbure, et de pétrole conventionnel en premier lieu, dont dépend très largement le secteur des transports ;
- le réchauffement climatique qui pourrait avoir des conséquences dramatiques au cours du prochain siècle.

Les alternatives aux énergies fossiles sont variées. Les modes de production énergétique à moindre contenu en CO₂ sont le nucléaire, la biomasse, dont les biocarburants, la géothermie, les énergies solaire, éolienne et hydraulique. Cependant, le potentiel de la plupart des énergies renouvelables est limité d'ici à 2020 en raison du montant des investissements nécessaires, de la variation du potentiel exploitable selon les régions ou des insuffisances des technologies de stockage de l'électricité. Par ailleurs, les centrales nucléaires et hydrauliques de grande envergure requièrent des délais d'études et de construction de près de vingt ans. L'usage du charbon associé à la capture et à la séquestration du gaz carbonique dans des

champs de pétrole et de gaz épuisés, dans des aquifères salins, ou dans les grandes profondeurs marines est envisageable. Cependant, une lourde incertitude pèse sur l'acceptation du coût énergétique (perte d'efficacité) et financier de la capture du CO₂, du stockage et de son transport. Les lieux de stockage fiables (au moins 100 ans) à proximité des lieux de consommation sont aussi à vérifier.

La production d'hydrogène sans production de CO₂ permettrait d'utiliser pour les besoins énergétiques un nouveau combustible efficace et sans émissions autres que de l'eau. Cependant, outre le problème du volume de stockage, les technologies de production d'hydrogène « propre » en quantité n'en sont qu'à un stade de recherche très en amont (thermolyse nucléaire et photolyse) ou ont des rendements insuffisants (électrolyse). Sa généralisation à l'horizon 2020 est donc improbable. Reste à savoir si l'hydrogène pourrait être produit à plus petite échelle pour stocker l'énergie de sources intermittentes.

À noter que des piles à combustibles pour l'habitat ou les appareils électroniques portables peuvent fonctionner avec un carburant externe plus stable (gaz naturel ou méthanol), l'hydrogène étant élaboré directement à l'intérieur de la pile.

Outre l'amélioration des rendements ou de l'efficacité des objets de consommation énergétique, la maîtrise de la consommation peut passer aussi par l'amélioration de la gestion des flux énergétiques à l'échelle d'un objet (automobile), du réseau électrique, d'un bâtiment, d'une zone industrielle (écologie industrielle) via des objets intelligents « régulateurs » de consommation. Les technologies qui utilisent l'énergie ont souvent une durée de renouvellement plus courte que les technologies de production et affectent un bien plus grand nombre de secteurs économiques.

Les ressources minérales et minières

Les réserves disponibles et le recyclage

On distingue les métaux ferreux (fer, fonte, acier) et non ferreux (autres métaux, dont aluminium, nickel, zinc, plomb...). Parmi ces derniers, on peut isoler les métaux précieux (or, argent, platine et métaux dits de la mine du platine : palladium, rhodium, iridium, ruthénium, osmium), souvent stratégiques pour les industries de pointe.

Contrairement aux ressources énergétiques, l'approvisionnement en matières premières minérales n'attire guère l'attention. Cependant, d'après Jacques Blamont⁶, à consommation inchangée, les réserves connues seront pour la plupart épuisées à la fin du XXI^e siècle. À l'horizon 2020, seule l'extraction de zinc et de plomb devrait atteindre ces limites physiques, mais aussi commerciales (baisse de la consommation due, entre autres, à des législations environnementales et sanitaires plus sévères, part accrue du recyclage).

Une répartition inégale accentuée par les concentrations industrielles : la montée des risques économique-stratégiques

Les ressources minérales sont inégalement réparties sur le globe. Ce phénomène géologique est accentué par les logiques de rentabilité (les coûts fixes de l'extraction sont très élevés et nécessitent un amortissement de long terme) et de concentration industrielle propre au secteur. Suite à l'effondrement de l'URSS et à la chute des prix des métaux qui s'en est suivie (disparition de la demande industrielle soviétique), la décennie 1990 a été marquée par une restructuration drastique. Ont ainsi disparu des filières ou exploitations non rentables pour le producteur, mais pourtant stratégiquement indispensables pour l'utilisateur.

Certains approvisionnements sont dans une situation de dépendance totale ou quasi totale

⁽⁶⁾ Blamont Jacques, 2004, *Introduction au siècle des menaces*, Odile Jacob, Paris.

vis-à-vis d'un ou deux producteurs dominants. Le cas de la Chine est à ce titre doublement exemplaire de la montée des risques économique-stratégiques à l'échelle mondiale :

- grâce à une stratégie commerciale de « prise en ciseaux » des producteurs tiers, elle dispose d'un quasi-monopole sur les marchés de l'antimoine, du tungstène et des terres rares ;
- l'augmentation de sa demande s'est traduite par une augmentation des prix parce que le manque d'investissements productifs et l'autolimitation des capacités de production au cours de la décennie 1990 ne permettaient pas de faire face à des variations rapides de demande.

Les prix : une tendance (passée) baissière, mais des variations brutales

À long terme, le prix des matières premières a été orienté à la baisse (division par un facteur 5 depuis 1850, par 2 depuis 1950). Cependant, les marchés des métaux, du fait de la réactivité limitée de la production, de la concentration de certaines ressources et du caractère non substituable de certains métaux, sont soumis à des variations brutales de prix. Celles-ci peuvent s'expliquer par une raréfaction de l'offre, par exemple du fait d'un conflit dans les zones de production (quadruplement du prix du cobalt en 1978 suite à un conflit au Zaïre) ou d'un « fait du prince » (suspension des exportations soviétiques de titane en 1978-79, de palladium par la Russie en 2001).

À noter l'enjeu spécifique aux métaux high-tech qui présentent un risque spécifique de crise qui découle d'une demande explosive suite à une nouvelle application (cas du rhodium et du palladium utilisés dans les pots catalytiques) ou à un marché en forte croissance comme celui des TIC : forte demande de métaux tels que le tantale (condensateurs), le gallium et le germanium (composants électroniques haute fréquence) ou l'indium (écrans plats LCD) dont le prix est passé de 70 à 700 USD/kg en un an.

Les alliages métalliques utilisés par l'aéronautique ou l'automobile exigent des métaux spécifiques comme le nickel, le cobalt, le tantale, le niobium, les terres rares ou le rhénium. Ces métaux sont produits en faible quantité parfois comme produit principal et souvent des sous-produits du raffinage des métaux de base. Des crises liées à un accroissement rapide de la demande pourraient concerner le germanium (électronique), le rhénium (aéronautique), le gallium (laser et diode blanche) ...

Le marché des platinoïdes, métaux très onéreux et rares, est soumis à de fortes tensions. Leurs propriétés physiques et chimiques les rendent de plus en plus stratégiques pour les industries de haute technologie présentes (électronique, catalyse...) et futures (électronique, environnement, énergie...).

La demande de la Chine et des autres pays émergents

La décennie 1990 a été marquée par l'affirmation de la Chine comme producteur et exportateur majeur sur le marché mondial des matières premières minérales (zinc, cuivre, coke, tungstène). Cette situation s'est brutalement renversée au début des années 2000, la Chine devenant importateur net et l'un des premiers consommateurs mondiaux de métaux non ferreux (cuivre, aluminium, zinc, nickel...) et d'acier.

Selon la direction générale de l'Énergie et des Matières premières (DGEMP) du ministère chargé de l'Industrie, « cette situation devrait entraîner des changements profonds et structurels des marchés mondiaux des métaux et de l'énergie, en déplaçant le centre de gravité des pays consommateurs vers l'Asie, ce qui crée ou risque de créer des tensions sur les prix, et pourrait diminuer l'importance et le contrôle des places occidentales sur les marchés ».

Il n'est pas à exclure que le surenchérissement du prix des matières premières finisse par peser sur la croissance chinoise, en particulier par le biais du coût des infrastructures (acier pour les constructions, cuivre pour les réseaux électriques...). Cependant, selon la direction générale du Trésor et de la Politique économique (DGTPE), grâce à sa base industrielle diver-

sifiée et à ses ressources naturelles, la Chine n'est que modérément exposée à ce type de risque. A contrario, l'Inde se trouve en position de vulnérabilité. Celle-ci pourrait s'accroître par le biais d'une ouverture économique et d'une dépendance accrue. Par ailleurs, l'industrialisation attendue de l'Inde pourrait, au même titre que la Chine, provoquer une nouvelle hausse des cours des matières premières. Cependant, l'horizon temporel et le rythme de l'industrialisation indienne demeurent incertains.

Les enjeux technologiques liés aux matières premières

Les perspectives d'évolution de la demande et des prix des métaux dépendent pour partie des nouveaux débouchés. Parmi les technologies actuellement en cours de développement, certaines pourraient être sources de tensions sur des marchés spécifiques.

Le zinc ou le platine sont des métaux pour lesquels la ressource présente de sérieux risques. Ainsi, à moins qu'émerge un substitut valable, le marché du platine pourrait connaître une augmentation sensible de la demande. D'ici à 2010, elle devrait essentiellement découler d'une augmentation de la demande pour les usages classiques (catalyse et joaillerie) ou nouveaux (piles à combustibles), dans les pays aussi bien développés (normes environnementales de plus en plus drastiques) qu'émergents (la consommation chinoise a plus que triplé entre 1998 et 2002). La recherche de substituts à d'autres minerais stratégiques semble importante car la plupart des gisements sont situés dans des zones politiquement instables. Le recyclage est donc de première importance non seulement pour ces matières premières critiques, mais aussi pour la production d'acier qui peut être produit par recyclage de la ferraille en fours électriques, en complément de la production en hauts-fourneaux à partir d'oxyde de fer. Le recyclage est nécessaire mais ne saura répondre à l'intégralité des besoins : il est indispensable de trouver de nouveaux gisements et de les exploiter à l'aide de processus efficaces. Au-delà, il y a la recherche de matériaux de substitution. La récupération (recyclage) des métaux chers (utilisés par exemple dans l'électronique) ne pose pas de problème, car une forte valeur ajoutée peut être réalisée. Les métaux peu chers le sont beaucoup moins.

La concomitance de la directive de recyclage de l'électronique (D3E d'août 2004) et les crises possibles sur ces métaux high-tech font de la séparation des trente métaux que contient un ordinateur un enjeu particulièrement important. Cela, d'autant plus que les matériels utilisés dans l'informatique et les télécommunications ont une durée de vie qui ne dépasse guère trois ans et qu'il faudra bien gérer ces déchets qui peuvent être pour une part toxiques.

Au niveau européen et français

Le vieillissement démographique

Les projections démographiques des Nations unies - certes discutables en raison des hypothèses qui les sous-tendent - révèlent que la population mondiale pourrait se situer aux alentours de 7,5 milliards d'habitants à l'horizon 2020, l'essentiel de cette croissance s'opérant dans les pays dits du Sud dont la part dans la population mondiale ne cessera de croître. Les pays de l'OCDE, qui représentaient en 1950 près d'un quart de la population mondiale, ne représenteront, sans doute, qu'environ 12 % de ladite population mondiale en 2020. L'Asie à elle seule représente, dès à présent, 60 % de la population mondiale.

Tous les pays du monde, à des périodes différentes, et à un rythme encore plus différent, connaissent un phénomène de transition démographique marqué par le passage d'une nata-

lité et d'une mortalité élevées à une natalité et à une mortalité basses. Si ce processus s'est opéré en Europe à un rythme relativement lent au cours des deux siècles écoulés, il s'opère désormais à un rythme beaucoup plus accéléré dans des pays en développement tels que la Chine ou les pays du Maghreb. Une des conséquences essentielles de cette transition démographique est le vieillissement démographique qui, s'il est particulièrement marqué aujourd'hui dans les pays industrialisés et singulièrement en Europe, touche dès à présent et touchera de plus en plus les pays en développement rapide, comme la Chine et les pays de la rive sud de la Méditerranée.

La chute de la fécondité et les progrès de l'espérance de vie

Le vieillissement démographique en Europe est d'abord la conséquence des évolutions passées de la fécondité, particulièrement de la succession d'une période dite de baby-boom puis d'une période de « baby-krach ». En effet, au lendemain de la seconde Guerre mondiale, tous les pays européens ont connu une forte croissance de leur fécondité (entre 2,7 et 2,9 enfants par femme en moyenne de 1946 à 1964 en France). Puis, tous ces pays européens ont connu, au milieu de la décennie 1960, une chute importante de la fécondité. D'abord, dans les pays scandinaves, un peu plus tard dans les pays d'Europe centrale - l'Allemagne, dès 1974, avait un indice conjoncturel de fécondité de 1,4 enfant par femme - plus tard encore, mais de manière plus brutale, dans les pays d'Europe du Sud (l'indice conjoncturel de fécondité se situant aujourd'hui à 1,2 enfant par femme en Espagne et en Italie). La France a elle-même connu, à partir de 1964, un brutal effondrement de son indicateur conjoncturel de fécondité, qui se stabilise aux alentours de 1,8 enfant par femme.

La mortalité aux âges jeunes puis adultes n'a simultanément cessé de baisser. On observe depuis fort longtemps une croissance régulière de l'espérance de vie à la naissance au rythme, en moyenne, de un trimestre par an (soit un an tous les quatre ans) avec toutefois un différentiel important, entre l'espérance de vie des hommes et celle des femmes et selon les catégories socioprofessionnelles. Ainsi, par un même effet mécanique, environ 60 ans après 1946, il est simple de comprendre que les effectifs et la part dans la population totale des personnes dites âgées (les 60 ans ou plus) augmenteront fortement à partir de 2006, et ceci pendant plusieurs décennies.

Un vieillissement annoncé par les projections démographiques

En dépit même de la timidité des hypothèses adoptées, les projections centrales de l'Institut nationale de la statistique et des études économiques (Insee) révèlent ainsi que la population française passerait de moins de 60 millions à 62,7 millions à l'horizon 2020 (la fourchette des variantes va de 61 millions à 64 millions). La population des moins de 50 ans, dans le meilleur des cas, se maintiendrait en part relative dans la population totale, alors que dans tous les autres cas elle diminuerait. En revanche, la population des 50 ans ou plus, dans tous les cas de figure, augmenterait fortement, l'essentiel de la progression s'opérant d'ici à 2020-2030. Du fait même de l'allongement de l'espérance de vie au-delà de 60 ans, les pays européens, et en l'espèce la France, connaîtront non seulement un vieillissement marqué, mais également, au sein de cette catégorie d'âges, une croissance particulièrement rapide des personnes très âgées.

Nous avons ici affaire à une tendance qui apparaît très lourde, très largement irréversible à l'horizon 2020 et même au-delà. La proportion de personnes âgées de 60 ans ou plus passe ainsi en France, selon les variantes des projections, de quelque 20 % en l'an 2000 à 26,7 %-28 % en 2020 ; celle des 85 ans ou plus progressant (selon la projection centrale) d'environ 2 % en 2000 à 3,4 % en 2020. Les problèmes liés au vieillissement démographique vont se poser d'une manière brutale sur l'ensemble des quarante prochaines années. Cependant, la

croissance habituellement considérée comme continue de l'espérance de vie à la naissance et à 60 ans pourrait fort bien être contrariée, par exemple, par la dégradation des conditions de vie ou encore par la disponibilité de soins adaptés à une population vieillissante.

Des déséquilibres actifs-inactifs et cotisants-retraités

La raison la plus courante pour laquelle on s'inquiète du vieillissement démographique tient à la dégradation du rapport entre le nombre d'actifs occupés et le nombre d'inactifs allocataires, en particulier âgés, c'est-à-dire au déséquilibre entre les ressources et les dépenses des systèmes de retraite essentiellement fondés sur le principe de la répartition. Une première approche simple vis-à-vis du déséquilibre consiste à se référer au rapport entre les 20-59 ans et les 60 ans ou plus. L'Institut national des études démographiques (Ined) a montré que pour maintenir stable le rapport entre le nombre d'adultes (20-59 ans) et le nombre de personnes âgées (60 ans et plus), il conviendrait de remonter l'âge frontière entre ces deux catégories de telle sorte que celui-ci se situe aux alentours de 65 ans en 2020.

L'équilibre des régimes de retraites menacé

Un rapport autrement plus important est celui du nombre de cotisants rapporté au nombre de retraités. Des calculs récents effectués dans le cadre du Conseil d'orientation des retraites (COR) ont confirmé l'ampleur des ajustements à opérer. Sur la base de la réforme adoptée en France en juillet 2003, ils montraient que, sous contrainte d'une évolution démographique tendancielle, d'une amélioration rapide et durable de l'économie et de l'emploi - hypothèse optimiste - et d'une réglementation maintenue en son état jusqu'en 2040, le besoin de financement de l'ensemble du système équivaldrait à 4 points de produit intérieur brut et le taux de remplacement du salaire moyen par la pension moyenne tomberait de 78 % à 64 %.

Assurer, dans ces conditions, l'équilibre financier requerrait soit d'augmenter le taux de prélèvement sur les actifs d'un montant équivalent à 9 points de cotisation, soit de reporter de six ans l'âge de la retraite. De plus, ne sont pas pris en compte dans ces calculs les coûts liés au problème du grand âge et de la dépendance, ni même ceux liés au financement de l'assurance maladie. Le déséquilibre financier des systèmes de retraite ne constitue pas une exception par rapport aux autres régimes de protection sociale. La dynamique des dépenses est telle que, sauf à recourir à un endettement croissant, il faudrait d'ici à 2020 augmenter les ressources dans une proportion d'environ 30 %, à moins évidemment de réduire les dépenses dans une proportion équivalente.

Le problème majeur se trouve et se trouvera de plus en plus dans le déséquilibre croissant entre les ressources et les dépenses du « système ». Les réformes - intervenues en 1993, puis celles de 2003, consistant notamment à exiger un nombre d'annuités de cotisations plus important pour bénéficier d'une retraite à taux plein - ne constituent certainement pas une solution suffisante. C'est en effet une chose que d'exiger un nombre croissant d'annuités de cotisations pour bénéficier d'une retraite à taux plein, c'en est une autre que de savoir si la situation de l'emploi est favorable au maintien en activité des seniors.

Les enjeux technologiques liés au vieillissement

En tout état de cause, le vieillissement démographique soulèvera des questions très importantes et marquera les attentes des individus dans les années à venir en Europe. Du point de vue des innovations et des technologies, vieillir en bonne santé et en gardant son autonomie et ses capacités est certainement une attente majeure. Les enjeux liés au vieillissement de la population active et à l'emploi des seniors sont ici reportés dans la partie « emploi ». L'accroissement du nombre de personnes âgées ne sera pas sans conséquence sur :

- les questions de santé, autant dans le domaine des coûts de santé que sur des besoins spé-

- cifiques concernant les maladies liées à l'âge comme les maladies neurodégénérantes ;
- les besoins de communication avec une ergonomie simplifiée et adaptée à des handicaps relatifs à la vision ou à l'audition ;
 - des besoins de diagnostic ou d'alerte (systèmes d'autodiagnostic, alertes automatisées en cas d'accidents,...) à distance compte tenu de la part croissante de personnes seules parmi les personnes âgées ;
 - les besoins de mobilité afin de permettre aux plus âgés de conserver l'autonomie de déplacement le plus tard possible ;
 - les besoins de services aux personnes, tant les besoins ménagers que les besoins affectifs d'échange et de communication.

L'emploi à l'horizon 2020

Depuis 20 ans, la France vit avec un chômage important (autour de 10 % de la population active) et, plus inquiétant encore, un sous-emploi endémique. Pourtant, périodiquement - lors des périodes de reprise de l'activité économique - le thème des pénuries de main-d'œuvre revient sur le devant de la scène. Les évolutions démographiques, avec le départ à la retraite des générations du baby-boom et la baisse attendue de la population active à partir de 2007, réactivent ces craintes, ou espoirs, car certains y voient la promesse de la fin du chômage et du retour au plein emploi. Pour savoir si ces espoirs sont fondés, il convient d'abord d'observer, séparément, les évolutions passées et futures de la demande (ou encore de la population active) et de l'offre d'emploi (ou besoins de main-d'œuvre).

L'évolution de la population active

L'évolution de la population active (nombre de personnes en emploi ou à la recherche d'un emploi, donc disponibles) sera fonction de deux facteurs : l'évolution démographique générale, soit l'évolution de la population d'âge actif (les personnes âgées de 15 à 64 ans) et les flux migratoires ; l'évolution des taux d'activité (propension à travailler) des hommes et des femmes, aux différents âges. Il est important de noter, dès à présent, que la démographie ne dicte pas tout et que la baisse de la population active, annoncée pour 2006, n'a rien d'inéluctable : si elle risque en effet de se produire à comportements d'activité inchangés, une augmentation des taux d'activité de telle ou telle catégorie peut l'atténuer, voire l'enrayer.

Progression de l'activité féminine et baisse de celle des hommes

L'augmentation sensible du taux d'activité des femmes s'est accompagnée de la diminution de celui des hommes, lié au déclin de l'activité des plus jeunes et des plus âgés. La progression de l'activité féminine se poursuit toujours au fur et à mesure que les jeunes générations, très actives, remplacent leurs aînées sur le marché du travail. Cette évolution s'est observée dans tous les pays d'Europe, même si les niveaux d'activité des femmes restent très différents (il y a encore près de 30 points d'écart entre la Suède et l'Italie).

Faiblesse de l'activité des jeunes et des seniors

Progressivement, avec l'allongement de la scolarité (l'âge moyen de fin d'études a augmenté de 3,5 ans en 40 ans), les jeunes entrent de plus en plus tardivement sur le marché du travail. Alors qu'au début des années 1960, un jeune sur deux était actif, aujourd'hui, c'est à peine un sur trois. De même, à l'autre extrémité de la vie active, les salariés âgés ont longtemps été incités à prendre leur retraite avant l'âge légal. Résultat : le taux d'activité des hommes de 55 à 64 ans a chuté de 79 % en 1962 à 30 % en 1994. Toutefois, il remonte légèrement depuis. On observe ainsi en France, de façon plus marquée que dans les autres pays développés, un resserrement de la population active sur la tranche 25-54 ans, qui concentre aujourd'hui 81,3 % des actifs, contre 61 % en 1962.

Les dernières projections démographiques de l'Insee (scénario central), à l'horizon 2020, font apparaître deux faits :

- la population des 25-59 ans (soit, comme on l'a vu, le cœur de la population active en France) devrait diminuer à partir de 2005 et perdre 120 000 personnes entre 2000 et 2020 ;

- la population des 60-64 ans devrait croître en revanche, et gagner 1,2 million de personnes.

Au total, la population d'âge actif (15-64 ans) gagnerait près de 900 000 personnes entre 2000 et 2020, la croissance de la catégorie d'âge des 60-64 ans compensant les pertes dans les autres catégories. La question essentielle est donc de savoir si le taux d'activité des 60-64 ans, qui n'a cessé de baisser, pourrait de nouveau augmenter.

Dans le scénario tendanciel de l'Institut national de la statistique et des études économiques, le taux d'activité des 15-24 ans baisse encore légèrement (de 30,3 % en 2003 à 29,5 % en 2020). Le fait que le taux d'activité des 15-24 ans en France soit faible par rapport à la plupart des autres pays européens s'explique en partie par l'importance de la scolarité (plus de 90 % des jeunes inactifs français poursuivent leurs études) et par le cloisonnement important entre l'école (ou l'université) et le marché du travail. Mais les opportunités d'emploi offertes de 1998 à 2000 aux jeunes ont eu pour conséquence une légère baisse de leur scolarisation ce qui tend à indiquer que les études sont un refuge quand les perspectives d'emploi sont moroses. Les taux d'activité futurs des 15-24 ans dépendront donc de l'évolution de la conjoncture économique, mais on peut aussi imaginer une politique volontariste de développement de l'apprentissage comme en Allemagne où les deux tiers d'une classe d'âge passent par cette étape.

Le taux d'activité des seniors (55-64 ans) a commencé à se relever depuis quelques années, notamment du fait de la suppression des préretraites. Cependant, si le nombre de préretraites n'a cessé de baisser, les bénéficiaires de contrats de cessation anticipée de travailleurs salariés (CATS ou CASA pour l'automobile) sont en forte augmentation : l'Union nationale pour l'emploi dans l'industrie et le commerce (Unedic) en comptait 18 000 à la fin 2002 et 31 000 un an plus tard. De plus, les dispenses de recherche d'emploi (qui permettent aux chômeurs de plus de 55 ans de continuer à percevoir leur indemnisation sans être tenus de rechercher un emploi) approchaient les 400 000 en 2003. Enfin, la multiplication des arrêts maladie de longue durée dans la tranche d'âge des 55-59 ans peut laisser penser que le recours à l'arrêt de travail devient un mode de régulation des départs des salariés âgés. La France affiche toujours, contrairement à d'autres pays développés, une culture de sortie précoce du marché du travail. Pourtant, les travailleurs âgés ne sont pas « inemployables », comme le montre le succès des réformes engagées par les Pays-Bas et la Finlande.

Le vieillissement de la population active

Dans ses hypothèses, l'Institut national de la statistique et des études économiques propose un scénario tendanciel qui voit le taux d'activité des 55-64 ans baisser de 41,7 % (2003) à 41,5 % en 2020. Une variante imagine la remontée de l'âge effectif de cessation d'activité de cinq ans, c'est-à-dire qu'on suppose qu'à terme les personnes de 60 ans se comporteraient, en termes de participation au marché du travail, comme les personnes de 55 ans du scénario tendanciel (et celles de 61 ans comme celle de 56 ans, etc.). L'impact de cette variante se traduirait par un surcroît d'actifs de l'ordre de 2,7 millions à l'horizon 2020 par rapport au scénario tendanciel.

L'âge médian de la population française s'élève et avec lui l'âge médian de la population active. Ce vieillissement de la population active occupée pose plusieurs problèmes qui deviendront de plus en plus aigus dans un pays comme la France à l'horizon 2020 :

- celui de l'évolution des aptitudes suivant les âges, celle-ci étant malgré tout fonction de l'effort de formation qui sera fait au profit des quadragénaires en vue de leur éventuel

maintien en activité, ainsi que de l'amélioration de leurs conditions de travail ;

- celui des coûts salariaux qui, tant qu'ils demeurent directement liés à l'ancienneté, risquent d'augmenter corrélativement ;
- celui, encore plus aigu, du remplacement éventuel des personnes partant à la retraite. En moyenne, environ 40 % de la population active française, si les âges de départ à la retraite restent inchangés, devraient quitter leur emploi dans les dix ans, y compris, par exemple, les dirigeants de PME. Selon une enquête des chambres de commerce et d'industrie, environ 45 % des chefs d'entreprise ont plus de 50 ans, ce sont donc entre 850 000 à 900 000 entreprises de toutes tailles et de tous secteurs qui devraient changer de dirigeants dans les quinze ans à venir.

Les besoins de main-d'œuvre

Depuis 1960, en France, la forte progression de la population active n'a pas été suivie par une progression comparable des créations d'emplois : le nombre total d'emplois n'a augmenté que de 3,7 millions entre 1971 et 2002, tandis que la population active augmentait de près de 5,6 millions sur la même période. En outre, la plupart des emplois créés correspondent en fait à des emplois aidés, l'emploi « hors mesures » n'ayant augmenté que d'à peine 1,6 million entre 1973 et 2002. D'autre part, l'essentiel de cette hausse était concentré sur la période de reprise entre 1998 et 2002, or les chiffres plus récents montrent une nouvelle dégradation de l'emploi (- 67 000 en 2003). De cette faiblesse des créations d'emplois découle l'accroissement spectaculaire du chômage qui, inférieur à 2 % de la population active dans les années 1960, dépasse les 10 % en 1985 et atteint 12,3 % en 1997, pour se stabiliser de nouveau autour de 10 % depuis.

Le chômage n'est pas une fatalité

Le phénomène du chômage atteint tous les pays occidentaux, mais à des degrés très variables. Le contraste entre les pays de l'Union européenne est frappant. Il est possible de distinguer deux groupes, celui des pays qui ont dépassé les 10 % de chômage au cours des années 1980 ou 1990 et qui se maintiennent autour de ce chiffre, comme la France, l'Espagne ou l'Italie, et ceux qui, s'ils ont connu des périodes de chômage relativement élevé, sont parvenus à le faire passer en dessous de 6 %, comme la Suède ou les Pays-Bas.

Le facteur souvent mis en avant pour expliquer ces écarts est la croissance économique. Les pays qui ont réussi à faire baisser leur chômage sont également ceux qui ont bénéficié d'un taux de croissance du PIB supérieur aux autres : le Danemark, l'Irlande, la Norvège et les Pays-Bas ont ainsi connu une croissance de 3,3 % en moyenne sur la période 1990-1998, contre 2 % pour la moyenne européenne. On peut se demander toutefois si la relation croissance-emploi est aussi simple ou si le taux d'emploi, généralement vu comme le résultat de la croissance, n'en est pas plutôt un des moteurs. La faiblesse de celle-ci découle en effet d'une faible demande privée, c'est-à-dire d'une consommation et d'un investissement trop timides. Or, lorsque le taux d'emploi est faible (et le chômage élevé), cela pèse sur cette demande ainsi que sur le budget de l'État (par le poids des transferts sociaux). En revanche, si le taux d'emploi est élevé, les ménages ont les moyens de consommer davantage et cela incite les entreprises à investir.

Les enjeux technologiques liés à l'emploi

Cette question de l'emploi restera un enjeu majeur pour les sociétés européennes et la France en particulier à horizon de dix ans. Ce besoin de création d'emplois et de dynamisation du marché du travail aura des conséquences sur :

- le besoin de formation tout au long de la vie non seulement pour permettre à la partie la plus

âgée de la population active de rester en emploi, mais aussi pour permettre à l'ensemble de la population active de changer de type d'emploi en cours de carrière et de s'adapter plus aisément aux restructurations de l'appareil productif ;

- l'ergonomie des postes de travail et les interfaces homme-machine pour que la productivité bénéficie de l'expérience des travailleurs âgés sans être pénalisée par des aptitudes physiques éventuellement moins performantes qu'à 20 ans ;
- les outils de travail collaboratif nécessaire à l'émergence d'innovations qui requièrent de plus en plus l'assemblage de compétences qu'une personne ou une entreprise ne peut souvent posséder seule ;
- la prise de risque et l'entrepreneuriat qui relève éventuellement d'outils de formation et d'information mais davantage d'innovations socio-organisationnelles et politiques.

La compétitivité économique

Il y a deux manières d'appréhender l'évolution à moyen et à long termes des économies française et européenne : l'une à l'aune des indicateurs économiques classiques (l'évolution du PIB, de la productivité, de la spécialisation productive...) ; l'autre au travers des transformations structurelles des économies modernes et de la capacité de nos propres économies à « prendre le virage » nécessaire pour relever le défi de la compétitivité et de l'innovation.

Le rattrapage de l'Europe

Durant les trente glorieuses (1945-1973), les pays européens rattrapaient les États-Unis. En revanche, tout se dérègle à partir des années 70. Le processus de rattrapage de l'Europe vis-à-vis des États-Unis est alors interrompu. Pire, l'écart se creuse à nouveau. Ainsi, en 2002, le PIB par habitant de la France et de l'Union européenne était inférieur d'environ 25 % à celui des États-Unis. Ce décrochage s'explique couramment par des facteurs différents suivant les pays européens, notamment :

- par une durée moyenne du travail plus courte pour les Pays-Bas, l'Allemagne, la France et la Belgique ;
- par un taux d'emploi plus faible pour l'Italie, la Grèce, l'Espagne, la Belgique et la France ;
- par une plus faible productivité horaire pour le Portugal, la Grèce, l'Espagne et le Royaume-Uni.

On pourrait longtemps disserter sur ces divergences et les facteurs explicatifs en se gardant toutefois de toute analyse monocausale. Le fait est que les pays européens ont progressivement perdu la production de biens peu sophistiqués : habillement, chaussure, électronique bas de gamme..., au profit des pays émergents. Ainsi, si la production industrielle totale a crû de 13 % entre 1991 et 2003 dans la zone euro, elle a augmenté de 50 % à 450 % dans les pays émergents d'Asie, mais aussi en Europe centrale (100 % en Pologne, 50 % en République tchèque). Explication qui vaut aussi pour les nouvelles technologies puisque la hausse de la production dans ces pays en développement rapide est souvent beaucoup plus forte que dans la zone euro (300 % en moyenne depuis 1993 contre 100 % dans ladite zone euro), particulièrement en Chine (multiplication par 160 en dix ans).

Ces quelques données viennent au demeurant contredire la thèse développée en son temps par Robert Reich qui laissait entendre que nous assisterions à une nouvelle division internationale du travail, la production de biens manufacturés à faible valeur ajoutée se délocalisant vers le Sud tandis que les industries de haute technologie se concentreraient dans les pays du Nord. La période récente révèle, lorsque l'on regarde la balance commerciale, une dégradation générale des économies dites développées au regard des économies en développement rapide. Balance commerciale qui révèle d'importantes différences suivant les pays, y compris en Europe. À titre d'exemple, lorsque l'on compare les pays européens, on observe que :

- la France et l'Allemagne se spécialisent dans des biens d'équipement, et ont des surplus commerciaux importants ou croissants pour ces biens ; il y a naturellement dépendance pour l'énergie et les biens intermédiaires, dégradation en revanche en ce qui concerne les biens de consommation ;
- l'Espagne et le Royaume-Uni ne se spécialisent en rien et ont des déficits importants et croissants pour tous les produits.

Ainsi est-il clair qu'une extrapolation pure et simple de ces indicateurs à l'horizon 2010-2020 n'incite guère à l'optimisme quant aux performances des économies européennes. Mais à moyen et à long termes, il est sans doute plus judicieux de s'intéresser aux transformations structurelles des économies modernes, à leur capacité d'opérer les mutations nécessaires pour relever les défis du futur, y compris ceux d'une concurrence mondiale.

L'évolution structurelle des économies modernes

L'évolution à long terme des économies modernes est marquée par un phénomène général de tertiarisation (ou dématérialisation) qui peut être appréhendé de deux manières tout à fait différentes. La première consiste à se référer à la thèse classique suivant laquelle le développement serait marqué d'abord par l'essor de l'ère agraire, puis par celui du secteur industriel et enfin par celui de l'ère tertiaire. Pour les pays européens, la première moitié du XX^e siècle a été marquée par un déclin relatif du secteur agricole, tant en part de l'emploi que du PIB, et un essor de l'industrie. Depuis les années 1970, nous observons un déclin relatif du secteur industriel tandis que le secteur tertiaire lui-même n'a cessé de croître. Il est toutefois nécessaire de s'interroger sur la pertinence d'une telle grille d'analyse. Il est, par exemple, évident que la production agricole ne cesse de croître alors que la population active y opérant était déclinante. Une autre observation de bon sens consiste à souligner combien les phénomènes d'externalisation des entreprises industrielles vers le « tertiaire » (typiquement les fonctions de services généraux, comptabilité, entretien et maintenance, logistique, informatique...) contribuent à fausser les données dont on dispose au travers d'une telle nomenclature.

Une toute autre manière d'appréhender ce phénomène de tertiarisation, qui nous semble autrement plus pertinente, consiste à souligner le rôle croissant des facteurs « immatériels » dans la valeur de l'ensemble des produits aussi bien agricoles ou agroalimentaires qu'industriels. Tout comme nous avons assisté, dans un premier temps, à un phénomène d'industrialisation de l'agriculture, nous assistons depuis plusieurs décennies à un processus sans doute irréversible de tertiarisation de l'ensemble des activités productives. Ainsi, lorsque l'on décompose le prix des produits agricoles ou agroalimentaires sur une longue période, l'on observe que lesdits facteurs immatériels pèsent d'un poids de plus en plus lourd. Ces facteurs immatériels recouvrent des activités qui vont de la recherche-développement sur les semences, les intrants, les aliments, le progrès génétique sur les plantes et les animaux, jusqu'à - et en aval de la production - la distribution, donc la chaîne du froid, la publicité, le marketing...

A fortiori, plus nous évoluons vers des industries dites de haute technologie, plus cette part de « l'immatériel » tend à augmenter. Ainsi, estime-t-on que, dans le prix d'un microprocesseur, il y a pratiquement 95 % d'immatériel incorporé. Simultanément à ce phénomène de tertiarisation des secteurs primaires et secondaires, nous assistons à la poursuite d'un phénomène d'industrialisation d'activités traditionnellement tertiaires, marchandes ou non marchandes, qui se manifeste par le remplacement de certains services par l'acquisition d'équipements : hier la machine à laver, aujourd'hui les industries culturelles et sportives.

La frontière entre l'industrie et les services devient donc de plus en plus floue. Deux mouvements sont de fait à l'œuvre : d'une part, dans leur recherche d'efficacité, les entreprises industrielles se recentrent sur leur cœur de métier et externalisent y compris des tâches liées à la production ; d'autre part, les entreprises industrielles sont incitées par l'évolution de la

demande à associer une part croissante de services à leurs produits industriels (biens complexes...). Tout cela signifie que les principales sources de valeur ajoutée se déplacent de la possession de matières premières ou de la capacité à produire des biens manufacturés à faible valeur ajoutée vers notre capacité à produire des idées, des concepts qui sont introduits dans les produits, le phénomène étant parfois dénommé par certains économistes comme l'essor de « l'économie de la fonctionnalité », par d'autres comme l'émergence de l'économie de l'immatériel, ou encore par le concept de « révolution de l'intelligence ».

Du fait de cette dématérialisation des activités productives, nous assistons à l'émergence d'une « nouvelle économie » qui n'a rien à voir avec la net-économie des années 2000.

Un nouveau paradigme technico-économique

Cette « nouvelle économie » revêt un certain nombre de caractéristiques particulières. Nous n'en citerons ici que trois qui constituent autant de tendances lourdes :

- la première est relative à la déconnexion croissante entre la croissance économique et la consommation de matières premières minérales et minières, énergétiques et non énergétiques. Ce phénomène étant principalement lié au progrès des sciences et des techniques (rendement énergétique des machines, 50 kilos de fibres optiques transportent autant de messages téléphoniques que nous le faisons auparavant avec une tonne de cuivre...). Elle ne saurait pour autant nous amener à considérer qu'il n'y a plus aucun risque sur les approvisionnements et surtout sur les prix des matières premières (voir l'acier ou le pétrole) ;
- une deuxième caractéristique de cette « nouvelle économie » est incontestablement la déconnexion entre la sphère réelle (la production de biens et de services) et la sphère financière. La déconnexion est telle que, hormis les booms et les krachs, on estime que les flux financiers échangés à travers la planète sont quotidiennement environ cent fois supérieurs à la valeur des transactions commerciales réelles, qu'ils évoluent de manière erratique sans lien rationnel avec le dynamisme de l'économie réelle. Une question tout à fait fondamentale pour les années à venir concerne évidemment la manière de gérer cette tension entre l'activité financière et l'activité réelle des entreprises. Ici réside une incertitude majeure : soit que la financiarisation de l'économie se poursuive, soit que, la responsabilité sociétale des entreprises (RSE) se développant, la tendance puisse s'infléchir ;
- une troisième caractéristique est évidemment la mondialisation de l'économie. En effet, nous entrons dans une économie qui est beaucoup plus fluide, beaucoup plus volatile, qui s'organise de plus en plus suivant une logique de réseaux à l'échelle internationale, réseaux de plus en plus déconnectés de la logique territoriale sur laquelle demeure assis le principe de souveraineté nationale (ou d'une cosouveraineté européenne). Dès lors que l'économie se mondialise, il est logique que les politiques publiques dans le cadre étroit de l'État nation perdent en efficacité, d'autant que les entreprises s'organisent suivant cette logique de réseaux, au point de former, dans certains cas, des oligopoles mondiaux dont le poids économique et financier excède de loin celui des États (voir Microsoft, par exemple).

Du fait même de cette mondialisation de l'économie, la concurrence s'accroît de manière inéluctable et la compétitivité devient un impératif incontournable.

Les enjeux technologiques liés à la compétitivité

L'inéluctable recherche de compétitivité qui s'impose aux entreprises s'opère pour l'essentiel au travers de quatre types de stratégies qui, même si elles ne sont pas foncièrement nouvelles, s'affirment de plus en plus nettement :

- au travers de la tertiarisation des activités productives, particulièrement de l'agriculture et de l'industrie, celle-ci se traduisant par la multiplication des intrants à caractère immatériel et par le passage d'une production de masse à une production de biens sur mesure, de plus en

plus souvent « service compris ». Cette tertiarisation suppose de plus en plus de coopérations entre diverses entreprises même si elles sont en compétition par ailleurs (cas de l'électronique mais aussi de l'automobile) ;

- au travers d'un phénomène d'industrialisation des services qui, certes, n'est pas complètement nouveau comme en témoigne, par exemple, la multiplication des équipements dans les foyers et, plus généralement, l'automatisation de nombreuses fonctions à caractère tertiaire ;
- cette recherche de compétitivité sur les marchés mondiaux passe inéluctablement par la modernisation de l'État et des services publics. La compétition est aujourd'hui réelle entre les nations et entre les territoires pour fidéliser les investisseurs, les entrepreneurs, les personnes qualifiées, a fortiori les attirer. D'où le défi des territoires qui doivent améliorer leur attractivité relative vis-à-vis des facteurs créateurs de richesse. Ici réside un enjeu majeur auquel on se réfère le plus souvent en parlant de pôle de compétitivité ou d'excellence, de district ou de cluster ;

- cette course à la compétitivité globale entraîne un redéploiement des activités entre les secteurs marchands, non marchands et domestiques. Traditionnellement étaient transférées du secteur marchand vers le secteur non marchand les activités à productivité stagnante. Les secteurs marchands et non marchands étant désormais solidairement confrontés à la compétition mondiale, ils ont tendance à reporter sur la sphère domestique les activités à productivité stagnante ou déclinante (la banque à domicile qui fait réaliser par le client sur son temps de loisir l'activité du guichetier d'autrefois, les associations en complément du secteur public). On observe cependant d'importantes différences suivant les pays. Si la France a fait le choix de supprimer les pompistes et les gardiens d'immeubles, tout autre est le choix opéré, par exemple aux États-Unis ou au Japon. La télémédecine va-t-elle pour une part remplacer le médecin de campagne et la télésurveillance le gendarme du quartier ?

Au-delà de ces différentes stratégies autour desquelles s'organise la recherche de compétitivité, l'innovation apparaît comme un impératif majeur. Dès que l'on parle d'innovation, tout le monde pense d'abord à l'innovation scientifique et technologique. Notamment au travers du développement des technologies de l'information et de la communication (TIC), des biotechnologies et des matériaux nouveaux auxquels il convient d'ajouter les sciences cognitives et, désormais, la « convergence de ces quatre familles de technologies ».

Rappelons d'abord que ces technologies sont radicalement différentes des technologies des générations précédentes dans la mesure où il s'agit de technologies génériques : à la différence des machines d'hier, qui étaient dédiées à un usage unique, un micro-ordinateur, par exemple, ne sert à rien du tout. En revanche, on peut greffer sur ce micro-ordinateur d'innombrables logiciels qui permettront d'en faire de multiples applications. Ce sont par ailleurs des technologies combinatoires : c'est par exemple la combinaison informatique-télécommunications, débouchant sur ce que l'on appelait hier la télématique et aujourd'hui les « autoroutes de l'information » ou encore la combinaison informatique-biologie débouchant sur la biotechnologie. Du fait même que ces technologies sont génériques et combinatoires, elles sont éminemment diffusantes. Elles ont donc vocation à se répandre dans l'ensemble de nos bureaux et de nos usines, dans les espaces publics comme dans les foyers. Pourtant les technologies ne se diffusent pas au rythme où elles sont mises au point mais au rythme auquel la société veut bien se les approprier, fût-ce au prix d'un détournement de l'usage pour lequel elles ont initialement été mises au point.

Soulignons l'importance primordiale de l'innovation socio-organisationnelle qui bien souvent joue un rôle tout aussi important que l'innovation technologique dans le processus de transformation de nos sociétés et de nos organisations. Le processus d'innovation est un processus complexe dans lequel interviennent aussi bien une dimension technologique (à laquelle est principalement consacrée cette étude) qu'une dimension socioculturelle et économique.

On ne change pas la dynamique d'une organisation humaine au rythme où l'on change ses équipements mais bien au rythme où les comportements, les formes d'organisation, le type de management sont capables d'évoluer, non sans remettre en cause au passage des mentalités et des cultures ancrées dans le passé. Le défi de l'innovation socio-organisationnelle se situe à plusieurs niveaux :

- au niveau des formes d'organisation : les experts en organisation soulignent volontiers que nous allons devoir passer des entreprises pyramidales d'hier à des entreprises dites « poly-cellulaires ». En fait, on réduit le nombre d'échelons de la pyramide, ce qui n'est pas sans poser des problèmes en termes de gestion de carrière et de promotion. Cette structure pyramidale « raccourcie » coexiste avec des équipes projets de sorte que nous nous trouvons de plus en plus face à des organisations dites « matricielles » appelant des modes de management et de gestion radicalement différents. Aussi devons-nous sans doute passer d'un management dit d'autorité à un management participatif exigeant des managers d'être des « catalyseurs d'intelligences réparties » ;
- au niveau des formes d'emploi : hier était prédominant le statut, demain sera sans doute prédominante la fonction qu'elle soit individuelle ou collective, et donc les qualifications requises pour assumer cette fonction. La rémunération, plutôt que d'être déterminée par l'ancienneté, est de plus en plus déterminée par les performances des individus (ou des équipes) au regard d'un objectif donné, et ladite performance, incidemment, déterminera l'employabilité des individus par rapport à d'autres missions qui pourraient leur être dévolues ;
- au niveau des qualifications : de plus en plus sont requises des aptitudes en termes de savoir-être (esprit d'initiative, mobilité, polyvalence...), de culture générale (savoir lire, écrire, compter, savoir se servir d'un ordinateur et, plus généralement, avoir « appris à apprendre ») et, enfin, des qualifications professionnelles dont nous serons amenés à changer à plusieurs reprises au fil d'une carrière.