

L'industrie française face à l'économie verte : l'exemple de sept filières

par Patricia Crifo, Manuel Flam, Matthieu Glachant



Rapport pour le Cercle de l'Industrie
Juin 2011



L'industrie française face à l'économie verte : l'exemple de sept filières

Rapport pour le Cercle de l'Industrie

par Patricia Crifo, Manuel Flam, Matthieu Glachant

© Patricia Crifo, Manuel Flam, Matthieu Glachant

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution
réservés pour tous les pays

Ce rapport fait suite au premier rapport macroéconomique réalisé par Patricia Crifo, Renaud Crassous-Doerfler et Manuel Flam pour le Cercle de l'Industrie sur « l'économie verte et le rôle de l'industrie dans la croissance verte » de juin 2010.

Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes rencontrées dans les entreprises qui nous ont fourni une matière précieuse sur laquelle appuyer nos analyses (liste en annexe). Nous nous sommes également appuyés sur un travail bibliographique effectué avec beaucoup d'efficacité par Marie-Charlotte Darbois, Etienne Espagne et Camille Thubin. Merci également à l'OCDE. Nous sommes enfin très reconnaissants à Sophie Bridier, Henri Garnier et Jacques Leflon du Cercle de l'Industrie pour leurs commentaires et suggestions qui ont considérablement amélioré la qualité de ce rapport. Nous restons toutefois pleinement responsables des erreurs qui subsisteraient dans le document.

Patricia Crifo, Manuel Flam et Matthieu Glachant

Sommaire

Résumé	7
Introduction	9
Les messages à retenir	11
1. Les entreprises ont une vision positive de l'économie verte	11
2. L'économie verte n'est pas encore une réalité économique centrale dans la majorité des entreprises	11
3. Demain les marchés de l'économie verte seront majeurs	12
4. Aujourd'hui, les entreprises investissent surtout dans l'innovation, la R&D et l'expérimentation	13
5. L'économie verte est déterminée avant tout par les politiques environnementales et le prix des ressources	15
6. L'économie verte sera mondiale, concurrentielle et risquée	15
7. L'économie verte crée des obligations particulières à la puissance publique	17
Sept filières stratégiques de l'économie verte	19
Biocarburants	21
Présentation de la filière	22
Positionnement stratégique des entreprises rencontrées	27
Synthèse	33
Le captage et le stockage du dioxyde de carbone	35
Présentation de la filière	36
Positionnement stratégique des entreprises rencontrées	46
Synthèse	49

Efficacité énergétique des bâtiments	53
Présentation de la filière	53
Positionnement stratégique des entreprises rencontrées	57
Synthèse	63
Smart Grids	65
Présentation de la filière	65
Positionnement stratégique des entreprises rencontrées	72
Synthèse	77
Chimie verte	79
Présentation de la filière	80
Positionnement stratégique des entreprises rencontrées	92
Synthèse	96
Stockage de l'énergie	99
Présentation de la filière	99
Positionnement stratégique des entreprises rencontrées	107
Synthèse	110
L'économie de la fonctionnalité: un modèle d'affaires original? III	
Présentation de la filière	112
Positionnement stratégique des entreprises rencontrées	118
Synthèse	124
Annexes	127
Annexe 1. Questionnaire : l'économie verte et le rôle de l'industrie dans la croissance verte	127
Annexe 2. Références	141
Annexe 3. Liste des personnes rencontrées.	145
Annexe 4. Biographies des auteurs	147
Annexe 5. Présentation du cercle de l'industrie	149

Résumé

Cette étude vise à fournir une vision circonstanciée des réalités que recouvre l'économie verte dans de grandes entreprises industrielles françaises : l'émergence de l'économie verte transforme-t-elle ces entreprises, leurs produits, les marchés dans lesquels elles opèrent ? Aujourd'hui ou demain ? Est-ce un passage obligé pour tous ou une stratégie de différenciation assurant le succès économique de quelques leaders ? Quels en sont les déterminants ? En particulier, quel est le rôle des politiques publiques ? Le travail repose sur l'analyse de sept filières vertes : les biocarburants, le captage et le stockage du carbone, l'efficacité énergétique des bâtiments, les smart grids, la chimie verte, le stockage de l'énergie et les services d'économie de la fonctionnalité. Il repose également sur les réflexions stratégiques de quinze entreprises industrielles membres du Cercle de l'Industrie, recueillies au cours d'une vingtaine d'entretiens, complétées par le dépouillement d'un questionnaire transversal. Il s'agit d'Air France, Air Liquide, Alcatel-Lucent, Alstom, Arkema, EADS, EDF, France Telecom, GDF Suez, Lafarge, Michelin, Rhodia, Saint-Gobain, Total et Veolia Environnement.

L'étude de ces filières permet de dégager quelques messages généraux :

- Si toutes les entreprises en ont une vision très positive, l'économie verte n'est pas encore une réalité économique majeure dans la majorité des entreprises rencontrées. Mais elles anticipent pour les années à venir une très forte croissance des marchés.
- En cohérence avec cette vision, les entreprises investissent aujourd'hui surtout dans de l'innovation, de la R&D et de l'expérimentation.
- L'économie verte est déterminée avant tout par les politiques environnementales et le prix des ressources énergétiques et des matières premières. En revanche, l'expression directe d'une préférence environnementale par les ménages sur le

marché des produits, par les investisseurs sur le marché du capital ou par les ONG ne semble pas être un moteur important.

- L'économie verte de demain ne sera pas différente de l'économie traditionnelle d'aujourd'hui. Elle sera mondiale, concurrentielle et risquée.
- Enfin, compte tenu du rôle central des politiques environnementales dans son émergence, l'économie verte crée des obligations particulières à la puissance publique. À cet égard, il semble primordial de parvenir à un accord international dans la lutte contre le changement climatique assurant un prix du carbone prévisible, de développer des politiques industrielles de soutien à l'innovation verte, de verdir les formations pour donner aux entreprises le capital humain nécessaire et de s'impliquer dans les processus internationaux de normalisation qui peuvent fortement influencer la compétitivité de technologies développées par nos entreprises. Le Cercle de l'Industrie a publié en avril 2010 une étude réalisée par Patricia Crifo, Renaud Crassous-Doerfler et Manuel Flam sur « l'économie verte et le rôle de l'industrie dans la croissance verte ». Cette étude a montré que les outils d'analyse existants et l'état de la science économique laissent subsister de larges incertitudes sur le potentiel réel de la croissance verte. Dans cette transition vers une économie verte ou durable, dont les contours sont difficiles à cerner tant sur le plan national que mondial, l'identification des menaces et opportunités pour l'industrie demeure un enjeu crucial à explorer.

Introduction

Le Cercle de l'Industrie a publié en avril 2010 une étude réalisée par Patricia Crifo, Renaud Crassous-Doerfler et Manuel Flam sur « l'économie verte et le rôle de l'industrie dans la croissance verte ». Cette étude a montré que les outils d'analyse existants et l'état de la science économique laissent subsister de larges incertitudes sur le potentiel réel de la croissance verte. Dans cette transition vers une économie verte ou durable, dont les contours sont difficiles à cerner tant sur le plan national que mondial, l'identification des menaces et opportunités pour l'industrie demeure un enjeu crucial à explorer.

Pour compléter cette analyse, le Cercle a souhaité lancer une nouvelle étude visant à fournir une vision plus microéconomique des réalités que recouvre l'économie verte dans de grandes entreprises industrielles françaises : l'émergence de l'économie verte transforme-t-elle ces entreprises, leurs produits, les marchés dans lesquels elles opèrent ? Aujourd'hui ou demain ? Est-ce un passage obligé pour tous ou une stratégie de différenciation assurant le succès économique de quelques leaders ? Quels en sont les déterminants ? En particulier, quel est le rôle des politiques publiques ?

Le travail repose sur l'analyse de sept filières vertes : les biocarburants, le captage et le stockage du carbone, l'efficacité énergétique des bâtiments, les smart grids, la chimie verte, le stockage de l'énergie et les services d'économie de la fonctionnalité. Il repose également sur les réflexions stratégiques de quinze entreprises industrielles membres du Cercle de l'Industrie, recueillies au cours d'une vingtaine d'entretiens, complétées par le dépouillement d'un questionnaire transversal. Il s'agit d'Air France, Air Liquide, Alcatel-Lucent, Alstom, Arkema, EADS, EDF, France Telecom, GDF Suez, Lafarge, Michelin, Rhodia, Saint-Gobain, Total et Veolia Environnement.

Compte tenu de la méthodologie employée et des sources utilisées, il est nécessaire d'apporter un certain nombre de précisions sur le périmètre de l'étude et la portée de ses résultats. Tout d'abord, elle porte sur un échantillon particulier d'entreprises. Ce sont

toutes de grandes entreprises multinationales qui ont, de ce fait, une vision de l'économie verte plus globale, et sans doute plus positive, que l'entreprise moyenne. En sens inverse, à l'exception de Veolia Environnement et de GDF Suez (Suez Environnement), elles n'appartiennent pas aux éco-industries.

La vision développée dans ce rapport dépend également du choix des filières : elles ont été sélectionnées sur la base d'une liste proposée par les entreprises. Elles ont privilégié des domaines dans lesquels elles se percevaient comme en pointe.

L'étude ne fournira pas une vision quantifiée des emplois verts. Elle montre même que cette quantification est extrêmement difficile à réaliser. En effet, à la différence du secteur des éco-industries, dans lequel tout emploi est par définition vert, l'enjeu est dans les cas ici étudiés le verdissement, plus ou moins poussé et progressif, d'emplois existants. Il est alors difficile d'en établir une comptabilité rigoureuse. Par ailleurs, le fait que dans les secteurs analysés l'activité verte se situe principalement au niveau de la R&D ne permet pas encore de mesurer les emplois qui seront créés.

Le document est organisé en deux parties. La première présente les messages principaux de l'étude qui s'appuient à la fois sur les réponses des entreprises à un questionnaire sur « l'économie verte et le rôle de l'industrie dans la croissance verte » qui leur a été soumis et sur les analyses de filières. La seconde partie inclut les sept études de filière qui peuvent être lues de manière indépendante. Le questionnaire et ses résultats sont présentés en annexe 1.

Les messages à retenir

1. Les entreprises ont une vision positive de l'économie verte

L'économie verte est-elle plutôt une opportunité de compétitivité et de performance ou une contrainte ? Plus de 60 % des entreprises ayant répondu au questionnaire considéraient l'économie verte comme une opportunité. Seules deux entreprises sur quinze y voient en premier lieu une contrainte. Pour un certain nombre d'entre elles, c'est à la fois une contrainte et une opportunité de compétitivité et de performance.

Les entreprises ont une vision remarquablement convergente des mécanismes qui peuvent créer de la valeur économique pour l'entreprise : l'économie verte correspond d'abord à une opportunité de création de nouveaux marchés. Vient ensuite l'augmentation des parts de marché dans les marchés existants. Une seule entreprise mentionne la diminution des coûts de production du fait d'une moindre consommation de matières premières ou d'énergie comme une forme importante de création de valeur.

2. L'économie verte n'est pas encore une réalité économique centrale dans la majorité des entreprises

La majorité des entreprises interrogées pensent que l'économie verte est amenée à se développer dans les années à venir. Seules deux entreprises sur quinze répondent que c'est une réalité d'aujourd'hui. Nos études de filières confirment que ces activités n'ont pas toujours un poids économique important aujourd'hui, à l'exception de la filière efficacité énergétique des bâtiments.

Ainsi, le marché du captage et du stockage du carbone (CSC) n'existe-t-il pas encore. Aujourd'hui seules des installations pilotes comme le projet de Total à Lacq ou l'installation de Sleipner en mer du Nord se développent. L'analyse est la même pour la filière smart grids, dont l'essor est programmé dans les prochaines années mais qui ne se situe aujourd'hui qu'au stade des expérimentations, fussent-elles de grande ampleur (par exemple, l'expérimentation Linky conduite par ERDF, qui vise à remplacer par des compteurs communicants les 35 millions de compteurs électriques français à l'horizon 2016).

D'autres marchés sont toutefois un peu plus développés. Dans la chimie verte, par exemple, les produits biosourcés – les produits d'origine végétale renouvelable – représentent en 2010 10 % du chiffre d'affaires et de l'emploi d'Arkema¹. En 2009, la production de biocarburants satisfaisait 2,5 % de la demande mondiale de carburant. De même, le marché mondial du stockage d'énergie représente plus de 20 milliards de dollars en 2010.

Dernier exemple, la Fleet Solution – un service d'économie de la fonctionnalité dans lequel Michelin fournit à de grandes flottes de poids lourds un service associant la fourniture et la maintenance d'un parc de pneumatiques avec une tarification au kilométrage parcouru – est en place depuis 2002. Elle génère 250 millions d'euros de chiffre d'affaires annuel, soit 1,7 % du chiffre d'affaires de l'entreprise en 2009.

3. Demain les marchés de l'économie verte seront majeurs

En réponse au questionnaire, les entreprises sont unanimes : l'économie verte n'est pas une mode passagère, et la plupart pensent qu'elle est appelée à se développer dans les années à venir.

Nos études de filières illustrent parfaitement ce point de vue. Par exemple, le marché mondial des smart grids devrait représenter entre 12 et 50 milliards d'euros par an à l'horizon 2020.

1. Les sources des données citées sont indiquées dans les études de filière de la partie 2.

Pour les biocarburants, le marché mondial de l'éthanol de première génération devrait doubler d'ici à 2020, et donc se situer aux alentours de 60 milliards d'euros sur la base des prix actuels. Si le marché mondial du Biodiésel a déjà été multiplié par 15 en quelques années, pour atteindre en 2009 une quantité produite d'environ 18 milliards de litres, la quantité produite atteindrait au moins 50 milliards de litres en 2020.

Dans la chimie, la part des produits biosourcés dans les ventes mondiales pourrait doubler, passant de 7 à 15 % d'ici dix ans. D'ici 2030, les perspectives d'évolution sur certains segments de la chimie du végétal sont particulièrement fortes. Les ventes de biolubrifiants pourraient être multipliées par 60, celles de bioplastiques et bio polymères par 200.

L'efficacité énergétique des bâtiments va suivre la même tendance. En France, le marché de la rénovation des logements, avec des solutions énergétiques performantes, qui représentait 7 milliards d'euros en 2007, devrait s'élever à 16 milliards d'euros par an à l'horizon 2020, voire même à 24 milliards d'euros par an si on y ajoute les équipements de chauffage mobilisant les énergies renouvelables qui seront installés dans l'ancien (chaudières à condensation, pompes à chaleur, chaudières individuelles au bois et solaire thermique).

Le marché du captage et du stockage du carbone (CSC) ne démarrera pas avant cinq ou dix ans. Mais il serait très significatif. Par exemple, l'investissement dans le captage au niveau mondial est estimé à 871 milliards d'euros sur la période 2010-2050, soit 21 milliards d'euros par an si on le répartit uniformément sur la période 2010-2050.

4. Aujourd'hui, les entreprises investissent surtout dans l'innovation, la R&D et l'experimentation

Convaincues du potentiel de l'économie verte, les entreprises considèrent que les filières étudiées exigent des efforts importants d'innovation et de R&D, de la part des entreprises et des pouvoirs publics. C'est la fonction de l'entreprise concernée au premier chef par l'économie verte, d'après les entreprises ayant répondu au questionnaire.

Le captage et le stockage du carbone constituent évidemment un exemple emblématique. La technologie existe mais elle doit maintenant être expérimentée. Aujourd'hui, plus de 200 projets de recherche et d'expérimentation, dont une dizaine d'unités de taille industrielle, sont programmés au niveau mondial. Les gouvernements et les institutions publiques ont annoncé des investissements d'un montant global d'environ 26 milliards d'euros. Il est prévu que ces investissements soient multipliés par 2 ou 3 en intégrant les financements complémentaires des industriels.

Dans la filière smart grids, 14 grands gestionnaires de réseaux d'électricité européens (dont RTE et ERDF) ont par exemple présenté au Smartgrids Forum en juin 2009 une initiative commune de recherche, développement et démonstrateurs (RD&D), EEGI (European electricity grid initiative), qui rassemble plus de 30 projets européens pour un budget prévisionnel de 2 milliards d'euros.

Dans la filière stockage de l'énergie, les États-Unis ont un programme très ambitieux de 16 projets pour le stockage expérimental destiné à renforcer l'efficacité et la fiabilité du réseau, à hauteur de 200 millions de dollars.

Dans la filière chimie verte, Arkema consacre la moitié de son budget de R&D à l'innovation verte et au développement des éco-technologies.

Soulignons que l'innovation verte n'est pas seulement technique, mais aussi organisationnelle et commerciale, voire sociologique. Il s'agit souvent d'inventer de nouveaux modèles d'affaires. C'est le cas par exemple de la Fleet Solution de Michelin qui propose la mise à disposition de pneumatiques à des flottes de poids lourds.

Dans une filière comme le CSC, dans laquelle les enjeux techniques sont indéniablement importants, l'acceptabilité par les populations vivant à proximité des sites de stockage est perçue comme une variable majeure qui constitue en soi un objet de recherche dans les projets pilotes en cours de développement.

Il en va de même dans la chimie verte pour les projets liés au biogaz : ce sont des projets où la création de business models joue un rôle crucial et où l'acceptabilité sociale est essentielle (concurrence alimentaire).

5. L'économie verte est déterminée avant tout par les politiques environnementales et le prix des ressources

Dans les réponses au questionnaire, la réglementation nationale et internationale est le premier facteur induisant l'émergence d'une économie verte. Nos études de filières mettent également l'accent sur l'effet des prix des ressources naturelles et énergétiques. En revanche, l'expression directe d'une préférence environnementale par les ménages sur le marché des produits, par les investisseurs sur le marché du capital ou par les ONG ne semble pas être un moteur important.

Les illustrations abondent : le démarrage du marché des biocarburants en Europe est le résultat immédiat de la directive européenne de 2003 fixant un objectif de 5,75 % de biocarburants incorporés aux carburants classiques pour l'année 2010. La position concurrentielle relative de ces carburants est directement déterminée par le prix des énergies fossiles. Le développement du marché de l'efficacité énergétique des bâtiments est directement dépendant de l'évolution du prix de l'énergie, mais également de nombreuses normes et réglementations : La directive européenne Performance énergétique des bâtiments (révision 2010), l'adoption des normes de l'International Energy Conservation Code dans onze États aux États-Unis, etc. Pour la chimie, mentionnons l'impact de la directive européenne Reach entrée en vigueur en 2007, qui vise à répertorier et évaluer la dangerosité de 30 000 produits chimiques et à réguler leur utilisation via notamment une redevance à payer sur chaque produit utilisé. Le captage et le stockage du carbone constituent l'exemple extrême d'un marché qui, à l'exception du segment particulier de l'EOR (Enhanced Oil Recovery), n'existera que si le prix du carbone déterminé par les politiques climatiques est suffisant (sur la base des estimations du coût de la technologie, au moins 30 euros la tonne de CO₂).

6. L'économie verte sera mondiale, concurrentielle et risquée

Dans les réponses au questionnaire, la concurrence internationale apparaît comme le second déterminant du verdissement des entreprises. De fait, dans de nombreuses filières, l'économie verte est d'ores et déjà le lieu d'une concurrence internationale intense, notamment de la part des pays émergents.

La chimie verte, par exemple, fait face à l'émergence d'une concurrence internationale très forte en Chine et en Inde notamment, et les grandes tendances à l'horizon 2020 seront fondamentalement dictées par cette concurrence mondiale, elle-même stimulée par des entreprises installées en Asie et au Moyen-Orient. Dans le domaine des biocarburants, le Brésil est un producteur majeur, même si les marchés restent encore très régionaux. Le stockage de l'énergie est un marché très internationalisé avec un leadership du groupe français Saft suivi par les Américains Enersys et Exide.

En matière de captage et de stockage du carbone, la présence de nombreuses grandes entreprises dans les projets de démonstrateurs suggère que, dès le démarrage de la phase commerciale de déploiement de la technologie autour de 2020, la concurrence sur le marché mondial sera intense entre des entreprises européennes, canadiennes, australiennes et japonaises.

Par ailleurs, la majorité des entreprises considèrent que l'incertitude sur le potentiel de l'économie verte est importante. Les études de filières permettent d'identifier trois principaux facteurs d'incertitude sur des variables dont nous avons souligné plus haut l'importance :

- L'instabilité des politiques publiques et l'incertitude sur la réglementation, notamment internationale. La grande question sous-jacente dans de nombreuses filières – les biocarburants, la chimie verte, le captage et le stockage du carbone, l'efficacité énergétique des bâtiments – est le niveau du futur prix du carbone.
- Un degré de maturité technologique et économique relatif – l'économie verte est souvent au stade de l'innovation et de la R&D – qui implique une forte diversité des options dans certains domaines avec des incertitudes fortes sur celles qui survivront. Certaines technologies ou certains business models disparaîtront ou seront l'objet d'applications marginales. D'autres gagneront.
- Le risque de controverses qui peut menacer l'acceptabilité par le public de certaines innovations. Par exemple, le CSC est menacé par des phénomènes de « Nimby » – la réticence des populations riveraines – qui pourraient empêcher la création de sites de stockage et le déploiement de l'infrastructure de transport. Le biogaz ou les produits biosourcés sont également concernés, dans des proportions moindres, par ce type d'incertitude.

7. L'économie verte crée des obligations particulières à la puissance publique

Comme nous l'avons vu plus haut, l'économie verte est fortement déterminée par des réglementations. Cette situation crée des obligations particulières à la puissance publique qui doit relever cinq défis :

- Parvenir à un accord international dans la lutte contre le changement climatique assurant un prix du carbone prévisible. L'avenir de nombreuses filières en dépend (les biocarburants, le stockage de l'énergie, le captage et le stockage du carbone, les smart grids). Plus généralement, chercher dans toutes les arènes internationales l'harmonisation des politiques nationales.
- Développer des politiques industrielles de soutien à l'innovation verte. Dans un contexte où les marchés sont ou seront de plus en plus internationaux, ces politiques d'offre présentent le mérite de concentrer les bénéfices qu'elles induisent sur les acteurs implantés en France.
- Gérer les trajectoires de spécialisation industrielle. Aujourd'hui, la diversité des options technologiques et économiques est encore importante dans certaines filières (par exemple, les trois options technologiques pour capter le carbone). Un tri interviendra et une spécialisation des entreprises industrielles s'opérera. La puissance publique doit accompagner ce processus pour éviter, notamment dans le domaine du soutien à l'innovation, une trop grande dispersion des efforts ; mais elle doit prendre garde à ne pas forcer une spécialisation trop précoce sur des options qui pourraient s'avérer finalement perdantes.
- Verdir les formations pour donner aux entreprises le capital humain nécessaire à l'économie verte, et poursuivre, comme c'est notamment le cas dans le secteur du bâtiment, les partenariats entre l'État et les professionnels pour développer les métiers de la croissance verte.
- S'impliquer dans les processus internationaux de normalisation qui peuvent fortement influencer la compétitivité de technologies développées par nos entreprises.

Sept filières stratégiques de l'économie verte

Biocarburants

Le terme biocarburant² désigne un carburant renouvelable constitué de dérivés industriels obtenus après transformation de produits d'origine renouvelable (végétale ou animale). C'est un nom qui présente une analogie avec le terme générique anglais biofuel utilisé internationalement et qui englobe biocombustibles et biocarburants, y compris le biogaz. On distingue, d'une part, les biocarburants issus des organes de réserve de la plante, dits de première génération et, d'autre part, les biocarburants issus de la plante entière (dont la partie lignocellulosique) ou de résidus et déchets d'origine renouvelable, dits de seconde génération³. Une troisième génération de biocarburants, produit d'une technologie innovante fondée sur la culture de microalgues, est en train d'émerger.

Après une présentation des grands enjeux de la filière biocarburants en France et dans le monde, l'étude de cas présente la vision d'un acteur majeur de la filière, Total, puis examine l'utilisation des biocarburants dans le secteur de l'aviation en mettant en perspective les engagements respectifs dans ce domaine d'Air France et d'EADS.

2. Certains préfèrent utiliser le terme agro-carburant, qui indique que le carburant est obtenu à partir de produits issus des sols agricoles. Ils estiment que le préfixe « bio » renvoie, en France, au mode de production de l'agriculture biologique, et non à l'origine de la ressource.

3. Les biocarburants de seconde génération sont obtenus à partir de biomasse sans concurrence d'usage avec l'utilisation alimentaire : paille de céréales, miscanthus, bois et résidus forestiers et cultures dédiées. Il y a deux filières de production possibles : la filière biochimique de production d'éthanol cellulosique et la filière thermochimique de production de carburant diesel de synthèse BtL (Biomass to Liquid).

Présentation de la filière

Présentation du marché

En se substituant partiellement au pétrole, les biocarburants contribuent à diminuer le volume des importations d'hydrocarbures et à réduire les émissions de CO₂ du secteur du transport, tout en fournissant des débouchés alternatifs au secteur agricole. En France, les biocarburants sont, la plupart du temps, intégrés aux carburants routiers classiques dans des proportions assez faibles (5,75 % en équivalent énergétique en 2008) ; ils sont alors utilisés sur des véhicules standards. Les biocarburants peuvent également être utilisés purs ou avec des taux d'incorporation beaucoup plus élevés (> 30 %) : ils doivent alors être utilisés sur des véhicules spécifiques, notamment les véhicules flex fuel, qui peuvent rouler à l'éthanol ou à l'essence. Ce mode de distribution des biocarburants est aujourd'hui très répandu dans certains pays, notamment au Brésil où 75 % des véhicules vendus en 2006 étaient de type flex fuel.

La filière est actuellement composée des deux principaux produits de la première génération : l'éthanol/ETBE et les biodiésels majoritairement utilisés sous la forme d'un dérivé, les esters méthyliques d'acides gras (EMAG)⁴. L'industrialisation à grande échelle des procédés de production de la seconde génération ne sera une réalité qu'à partir de 2020, tandis que les produits de la troisième génération n'en sont aujourd'hui qu'au stade du laboratoire.

En dix ans, le marché mondial d'éthanol carburant a triplé. Dans un contexte d'accroissement des taux d'incorporation dans les énergies fossiles, on estime que la demande mondiale pourrait doubler encore d'ici à 2020⁵. La production mondiale d'éthanol en 2009 est de 74 milliards de litres, pour des prix voisins de 0,55 €/l en Europe et de 0,30 à 0,35 €/l au Brésil et aux États-Unis.

4. En plus de ces biocarburants, 7 autres produits sont définis au niveau européen par la directive européenne 2003/30/CE du 8 mai 2003 : biogaz, biométhane, biodiméthyléther, bio-MTBE, biocarburants synthétiques, biohydrogène et huile végétale pure.

5. Source : F.O. Licht, cité dans "Ethanol Industry Outlook", Renewable Fuels Association, 2008, 2009 et 2010.

Le marché du Biodiésel a été multiplié par 15 en quelques années, pour atteindre en 2009 une quantité produite d'environ 18 milliards de litres (+ 11 % par rapport à 2008).

La demande mondiale de biocarburants est répartie géographiquement de manière similaire à la production. Les marchés sont en effet régionaux et font peu appel aux importations⁶. L'Amérique (Brésil et États-Unis) est le principal consommateur d'éthanol, tandis que l'Europe représente le premier débouché du Biodiésel.

Dans le cas particulier du Brésil, l'éthanol est favorisé depuis 1979, et tous les véhicules ont été adaptés pour rouler soit à l'alcool (E100), soit à un mélange d'essence contenant 25% d'éthanol. Ainsi, 2 millions de véhicules flex fuel (fonctionnant à plus de 85% de biocarburants) ont été vendus au Brésil en 2007 (soit 85,6 % de l'ensemble des immatriculations).

Au sein de l'Union européenne, la consommation d'éthanol carburant en 2009 s'est élevée à 4,3 milliards de litres (contre 3,5 milliards de litres en 2008, soit + 23 %). L'essor de la filière date véritablement de l'adoption par l'UE de la directive de 2003 fixant un objectif de 5,75 % de biocarburants incorporés aux carburants classiques pour l'année 2010⁷.

L'essor de la production de biocarburants de première génération est lié à l'adoption de mesures réglementaires, aussi bien en Europe qu'à l'étranger, pour trois motifs principaux : soutien au monde agricole ; sécurité de l'approvisionnement énergétique ; lutte contre le changement climatique.

La hiérarchisation de ces trois critères varie bien sûr en fonction de la situation de chaque pays : la recherche d'une plus grande sécurité énergétique a par exemple été l'élément déclencheur de l'engagement du Brésil dans cette filière, alors qu'aux États-Unis, comme en Europe, c'est la question du soutien au monde agricole (notamment l'industrie du maïs) qui a probablement été le facteur principal⁸.

6. Le Brésil exporte ainsi seulement 0,6 Md litres d'éthanol en direction de l'Europe.

7. Notons que la France avait quant à elle fixé un objectif de 7 % d'incorporation pour l'année 2010.

8. Aux États-Unis, l'argument de la sécurité énergétique a probablement aussi joué un rôle important, l'engagement américain dans les biocarburants étant intervenu au moment où le président Bush mettait en place une politique visant à renforcer la sécurité énergétique du pays.

En outre – mis à part le cas du Brésil, où il y a désormais une réelle rentabilité de la filière –, la différence de prix entre les carburants bio et les carburants classiques, supportée par la collectivité soit par le biais d'incitations fiscales ou de subventions publiques, soit à travers une répercussion sur le prix payé à la pompe par les utilisateurs (ou les deux), semble durable. C'est bien le support de la collectivité qui garantit l'engagement des grands groupes dans le secteur.

La chaîne de valeur de la filière et les principaux acteurs

Ethanol/ETBE

Près de 80 % de la production d'éthanol est destinée à des applications énergétiques avec deux grands producteurs en 2009 : les États-Unis (53 % de la production) et le Brésil (33 %). L'Europe est en troisième position (5 %), suivie de près par la Chine (3 %) et la Thaïlande (2 %).

En Europe, la filière de production d'éthanol carburant est dominée par Abengoa Bioenergy (Espagne) et Tereos (France), suivies par Crop-Energies, filiale du groupe sucrier allemand Züdzucker.

Le marché français de l'éthanol a été historiquement essentiellement destiné à la production d'ETBE, Total et LyondellBasell étant les deux acteurs principaux. Autrefois leader, Total n'est actuellement plus le producteur principal d'ETBE en France : 75 % de la production est assurée par LyondellBasell contre 25 % pour Total.

Biodiesel

L'Union européenne est le plus gros producteur de Biodiésel dans le monde. Les trois principaux acteurs européens sont l'Allemagne, la France et l'Italie, représentant respectivement 40 %, 20 % et 8 % de l'offre mondiale en 2008. De nouveaux producteurs sont cependant apparus depuis 2005 : les États-Unis (2 milliards de litres), le Brésil (1,5 milliard de litres), l'Argentine et certains pays d'Asie (2 milliards de litres pour la Thaïlande, l'Indonésie, la Malaisie et la Chine).

Diester Industrie est le leader européen de la production de Biodiésel avec une capacité de production de 2,3 milliards de litres. Néanmoins, si le leader européen de la production est français, l'Allemagne reste le principal producteur européen grâce à la présence de quelques grandes entreprises comme Verbio, Cargill ou ADM Biodiésel.

La production française d'EMAG est logiquement dominée par le leader européen Diester Industrie. Total n'en produit pas mais achète l'essentiel de la production en aval.

Perspective d'évolution du marché des biocarburants

La production de pétrole brut représente environ 90 millions de barils/jour dont 50 % sont transformés en carburants et principalement en essence. En 2009, la production de biocarburants représentait 1 million de barils/jour (en équivalent pétrole) soit 2,5 % de la demande mondiale en carburant. Dans ce contexte, on estime que le marché mondial de l'éthanol de première génération en 2020 devrait se situer aux alentours de 180 milliards de litres, soit 60 milliards d'euros sur la base des prix actuels. Le marché du Biodiésel atteindra au moins 50 milliards de litres en 2020.

Cependant, ce trend est peu réaliste du fait des limites tant foncières qu'environnementales des biocarburants de première génération. L'avenir du marché des biocarburants repose en fait sur l'industrialisation d'une nouvelle génération. En matière de technologie, deux filières coexisteront : thermochimie et biochimie. Cette seconde génération de biocarburants devrait émerger industriellement à l'échéance 2020, sous réserve de sa rentabilité économique effective et de la nécessaire structuration de la filière de mobilisation de la biomasse.

La recherche concernant la voie thermochimique est dominée par l'Allemagne, où la recherche sur le BTL est très avancée⁹, la Suède, la Finlande et les États-Unis. En France, plusieurs organismes et entreprises (Sofiproteol, GDF Suez, etc.) préparent la constitution de filières industrielles de biocarburants par voie thermochimique, notamment avec des partenaires comme Tenerrdis, le CEA ou l'IFP. Deux projets de démonstrateurs de recherche sont ainsi en cours d'instruction dans le cadre de l'AMI Biocarburants de

9. Source : annexe B de l'AMI Biocarburants.

l'Ademe (le projet Gaya mené par GDF Suez pour la synthèse de biogaz et le projet BioTFuel mené par Sofiproteol et Total).

Concernant la voie biochimique, la concurrence internationale sur ce champ est très rude et dominée par les États-Unis et l'Europe¹⁰. Les efforts européens restent cependant sans commune mesure avec l'ampleur des investissements américains, comme en témoigne la cartographie des unités pilotes établie par l'IAE. Quant à la France, elle ne compte aucun leader ou champion sur ce type de technologies et affiche un retard certain. Elle finance néanmoins un projet de démonstration d'importance concernant la voie biochimique, le projet Futuro¹¹.

Une autre voie innovante réside dans l'exploitation d'algues produisant de l'huile (troisième génération). Si la technologie en est encore au stade de l'expérimentation, notamment au sein de l'Ifremer (projet Shamash), la France affiche déjà un certain retard : de nombreuses start-up¹² proposent des solutions industrielles qui sont aujourd'hui en phase de test.

L'Allemagne, l'Espagne, le Royaume-Uni ou la Chine se positionnent également. Au Canada, le gouvernement vient de créer le centre I-Can qui vise à absorber jusqu'à 100 millions de tonnes de CO₂, transformées en biocombustibles ou en gaz naturel.

Néanmoins, il est important de rappeler que ces technologies sont très émergentes et que la question des rendements réels de production de biocarburants à partir de micro-algues reste posée. On estime qu'avec les process actuels, le prix au litre est de 10 euros. Par ailleurs, il est trop tôt pour savoir si les start-up américaines ou israéliennes proposeront des solutions viables sur le plan industriel.

10. Il est à noter que la Chine vient elle aussi de se lancer dans la course aux biocarburants celluloseux en construisant, avec l'aide de Novozymes, la plus grande usine pilote d'éthanol (utilisation de tiges de maïs)

11. Un second projet de démonstration doit être mentionné, même s'il est plus éloigné de la voie biochimique : le projet Osiris.

12. Etats-Unis : GreenFuel, Solazyme, Sapphire Energy, Algenol BioFuels ; Israel : Algatechnologies..

Positionnement stratégique des entreprises rencontrées

- **TOTAL : acteur central du marché des biocarburants de première génération, visant également le marché de la seconde génération et investissant dans la R&D des biocarburants « avancés » (voies biochimique et biothermique)**

Total s'est engagée sur les biocarburants de manière transversale aux différentes branches du groupe et incorporera environ 3 millions de tonnes de biocarburants en 2010 (soit 15 % de parts de marché en Europe).

L'entreprise investit à la fois dans les biocarburants de première génération (produits à partir de ressources alimentaires) et les biocarburants dits « avancés » en particulier dans les deux grandes voies biochimique et biothermique. Les perspectives concernant ces deux grandes voies dépendent beaucoup des situations locales. Par exemple, dans les régions où le stockage des déchets est sujet à controverses, la thermochimie à partir des déchets est un enjeu important. De même, la thermochimie à partir du bois se développera en priorité dans les pays disposant d'un réel potentiel (pays scandinaves et France). Ces deux filières ne sont donc pas en opposition mais demandent aux entreprises du secteur de faire preuve de beaucoup d'adaptabilité et d'une approche très locale.

S'agissant des biocarburants de troisième génération, la technologie est à un stade très en amont de recherche. Total travaille sur ce domaine en partenariat avec certaines universités, mais il s'agit de projets très complexes et très ambitieux, à un horizon de plusieurs décennies.

Concernant les perspectives d'évolution du marché, le taux d'incorporation pourrait se monter à 6 % en 2020, soit une production de 2,5 millions de barils/jour, vraisemblablement à plus de 90 % de biocarburants de première génération. Les biocarburants avancés s'imposeront plutôt dans la décennie suivante.

Pour Total, *les pouvoirs publics ont un rôle moteur à jouer pour le développement des biocarburants, dans un contexte de concurrence mondiale*. En effet, les technologies dans le domaine des biocarburants ne manquent pas, mais elles ne sont pas encore matures. L'acteur public a donc un rôle majeur à jouer afin d'accélérer la R&D. La France fait face à une concurrence forte, notamment en Chine et aux États-Unis, qui nécessite que les bonnes incitations soient mises en place.

Par ailleurs, il existe un risque potentiel de contrainte sur la ressource pour les biodiésels. Jusqu'à présent, la demande en biocarburants (essence et diesel) a toujours été assez faible et la ressource disponible en quantité suffisante. Pour l'éthanol, il existe une réserve de ressources supplémentaires importante, notamment au Brésil (avec des espaces exploitables sans empiéter sur la culture de produits alimentaires et sans impliquer de déforestation massive) et dans toute la frange équatoriale (en Afrique, en revanche, le contexte d'investissement est très défavorable). L'éthanol de première génération pourra donc continuer pendant un certain temps à répondre à la croissance de la demande, en se basant sur les niveaux de réglementation actuels. La situation est très différente pour les oléagineux à la base de la production de Biodiésel de première génération. Dans le cas où la hausse de la demande en carburants, tirée par l'Inde et la Chine, s'accompagnerait d'une hausse de la diésélisation, et/ou d'une augmentation des taux réglementaires d'incorporation, il existerait un risque réel de contrainte sur la ressource (à horizon 2015-2020) qui se traduirait nécessairement par une hausse du prix répercutée sur le consommateur final. En France, on atteint déjà les limites (production de colza), ce qui implique l'importation d'huiles (de palme, de soja...) pour la production de Biodiésel de première génération.

Enfin, les réglementations paraissent encore trop fragiles à des investisseurs qui restent relativement prudents. Dans un contexte d'incertitude réglementaire (la réglementation pourrait notamment être remise en cause par des pressions externes sur les finances publiques par exemple), les banques sont assez frileuses et réticentes à investir sur ce marché. Cela se traduit par exemple aux États-Unis par de grosses difficultés pour les producteurs de biocarburant à récolter des fonds pour mettre en place de nouvelles usines pilotes.

- **Air France : miser sur les biocarburants pour réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur aérien en encourageant la production, pour l'instant inexistante, à travers des partenariats stratégiques**

L'engagement d'Air France dans le domaine des biocarburants est principalement lié aux pressions extérieures sur le secteur de l'aviation dans le cadre des nouveaux enjeux environnementaux liés au réchauffement climatique et aux émissions de gaz à effet de serre (l'aviation est responsable à elle seule de 2 % des émissions mondiales de GES).

Le risque que les questions environnementales affectent la capacité de développement du secteur¹³ est d'autant plus important pour l'industrie qu'il n'existe pas, à court ou moyen terme, d'alternative permettant une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre liées au secteur aérien. Dans ce contexte, l'incorporation de carburants bio au kérosène actuellement utilisé représente une alternative intéressante pour réduire l'impact environnemental en travaillant en amont sur les émissions induites par le processus de production du carburant (matière première, extraction, transport, transformation...).

Le prix du carburant ne joue donc qu'un rôle mineur dans l'engagement d'Air France en faveur des biocarburants (même s'il peut représenter jusqu'à 30 % du coût de certains vols longue distance). De fait, le marché des carburants fossiles est par nature marqué par un ensemble de contraintes (volatilité des prix, dépendance à la parité d'échange euro/dollar et risques liés à la sécurité des approvisionnements) auxquelles l'entreprise s'adapte depuis longtemps. Par ailleurs, les prévisions d'augmentation du prix du kérosène au niveau du pic de 2008 sont plutôt à l'horizon 2030 sans que, parallèlement, on n'envisage de rupture de la demande de transport aérien. Enfin, la mise en place de marchés carbone n'est pas perçue comme une contrainte nécessitant une réorientation de la stratégie, car il faudrait que le prix du carbone atteigne environ 200 euros pour que le prix du kérosène, qui se situe actuellement autour de 500-600 euros la tonne, double.

Cependant, la substitution de biocarburants à une partie du carburant d'origine fossile représente un réel enjeu en termes de maîtrise des prix (diminution des intermédiaires et donc des marges prélevées) ainsi que de la chaîne d'approvisionnement (meilleure sécurité d'approvisionnement puisque l'essentiel de la production se situerait en France). Développer une filière française de carburants alternatifs, pouvant être incorporés à des niveaux significatifs¹⁴, représente donc une réelle opportunité de rupture de la chaîne classique d'approvisionnement. Cependant, il n'existe pas actuellement chez Air France de stratégie établie dans ce sens.

Les perspectives d'utilisation des biocarburants dans le secteur aérien ont été identifiées de manière assez récente, sur la base de nombreux vols tests, dont un par KLM fin 2009, ayant démontré la compatibilité des biocarburants pour l'aviation.

13. Le nouveau gouvernement britannique a par exemple annulé le projet de construction d'une troisième piste pour l'aéroport d'Heathrow pour des raisons de lutte contre le changement climatique.

14. Les carburants issus du procédé Fischer-Tropsch sont certifiés jusqu'à un mélange de 50 %, même s'il n'est pas envisageable d'atteindre un tel niveau avant longtemps faute d'offre.

Globalement, deux types de biocarburant sont envisageables pour une utilisation dans les transports aériens. Il s'agit d'une part du BtL (Biomass to Liquid) obtenu à partir du procédé Fischer-Tropsch (qui permet aussi de produire du GtL : Gas to Liquid, et du Ctl : Coal to Liquid), certifié depuis 2009 pour l'aviation, pour un mélange 50-50. Avec une vraie filière de production, ce type de carburant serait directement utilisable sur des vols commerciaux. Et il s'agit d'autre part des huiles hydro-traitées, actuellement en cours de certification (attendue pour 2011). De nombreux vols tests se sont déroulés sans présenter de difficulté. Au cours des tests, ces carburants ont révélé part ailleurs d'autres qualités environnementales, notamment le fait d'émettre moins de soufre lorsqu'ils sont consommés.

L'éthanol en revanche n'est pas une solution envisageable, le point de congélation n'étant pas compatible avec les températures de - 50°C/- 60°C dans lesquelles évoluent les avions. Les autres pistes de recherche restent encore à un niveau très en amont.

Actuellement, il existe une demande dans le secteur des biocarburants destinés à l'aviation (certaines compagnies se sont d'ores et déjà portées acquéreuses), mais pas de producteurs. Les raisons de cette situation ne semblent pas clairement identifiées, même s'il paraît évident que certains acteurs (les producteurs de carburants fossiles notamment) n'ont pas forcément intérêt à pousser dans le sens de l'essor de cette filière.

Sur le plan économique, l'industrialisation du processus de fabrication combinée à l'augmentation du prix du kérosène (structurelle et liée aux taxes et autres mécanismes visant à attribuer un prix au carbone) pourrait rendre les biocarburants compétitifs à horizon 2015-2025.

Sur le plan environnemental, les gains en termes d'émissions carbone restent à évaluer précisément. L'industrie aérienne s'est engagée à n'utiliser les biocarburants que si le gain en contenu carbone était supérieur à 60 %, ce qui représenterait un gain de 30 % sur un vol sur la base d'une incorporation à 50-50. Au niveau sectoriel, les membres de l'IATA (International Air Transport Association) se sont fixé un objectif d'incorporation de 6 % en 2020 (dont l'atteinte dépendra bien évidemment du développement de l'offre).

Plusieurs projets concrets sont en développement.

Par exemple, British Airways met en place un projet de production de BtL à partir des déchets de la ville de Londres, qui évitera à celle-ci de payer des taxes de mise en décharge.

Le projet Syndiese, porté par le CEA en partenariat avec Air France et d'autres partenaires industriels, est un projet de démonstrateur pré-industriel à Bure-Saudron (départements de la Meuse et de la Haute-Marne). L'objectif est de démontrer la faisabilité technique et la viabilité économique d'une chaîne complète de production de biocarburants de seconde génération en France, depuis la collecte de la biomasse jusqu'à la synthèse de carburant. Le projet vise ainsi à produire du biocarburant (Biodiésel, puis biokérosène) en quantité très significative (objectif : 23 000 tonnes/an) et ainsi à définir un modèle d'usine en vue d'un déploiement industriel en France à l'horizon 2015 (démarrage de la production envisagée fin 2012 sous réserve de validation du projet par le gouvernement). Le démonstrateur sera représentatif d'une échelle industrielle (échelle 1/10^e) et fortement instrumenté pour modéliser le procédé et en identifier les limites.

Le projet doit mettre en valeur les ressources dont dispose la France : résidus forestiers ne générant pas de conflits d'usage avec les industries du bois, puis paille et déchets verts, voire produits issus de la culture mais seulement pour la partie non destinée à l'alimentation. Son originalité est de mettre au point un procédé d'apport d'hydrogène en cours de production pour améliorer le rendement de l'installation ; le rendement étant en effet aujourd'hui la principale limite de la voie BtL, très prometteuse par ailleurs.

- **EADS: des engagements publics de réduction de ses émissions de CO₂ obligeant à rechercher des solutions concrètes pour lui permettre d'atteindre ces objectifs**

Pour EADS, plusieurs éléments justifient le développement des biocarburants dans le secteur de l'aviation. Premièrement, la consommation de carburant liée au secteur aérien est relativement faible comparée aux volumes utilisés dans le transport routier (seulement 12 % des utilisations de carburant dans le domaine des transports, soit 220-230 millions de tonnes/an). Des niveaux d'incorporation importants peuvent donc être envisageables sans pour autant que la production de la biomasse nécessaire fasse concurrence à la culture de ressources alimentaires.

Deuxièmement, contrairement aux voitures pour lesquelles la solution électrique est envisageable, l'utilisation de biocarburants est l'unique façon de réduire significativement l'empreinte carbone du secteur aérien dans les décennies à venir. Aux États-Unis, un programme visant à développer l'utilisation de biocarburants pour les avions de l'Air Force a d'ailleurs été mis en place récemment (tests de vol sur plusieurs types d'appareil

au cours de l'année 2010), l'objectif étant de réduire au maximum la dépendance vis-à-vis des pays producteurs de pétrole.

La recherche sur les carburants ne relève pas des métiers d'EADS, mais son intérêt pour la filière porte sur l'efficacité énergétique des appareils comme facteur de compétitivité.

Le budget consacré à la R&D sur les biocarburants pour avion est relativement limité (environ 4-5 % du budget recherche d'Airbus est consacré aux biocarburants et au total 10-15 % au développement d'énergies alternatives), mais il est en phase d'augmentation puisque les recherches ont été lancées en 2008. L'un des enjeux de l'entreprise est donc de trouver des leviers afin d'inciter les autres acteurs à investir dans ce domaine.

En dépit d'une réelle demande de la part des compagnies aériennes, l'offre est toutefois encore inexistante. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette absence d'offre : un procédé relativement récent (l'aviation s'est intéressée aux biocarburants plus tard que le secteur automobile) ; des investisseurs hésitants à s'engager dans ce secteur (suite aux aléas des biodiésels notamment) ; un secteur de faible taille (relativement au secteur des transports routiers) ; et un coût de production plus élevé que le Biodiésel en raison des spécifications très strictes imposées par les exigences de sécurité aérienne.

Dans ce contexte d'incertitude et de compétition entre les technologies, les acteurs restent hésitants.

Les enjeux de la filière ne sont pas de passer de 50 à 100% d'incorporation, mais simplement de créer une offre, puis la développer pour atteindre une production nécessaire à une incorporation 50-50. Autrement dit, L'enjeu majeur réside dans la mise en place de la chaîne d'approvisionnement. Airbus envisage pour cela de faire un cas pilote de A à Z (de la biomasse jusqu'au réservoir de l'avion) qui permettrait de détecter les étapes de la chaîne qui risquent éventuellement de poser problème pour une application à échelle industrielle.

Synthèse sur les biocarburants

La filière aujourd'hui

En dix ans, le marché mondial d'éthanol carburant a triplé : en 2009, la production mondiale est de 74 milliards de litres, pour des prix voisins de 0,55 €/l en Europe et de 0,30 à 0,35 €/l au Brésil et aux États-Unis.

Le marché du Biodiésel a été multiplié par 15 en quelques années, pour atteindre en 2009 une quantité produite d'environ 18 milliards de litres (+ 11 % par rapport à 2008).

L'essor de la production de biocarburants de première génération est lié à l'adoption de mesures réglementaires, aussi bien en Europe qu'à l'étranger, pour les trois raisons suivantes : soutien au monde agricole ; sécurité de l'approvisionnement énergétique ; lutte contre le changement climatique.

Les perspectives

Aujourd'hui, la production de pétrole brut représente environ 80-90 millions de barils/jour dont 50 % sont transformés en carburants et principalement en essence. La production de biocarburants représente 1 million de barils/jour (en équivalent pétrole) soit 2,5 % de la demande mondiale en carburant.

Dans ce contexte, on estime que le marché mondial de l'éthanol de première génération en 2020 devrait se situer aux alentours de 180 milliards de litres, soit 60 milliards d'euros sur la base des prix actuels. Le marché du Biodiésel atteindra au moins 50 milliards de litres en 2020.

Implications pour les politiques publiques

Les grands enjeux pour le développement de la filière sont les suivants :

- garantir le succès de la transition de la première génération (1G) à la seconde génération (2G) de biocarburant ;

- faciliter la production de biocarburants de seconde génération pour le secteur routier et le secteur aérien ;
- enfin, concernant la troisième génération, la France doit se doter d'une stratégie nationale de recherche et développement qui permettra de connaître le potentiel réel de développement des micro-algues.

Le captage et le stockage du dioxyde de carbone

Depuis quelques années, les économies d'énergie et les énergies renouvelables et nucléaires ne sont plus considérées comme les seules options disponibles pour limiter les émissions de gaz à effet de serre. Il est également possible de capter le gaz carbonique émis par les centrales électriques à gaz ou à charbon ou par certaines grandes installations industrielles (cimenteries, usines sidérurgiques, etc.), de le comprimer puis de l'injecter à grande profondeur pour un stockage géologique de long terme.

La solution du captage et du stockage du dioxyde de carbone (le CSC) n'est aujourd'hui pas commercialement disponible. Les technologies nécessaires ont été validées dans des pilotes et sont aujourd'hui prêtes pour des tests dans des démonstrateurs de taille industrielle. Ces tests sont une étape incontournable pour démontrer la fiabilité des installations et diminuer des coûts aujourd'hui trop élevés.

Plus de 200 pilotes et démonstrateurs industriels sont en construction ou programmés dans les années qui viennent et un marché commercial devrait apparaître avant 2020. Une filière économique est donc en train d'émerger. Cette étude se propose d'en dessiner les contours puis de décrire comment se positionnent quelques entreprises françaises.

Elle est organisée en trois parties. Dans la première, nous présentons la filière. Une deuxième partie présente le positionnement de cinq entreprises rencontrées lors de l'étude : Alstom, Air Liquide, EDF, GDF Suez et Total. Une dernière partie résume les messages à retenir de l'analyse.

Présentation de la filière

La technologie

Le procédé comporte trois étapes nettement distinctes : le captage, le transport puis le stockage géologique. Le captage n'est pas à proprement parler une nouvelle technologie. Il est mis en œuvre depuis de nombreuses années dans l'industrie chimique ou l'industrie gazière par exemple. Toutefois, son utilisation pour extraire le dioxyde de carbone émis par la combustion de carburants fossiles dans de grandes installations industrielles et thermiques nécessite de relever des défis techniques particuliers. Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des trois approches technologiques possibles.

La première approche dite de la post-combustion consiste à capter le CO₂ après combustion du carburant fossile en utilisant des solvants chimiques ou des procédés physiques pour séparer le CO₂. Le système le plus courant utilise des amines et a été développé pour séparer le gaz naturel du CO₂ à la sortie des puits d'extraction. Adapter cette technologie à une centrale à charbon, une centrale à gaz ou une cimenterie n'est pas évident car l'effluent à traiter est à basse pression et contient diverses impuretés qui peuvent interférer avec l'action des solvants.

La seconde approche dite de l'oxycombustion consiste à réaliser la combustion avec l'oxygène extrait par cryogénie. Ce type de combustion produit un effluent très concentré en CO₂ qui est donc plus facile à capter. Cette solution est techniquement fiable. Restent à étudier les échanges de chaleur et les effets de corrosion.

La dernière approche dite de la précombustion consiste à gazéifier le combustible fossile – le charbon, le fioul ou la biomasse – avant la combustion. Cette gazéification produit de l'hydrogène et du monoxyde de carbone. Après séparation et réaction du monoxyde de carbone avec de la vapeur d'eau, on obtient du CO₂ d'une part et de l'hydrogène d'autre part qui brûle sans émettre de dioxyde de carbone.

D'autres méthodes sont possibles comme la séparation par membrane ou la boucle chimique, mais elles sont aujourd'hui à un stade beaucoup plus précoce de développement.

Chacune présente des avantages et des inconvénients (tableau ci-dessous) et, comme elles reposent sur des concepts techniques extrêmement différents, les défis à résoudre et donc les trajectoires d'innovation sont distincts. Il est aujourd'hui difficile de savoir si l'une l'emportera ou si elles coexisteront pour des applications différentes. Chacune est d'ailleurs soutenue par des entreprises majeures et mise en œuvre dans des projets de démonstration.

Tableau I : Les trois modes de captage du dioxyde de carbone

Méthode de captage	Postcombustion	Oxycombustion	Précombustion
Utilisation d'origine	Purification de gaz naturel	Procédés industriels à haute température	Procédés de gazéification
Principe de captage	Lessivage des fumées avec un solvant chimique	Combustion à l'oxygène	Production d'hydrogène à partir de carbone et d'eau avant combustion
Principaux défis techniques	Efficacité énergétique Identification du meilleur solvant Coûts d'installation Nécessité de très fortes compressions pour le transport	Coût de production de l'oxygène Conception des brûleurs Nécessité de très fortes compressions pour le transport	Coût Complexité de l'intégration du système Développement de turbines spécifiques pour hydrogène
Avantages clé	Technologie établie Intégration facile d'autres installations industrielles Utilisable sur installations existantes avec rendement $\geq 45\%$	Technologie fiable techniquement Production d'un flux concentré en CO ₂ Coût réduit pour centrales neuves	Dioxyde de carbone produit à haute pression, ce qui réduit le coût de l'installation de captage
Firmes impliquées dans la production et l'expérimentation	Alstom, RWE, EON, Vattenfall, Transalpa, Mitsubishi, Shell, Hitachi, BASF, UOP, HTC, Fluor, Hitachi	Doosan- Babcock, Total, Vatenfall, Hitachi, Alstom, Air Liquide, LINDE	RWE, Shell, Mitsubishi, GE, Siemens,

Les difficultés purement techniques sont moindres pour les étapes suivantes du processus que sont le transport et le stockage. Toutefois, leur mise en œuvre à grande échelle nécessite de relever des défis peut-être plus difficiles que ceux du captage. Le transport du CO₂ dans un état supercritique (à haute pression et quasi liquide) peut se réaliser par pipelines ou par bateau. Si cette étape est techniquement maîtrisée, le déploiement de l'infrastructure de transport peut soulever des problèmes d'acceptabilité par les populations locales. D'après les projections de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), il serait nécessaire de transporter près de 3 milliards de tonnes de CO₂ par an en 2030, une quantité comparable à la quantité de pétrole produite par an (environ 4 milliards de tonnes). À l'horizon 2050, l'AIE évoque la construction de 260 000 à 400 000 km de pipelines. Le CO₂ sera produit dans les zones où sont installées les industries. Il faudra donc déployer l'infrastructure de transport dans des zones très peuplées.

Le stockage géologique peut se réaliser dans des champs d'exploitation de gaz ou de pétrole épuisés, une technique pratiquée depuis plus de trente ans par les entreprises pétrolières. En effet, l'injection de CO₂ est utilisée pour augmenter la production des réservoirs sur le déclin (c'est l'EOR : Enhanced Oil Recovery) ; toutefois, comme l'objectif premier n'est pas le stockage du CO₂, la pérennité du stockage n'est pas établie. Une autre difficulté réside souvent dans l'éloignement des champs des zones de captage, ce qui augmente les coûts de transport. En Europe, ils sont ainsi principalement localisés en mer du Nord.

L'autre solution consiste à utiliser des aquifères salins profonds. L'utilisation de ces réservoirs n'est aujourd'hui pas totalement maîtrisée. En outre, les aquifères qui présenteraient les caractéristiques nécessaires pour un stockage prolongé (au-delà de 800 ans) commencent à peine à être identifiés et inventoriés. Compte tenu des volumes potentiels à séquestrer, il y a là un travail important d'études géologiques et d'expérimentation à réaliser. Le dernier défi est l'acceptabilité des sites de stockage. La mésaventure du projet de stockage de Shell à Barendrecht est dans tous les esprits. Ce projet prévoyait le stockage expérimental du dioxyde de carbone dans un champ gazier épuisé sous la commune de Barendrecht aux Pays-Bas. Il a été annulé en novembre 2010 sous la pression de la population locale.

Le CSC aujourd'hui : R&D, projets pilotes et démonstrateurs industriels

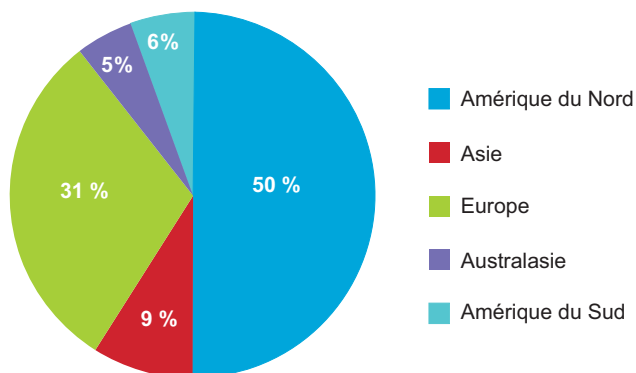
À l'opposé de la production assistée de pétrole (EOR) pour laquelle le CO₂ est une commodité dont le coût est couvert par l'usage, le CSC ne sera pas une activité commerciale avant au moins cinq ans. Afin d'être prêts pour la phase commerciale, les acteurs de la filière sont engagés dans de la R&D et de la démonstration. D'après le Global CCS Institute, 238 projets d'installations pilotes ou de démonstrateurs incluant du captage, du transport et/ou du stockage étaient en opération, en construction ou programmés en avril 2010. Sur ces 238 projets, 80 sont des projets de grande taille (supérieurs à 1 million de tonnes de CO₂/an pour le charbon, 500 millions de tonnes de CO₂/an pour le gaz), intégrant l'ensemble de la chaîne du captage au stockage. Sur ces 80, seuls 9 sont déjà construits.

La base de projets en ligne de la Zero Emission Platform¹⁵, qui répertorie 160 projets, montre que l'Amérique du Nord – États-Unis mais aussi Canada – est le leader mondial avec la moitié des projets (figure 1). Elle est suivie par l'Europe (31 %) puis par l'Asie avec seulement 9 % des projets, essentiellement au Japon, en Chine et en Inde. L'examen des annonces de financement faites par quelques pays (tableau ci-dessous) conduit cependant à nuancer le constat. En particulier, l'Union européenne va rattraper au moins une partie du retard sur l'Amérique du Nord dans la mesure où les projets qui seront financés par les 5 milliards d'euros attendus dans le cadre du programme NER 300 ne sont pas encore sélectionnés et donc non pris en compte dans la figure 1¹⁶.

Le tableau ci-après permet également d'identifier des zones géographiques manifestant la volonté de devenir des leaders de la filière : le Canada, l'Australie (qui produit et brûle beaucoup de charbon), la France, le Royaume-Uni, les États-Unis. A l'opposé, le Japon avec 85 millions d'euros semble plus modeste. Enfin, les économies émergentes comme la Chine ou l'Inde ont très peu de projets (respectivement 5 projets et 2 projets dans la base de données de la Zero Emissions Platform). La Chine a d'ailleurs un discours explicite sur le sujet : compte tenu de leur responsabilité historique dans l'accumulation de carbone dans l'atmosphère, les pays industrialisés doivent payer la R&D du CSC

15. <http://www.zeroemissionsplatform.eu/>.

16. Le dispositif NER 300 se réfère aux 300 millions de quotas d'émission issus de la réserve destinée aux nouveaux entrants (New Entrants Reserve) du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre (ETS) de l'Union européenne. Il est prévu que la Banque européenne d'investissement vende aux enchères les réserves de quotas de CO₂ disponibles. Les revenus de la vente des certificats sur le marché, supposés s'élever à 5 milliards d'euros, seront alloués pour financer les projets innovants dans les domaines des énergies renouvelables et du CSC soumis dans le cadre de l'appel à propositions NER 300.

Figure 1 : Répartition géographique des projets de démonstration de CSC

Source : Zero Emission Platform (<http://www.zeroemissionsplatform.eu/>)

Tableau 2 : Les financements annoncés par quelques pays

Pays	Montant
Australie	1,2 milliards d'euros pour démonstrateurs
Canada	2.2milliards d'euros pour R&D et démonstrateurs
Etats Unis	3,4 milliards d'euros pour le charbon propre et le CSC dans le cadre du Recovery Act
Union Européenne	1,05 milliards d'euros dans le cadre du plan de relance 4-5 milliards d'euros via les crédits du NER 300 Abondement d'Etats Membres au cas par cas
France	400 millions d'euros pour le fonds démonstrateurs de l'ADEME Une part de 1,35 milliards euros des Investissements d'Avenir pour les énergies décarbonées
Japon	85 millions d'euros
Norvège	150 millions d'euros
Royaume Uni	Financement d'un projet de grande taille à Longanett, suivi de 3 autres dans le cadre des crédits NER300
Chine	33 millions d'euros du gouvernement dans le GreenGen project ; le reste provient de partenaires étrangers

Dans ce paysage, quelques entreprises et organismes français sont extrêmement actifs. Sur les 160 projets recensés par la Zero Emissions Platform, 36 soit 22 % incluent au moins un partenaire français. Certains font partie des entreprises que nous avons rencontrées : Alstom, Air Liquide, EDF, GDF Suez et Total. Nous décrivons plus loin leurs activités. Sont également présentes des entreprises d'ingénierie comme Technip, Schlumberger, CGG Veritas et des organismes de recherche comme IFP Energies nouvelles et le BRGM, notamment dans le domaine du stockage géologique.

Ces entreprises et organismes ont une stratégie internationale : seuls 6 projets sur les 36 sont localisés en France : Castor, Picoref, le projet de Lacq, Citeph, France-Nord et le projet EDF Alstom au Havre.

Les coûts

Les coûts sont encore mal connus puisque presque aucune installation de taille industrielle sur fumées de combustible fossile n'est aujourd'hui en opération. McKinsey prévoit toutefois que le coût dans les démonstrateurs de taille industrielle dont la construction est prévue dans les années qui viennent s'échelonne de 60 à 90 euros par tonne de dioxyde de carbone évitée (tableau ci-dessous)¹⁷. À partir de 2020, les premières installations commerciales présenteraient des coûts dans la fourchette 35-50 € qui diminueraient jusqu'à 30-45 € la tonne dans les installations commerciales implantées après 2030. Dans ce coût, la part du captage serait prépondérante puisque le transport et le stockage ne coûteraient que 5 € et 10 € respectivement, même si ces deux postes de coût peuvent varier très significativement d'un projet à l'autre selon la distance à parcourir et le type de réservoir.

Tableau 3: Estimation du coût d'abattement d'une tonne de CO₂ en Europe

Démonstrateurs (2015)	60-90 €/tCO ₂ évité
Phase commerciale initiale (2020 - 2030)	35-50 €/tCO ₂ évité
Phase commerciale mature (après 2030)	30-45 €/tCO ₂ évité

Source : McKinsey, 2008¹⁸.

¹⁷ McKinsey (2008), Carbon Capture and Storage: Assessing the Economics.

¹⁸ Op. cit.

Ces estimations sont évidemment à manier avec prudence. Seule la réalisation de grands démonstrateurs permettra de les valider. Elles montrent toutefois que :

1. Le coût d'abattement par les démonstrateurs est loin du prix du carbone observé dans les pays dans lesquels ils vont être construits. Par exemple, le prix à terme sur le marché européen des droits d'émission pour une tonne de CO₂ livrée en décembre 2012 est de 18 € à la date du 13 mai 2011 (voir l'encadré 1 pour une présentation de ce marché). Cet écart justifie l'ampleur des subventions publiques sur lesquelles nous reviendrons plus loin.
2. En 2020-2030, le prix du marché du carbone européen devra au moins doubler pour déclencher la diffusion commerciale du CSC en Europe. Dans d'autres économies moins avancées aujourd'hui dans la lutte contre le changement climatique comme les États-Unis ou les grands émergents, le chemin à parcourir pour que le CSC soit rentable autour de 2020 est plus long. En fait, il est difficile d'imaginer une diffusion globale de cette technologie, en particulier dans les économies émergentes, sans un régime international ambitieux de lutte contre le changement climatique. Cette difficulté n'est pas propre au CSC ; elle existe pour de nombreuses technologies de lutte contre l'effet de serre¹⁹.

La directive 2003/87 (« directive ETS ») établissant un système européen d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dit « quotas CO₂ »

Le système européen d'échange de quotas CO₂ est mis en place pour encadrer les émissions carbone des secteurs de l'industrie lourde et de l'énergie dans les pays membres de l'Union européenne depuis 2005.

Introduit suite à la directive ETS de 2003, il fonctionne de la manière suivante : chaque État définit un plan national d'allocation de quotas (PNAQ) qui doit être

¹⁹. D'autant que le coût du CSC appliqué à la production d'électricité est par exemple moins élevé que celui de nombreuses énergies renouvelables. Source : IEA (2010), « Coûts prévisionnels de génération d'électricité », p. 87.

approuvé par la Commission. Ce PNAQ plafonne les émissions de CO₂ de l'ensemble des installations industrielles d'un pays, puis distribue des quotas d'émission à chaque installation industrielle soumise au système ETS. Les quotas sont calculés sur la base des « émissions historiques » des installations, puis ajustés en fonction de l'effort de réduction requis. En parallèle, les entreprises qui au cours de l'année n'ont pas utilisé l'ensemble des quotas de leurs installations peuvent les échanger avec celles qui sont allées au-delà du montant alloué, de sorte qu'un prix de la tonne de CO₂ se forme sur un marché. Alors qu'ils étaient jusqu'à présent alloués gratuitement, les quotas CO₂ seront mis aux enchères à partir du 1^{er} janvier 2013.

Les perspectives de marché

Le CSC apparaît comme une solution incontournable si l'on souhaite atteindre l'objectif d'une augmentation de température limitée à 2°C par rapport à la période préindustrielle, que vient d'officialiser l'accord de Cancun en décembre 2010. Cet objectif nécessite de diviser par deux les émissions générées par l'activité humaine en 2050 par rapport à 1990. D'après les Energy Technology Perspectives de l'AIE²⁰, le CSC réaliserait 19% des réductions d'émissions nécessaires entre 2010 et 2050, en troisième position derrière l'efficacité énergétique (24%) et les énergies renouvelables (21%). La même étude estime que le coût nécessaire pour diviser par deux les émissions d'ici à 2050 doublerait sans le recours au CSC (288 €/tCO₂ contre 146 €/tCO₂).

Le CSC a deux atouts principaux dans la lutte contre le changement climatique : il permet de rendre compatibles les objectifs de réduction avec l'augmentation de la consommation d'énergie à base de charbon observée dans les pays à croissance rapide, la Chine en premier lieu. C'est une solution flexible que l'on peut mettre en œuvre sur les installations industrielles et les centrales thermiques existantes (le retrofit), même si son implantation peut alors être plus coûteuse.

20. IAE (2008) *Energy Technology Perspectives*.

Le futur marché du CSC présentera trois caractéristiques majeures²¹ :

- une concentration importante : quelques milliers de sites à terme avec un taux estimé de 10 à 20 nouvelles installations par an au démarrage du marché ;
- une distribution géographique duale avec le volume le plus important dans les pays industrialisés au départ, mais un potentiel de croissance dans les pays émergents qui développent leurs secteurs industriels et de l'énergie ;
- trois segments de marché avec des clients différents : le secteur électrique, les installations industrielles (ciment, raffinage, chimie lourde, sidérurgie, etc.) et l'EOR (Enhanced Oil Recovery) qui pourrait se développer du fait de l'épuisement progressif des ressources.

Pour avoir une idée de la taille du marché, on peut se référer à la roadmap de l'AIE²² qui prévoit le montant d'investissement cumulé nécessaire sur la période 2010-2050 dans le cadre d'un objectif global de division par deux des émissions par rapport à 2005. Il serait nécessaire d'envisager :

- 3 400 installations de captage, soit un investissement de 433 milliards d'euros dans l'énergie et 438 milliards d'euros dans l'industrie. 35 % des installations seraient localisées dans les pays OCDE, le reste dans les pays émergents, avec notamment 28 % des projets en Inde et en Chine. L'Europe n'accueillerait que 320 installations, soit moins de 10 % du total mondial.
- Le déploiement de 200 000 à 360 000 km de pipelines pour un coût de 600 milliards d'euros (dont 36 % dans les pays OCDE, 33 % en Inde et en Chine).
- 65-475 milliards d'euros pour le stockage (47 % pour les pays OCDE, 26 % pour la Chine et l'Inde). La fourchette est large car les incertitudes, notamment géologiques, sont importantes.

21. Le Blanc Gilles (2009) « Eco-Innovation Case Study. Carbon Capture and Storage (CCS) », étude pour l'OCDE.

22. IAE (2010), « Carbon Capture and Storage: Technology Roadmap ».

Ces chiffres ne sont en fait pas gigantesques. Prenons l'exemple de l'investissement dans le captage : 871 milliards d'euros correspondent à 21 milliards d'euros par an si le montant est réparti uniformément sur la période 2010-2050. À titre de comparaison, cela correspond au coût de 4 réacteurs nucléaires EPR par an. Rappelons en outre que ces chiffres mesurent les besoins. Il reste à les transformer en demande solvable, ce qui requiert des politiques publiques induisant un prix du carbone au moins égal à 30 ou 40 €/tCO₂.

Dans ce futur marché, comment les entreprises françaises entendent-elles se positionner ? Le tableau ci-dessous identifie les segments dans lesquels elles envisagent a priori de jouer un rôle, même si rien n'est évidemment arrêté – rappelons que le marché ne démarrerait pas avant 2015-2020. Certaines seront principalement des acheteurs d'installations de CSC pour leurs centrales et leurs usines : il s'agit d'EDF, de GDF Suez et de Total (même si GDF Suez envisage une activité dans le transport et le stockage et Total dans le stockage pour ses besoins propres). Ces entreprises, très actives dans les projets pilotes, cherchent d'abord à être des clients informés, à même de choisir la meilleure option au meilleur prix. Au niveau de l'offre de captage, Alstom (postcombustion et oxycombustion) et Air Liquide (oxycombustion) ont des ambitions majeures. Enfin, de grandes entreprises du secteur parapétrolier comme Schlumberger et CGG Veritas entendent jouer un rôle-clé dans le stockage.

Tableau 4 : Positionnement de quelques entreprises et organismes français dans le CSC

	Acheteur	Fournisseur captage	Fournisseur transport	Fournisseur stockage
Alstom		X		
Air Liquide		X	(X)	
Total	X			(X)
GDF SUEZ	X		X	X
EDF	X			
Technip		X	X	X
Schlumberger				X
CGG Veritas				X

Note : La croix indique la présence de l'entreprise dans l'activité en question. La présence d'une croix entre parenthèse signale que l'entreprise envisage de se positionner dans cette activité, mais sans avoir pris de décision aujourd'hui.

Positionnement stratégique des entreprises rencontrées

Nous avons rencontré cinq entreprises - Alstom, Air Liquide, EDF, GDF Suez et Total - dont nous décrivons maintenant le positionnement stratégique.

Alstom : développer une offre intégrée de solutions en post et oxycombustion

Avec sa filiale Alstom Power, l'entreprise est un acteur majeur de la construction de centrales électriques. Près de 25 % de la capacité de production électrique mondiale dépend de technologies ou de services fournis par Alstom. Alstom Power fournit des turbines et chaudières pour tout type de centrales (hydro, nucléaire, charbon, gaz, fioul), des services, des systèmes de contrôle de la qualité de l'air, etc. Cette activité a dégagé un chiffre d'affaires d'environ 13 milliards d'euros en 2009, soit environ 65 % de l'activité du groupe.

Logiquement, Alstom Power cherche à devenir un leader du captage du carbone. L'entreprise mise en particulier sur la postcombustion et l'oxycombustion. Dans le domaine de la postcombustion, elle est engagée à la fois dans des projets de démonstrateurs mobilisant des technologies assez matures utilisant des solvants à base d'amines (en collaboration notamment avec Dow dans un pilote aux États-Unis), mais aussi une technologie plus avancée utilisant de l'ammoniac refroidi dont elle détient les brevets (plusieurs projets avec E.ON, AEP, TCM TransAlta en Alberta). Toutefois soucieuse de diversifier son portefeuille, elle s'implique également dans l'oxycombustion en coopérant notamment avec Vattenfall et Total (le projet de Lacq). Notons que les partenaires d'Alstom dans les grands projets de démonstrateurs ne sont jamais des concurrents potentiels, mais des clients (Vattenfall, Dow, Total, E.ON). À noter également la conception d'une offre de services CCS-Ready Studies for Power Plants : en coopération avec Schlumberger qui apporte sa compétence en matière de stockage, il s'agit de proposer à des centrales thermiques des études de faisabilité de projets de retrofit CSC.

Air Liquide : concentré sur l'oxycombustion

Air Liquide se positionne comme un fournisseur de solutions de captage. La spécificité d'Air Liquide est de privilégier l'oxycombustion, sans négliger les autres modes

de captage via sa filiale Lurgi capable de fournir des services d'ingénierie et de conception d'installations. L'oxycombustion consomme beaucoup d'oxygène et l'entreprise est le leader mondial dans la production et la distribution de gaz industriels, notamment d'oxygène, avec un chiffre d'affaires de 13,5 milliards d'euros en 2009 (dont 80 % hors de France).

L'enjeu est de taille pour l'entreprise, comme le montre un simple calcul : une centrale thermique au charbon de taille moyenne (500 MW/an) émet environ 4 millions de tonnes de CO₂ par an et la convertir à l'oxycombustion demande de fournir 10 000 tonnes par jour d'oxygène. La capacité de production d'Air Liquide en 2008 était d'environ 130 000 tonnes par jour d'oxygène²³. Or, autour de 2030, 35 centrales thermiques au charbon et 20 centrales au gaz devraient être équipées chaque année dans le monde de solutions de captage et de stockage du CO₂.

Afin d'optimiser et de sécuriser le passage de la combustion classique à celle à l'oxygène, Air Liquide accompagne ses clients dans l'évolution de leurs procédés et de leurs équipements. L'oxycombustion permet de s'affranchir du ballast d'azote présent dans l'air lors d'une combustion classique en le remplaçant par des fumées recyclées. Elle exige donc des brûleurs et des chaudières spécifiques. Air Liquide met aujourd'hui des ressources en R&D et en ingénierie pour développer ces brûleurs. L'entreprise réfléchit également à la possibilité de se développer dans le transport du dioxyde de carbone sachant que le transport de gaz industriels est une activité traditionnelle du groupe.

Air Liquide est associé à de nombreux projets. En France, dans un projet avec Total à Lacq, le groupe fournit les brûleurs, 240 tonnes d'oxygène par jour ainsi que le sécheur du CO₂ avant compression. L'entreprise est présente en Australie dans le projet Callide Oxyfuel et aux États-Unis avec Babcock & Wilcox Power Generation Group. Air Liquide participe également à des projets pour limiter les rejets de CO₂ des industries comme le projet européen Ucos, pour lequel il a développé un équipement pilote pour séparer le CO₂ des fumées de hauts-fourneaux.

23. Source : <http://www.airliquide.com/fr/le-captage-et-le-stockage-du-co2/air-liquide-et-le-captage-et-stockage-du-cosub2-sub.html>

- **GDF Suez : Être un acheteur de technologie CSC averti**

GDF Suez est une entreprise dont le cœur de métier est de produire du gaz et de l'électricité. Elle est donc d'abord concernée par le CSC en tant qu'utilisateur de la technologie pour ses centrales thermiques qui produisent de l'électricité à partir de charbon (9 % de la production) et de gaz (57 %). Au travers de sa participation à plusieurs projets, l'objectif stratégique de l'entreprise est de devenir un acheteur de technologie CSC averti quand le marché démarrera.

GDF Suez privilégie en conséquence des projets impliquant plusieurs partenaires pour mutualiser les coûts tels le projet pilote de stockage France Nord financé par l'Ademe avec GDF Suez, Total, Air Liquide, EDF, Lafarge, Vallourec, BRGM, Ifpen, Ineris, Eifer et GFZ ou le grand démonstrateur Road qui associe Electrabel (une filiale de GDF Suez) avec le producteur d'électricité allemand E.ON. C'est un projet à échelle industrielle qui intègre un captage en postcombustion, le transport et le stockage dans un champ gazier offshore.

Dans le futur, l'entreprise pourrait envisager de s'impliquer également dans le transport – le transport de gaz par pipeline est un métier de l'entreprise – et dans le stockage dans les champs gaziers épuisés qu'elle possède en mer du Nord. Le CO₂ pourrait également jouer un rôle dans le Gas Recovery ou le Oil Recovery des champs qui ont dépassé leur pic de production.

- **EDF : Assurer une veille technologique et commerciale**

Vis-à-vis du CSC, EDF a une position proche de celle de GDF Suez bien que le sujet soit moins brûlant dans une entreprise dont le parc installé en France de centrales électriques émet très peu de carbone (40 g de CO₂ par kWh en moyenne alors que l'émission est de 800 g pour une centrale à charbon). Mais EDF a des projets de construction de centrales à charbon, par exemple au Vietnam, et le charbon a plus généralement un grand avenir dans le secteur électrique. Le sujet ne peut donc être ignoré par l'entreprise. EDF participe donc à quelques projets d'envergure modeste comme au Havre sur une centrale à charbon (1/1000 de l'échelle industrielle).

- **Total : Comprendre et maîtriser la technologie**

L'entreprise est potentiellement concernée par le CSC à plusieurs titres: comme utilisateur de la technologie pour ses installations émettrices de CO₂ (champs gaziers contenant du CO₂, raffineries, etc.) et comme opérateur de captage et de stockage sur les champs pétroliers et gaziers. Elle est d'ailleurs une entreprise pionnière dans ce domaine puisqu'elle est partenaire du projet de Sleipner lancé en 1996 avec Statoil, Esso et Norsk Hydro dans lequel est capté le carbone contenu dans du gaz naturel au stade de l'extraction. L'entreprise est également partenaire du projet LNG de Snohvit, dans lequel le CO₂ associé au gaz produit est séparé et réinjecté. Total veut maîtriser techniquement l'ensemble de la chaîne et développe pour cela un programme de recherche dont l'élément aujourd'hui le plus visible est le pilote CSC de Lacq, qui constitue le premier projet en place en Europe intégrant l'ensemble du captage, du transport et du stockage. Ce projet de 60 millions d'euros utilise une solution d'oxycombustion pour capter du CO₂ qui est ensuite transporté sur 27 km pour être injecté dans un réservoir épuisé de gaz naturel à 4 500 m de profondeur.

A priori, Total ne souhaite pas faire du CSC un axe de croissance. Son but est de maîtriser les compétences nécessaires pour pouvoir utiliser cette technique sur ses projets afin de réduire ses émissions de CO₂, si un tel choix devient économiquement viable.

Synthèse sur le captage et le stockage du carbone

La filière aujourd'hui

Le marché commercial du captage et du stockage du dioxyde de carbone n'a pas encore émergé. À part l'installation industrielle de purification de gaz naturel de Sleipner en mer du Nord, il n'existe aujourd'hui que des installations pilotes comme le projet de Total à Lacq au Béarn. Près de 200 nouveaux projets de pilotes et de démonstrateurs sont en construction ou prévus au niveau mondial dans les années qui viennent, dont plusieurs dizaines de projets à échelle industrielle, avec des soutiens publics très importants.

Des entreprises françaises comme Alstom, Air Liquide, CGG Véritas, EDF, GDF Suez, Schlumberger, Technip et Total, et des organismes de recherche comme IFP Energies nouvelles et le BRGM sont très actifs puisqu'environ 20 % des projets répertoriés au niveau mondial par la Zero Emissions Platform comptent au moins un partenaire français (soit 36 projets). Ces entreprises et organismes ont une stratégie de recherche et de développement de la technologie très internationale puisque seuls 6 projets sur les 36 sont localisés en France.

Les perspectives d'évolution

À partir de 2015-2020, les perspectives de marché sont très favorables dans la mesure où le déploiement à grande échelle du CSC est indispensable si l'on souhaite atteindre l'objectif d'une augmentation de température limitée à 2°C que prévoit aujourd'hui la négociation internationale. Le CSC contribuerait pour environ 20 % à sa réalisation. D'après les calculs de l'Agence internationale de l'énergie, cela correspond à un investissement cumulé d'environ 871 milliards d'euros pour le seul captage sur la période 2010-2050, soit une moyenne de 21 milliards d'euros par an. À titre de comparaison, cela équivaut au coût de 4 réacteurs nucléaires EPR par an. Ces perspectives restent toutefois incertaines puisqu'elles dépendent du prix du carbone qui émergera après 2020 et du coût du CSC qui sera validé par les expérimentations.

Les politiques publiques

Le CSC est l'exemple type d'une activité économique qui ne peut émerger que sous l'effet de politiques publiques ambitieuses. En la matière, il est utile de distinguer deux phases : la phase d'innovation et d'expérimentation qui se terminera autour de 2015-2020 et la phase commerciale qui commencera ensuite.

La période 2010-2020

Nous avons évoqué plus haut les quelques centaines de projets de démonstration qui vont être mis en œuvre dans les années qui viennent. Ces projets ne sont évidemment pas rentables économiquement et exigent donc des subventions publiques. Il semble que les moyens annoncés par les autorités publiques

(26 milliards d'euros au niveau mondial) suffisent aujourd'hui au déploiement de ces unités. Rappelons, à titre d'illustration :

- 1,2 milliard d'euros promis par le gouvernement australien ;
- 2,5 milliards d'euros engagés par le gouvernement fédéral américain ;
- environ 5 milliards d'euros de financement de l'Union européenne via le NER 300 et le plan de relance de 2008 ;
- les 400 millions d'euros pour le fonds démonstrateurs de l'Ademe et les 1,35 milliard d'euros des Investissements d'avenir pour les énergies décarbonées.

Une inquiétude apparaît toutefois chez certains participants du fait d'anticipations pessimistes sur le prix du carbone sur la période 2015-2020. En outre, les subventions se concentrent sur les grands démonstrateurs qui testent les technologies de première génération, ce qui pourrait diminuer les soutiens disponibles pour financer les technologies de seconde génération.

Soulignons que, comme les acteurs industriels ont des stratégies internationales de R&D, les programmes nationaux de financement doivent être coordonnés au niveau international. Certains observateurs critiquent la faiblesse de cette coordination et pointent un risque de duplication des efforts de recherche.

Mais l'expérimentation ne sera pas seulement technique, elle sera sociale et l'acceptabilité par les populations des réseaux de transport et des sites de stockage peut devenir un problème, comme le font redouter les problèmes rencontrés par Shell qui vient de suspendre le projet de Barendrecht aux Pays-Bas. Dans la décennie qui vient, la puissance publique a une responsabilité majeure en matière de prévention du Nimby, de pédagogie et de transparence sur le CSC. Elle ne doit pas laisser les entreprises impliquées dans les projets gérer seules ces sujets.

Par ailleurs, ces dix années doivent être utilisées pour préparer le cadre juridique qui permettra l'essor commercial de la technologie (adaptation des procédures d'autorisation administrative d'installation des réseaux de transport, des sites de

stockage, règles de responsabilité, etc.). De ce point de vue, s'il faut saluer l'adoption de la directive européenne 2009/31/EC sur le stockage du carbone, beaucoup reste à faire.

L'après 2020

Dans le cas de l'Europe, l'instrument qui permettrait d'assurer la diffusion commerciale du CSC existe déjà : c'est le marché européen des droits d'émission de CO₂ (ETS) qui contraint depuis 2005 les émissions des futurs acheteurs de solutions CSC (énergéticiens et industries fortement consommatrices d'énergie). Compléter le dispositif avec d'autres instruments – des normes d'émissions spécifiques par exemple – ne ferait que diminuer l'efficacité économique d'ensemble de la politique climatique en faussant le choix des actions d'abattement.

En Europe, le prix de la tonne de CO₂ est aujourd'hui d'environ 18 € alors que, si la phase d'expérimentation s'achève avec succès, le coût d'abattement d'une tonne de CO₂ avec le CSC serait de 35 à 50 € d'après les projections de McKinsey . Le défi pour que le CSC se développe en Europe est à la fois simple dans sa formulation et compliqué dans sa mise en œuvre : le prix du quota doit au moins doubler à partir de 2020.

Dans les autres économies où les politiques de lutte contre le changement climatique sont aujourd'hui moins avancées (les États-Unis et les grands émergents notamment), le chemin à parcourir est plus long. En fait, seul un processus de négociation international qui débouche sur un régime de lutte contre le changement climatique ambitieux permettra une diffusion mondiale de la technologie. Le CSC n'est pas la seule technologie de lutte contre l'effet de serre dont l'avenir en dépend.

24. op. cit.

Efficacité énergétique des bâtiments

La filière française efficacité énergétique des bâtiments, avec 310 000 entreprises et 1,4 million de personnes, est l'un des moteurs principaux de la croissance verte dans notre pays. Elle est constituée d'un tissu industriel diversifié avec des groupes internationaux leaders sur toute la chaîne de valeur de l'efficacité énergétique dans le bâtiment et des PME et TPE présentes sur l'ensemble du territoire.

Dans l'étude de cas suivante, nous constaterons avec Saint-Gobain et Lafarge que, si les perspectives de croissance de la filière efficacité énergétique des bâtiments sont importantes, cette dernière doit faire face, du fait de sa taille, à une forte fragmentation et à une certaine inertie dans le changement des pratiques.

Présentation de la filière

Enjeux et segmentation

Les bâtiments résidentiels et tertiaires sont les plus consommateurs d'énergie en France (44 %) et la troisième source d'émissions de CO₂ (18 %) ; le chauffage en est le principal contributeur avec presque trois quarts des consommations d'énergie. En comparaison avec d'autres secteurs, les réductions de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂ sont les plus attractives aujourd'hui dans ce secteur avec des coûts d'abattement de la tonne de CO₂ souvent négatifs.

Pour les bâtiments résidentiels, les efforts d'amélioration de la performance énergétique doivent se concentrer sur la rénovation, en particulier sur les 19 millions de logements construits en France avant la réglementation thermique de 1975. Ces logements représentent 58 % du parc et plus de 75 % de la consommation d'énergie du

secteur : leur consommation en énergie primaire est en effet deux à trois fois plus élevée que celle des logements récents. En même temps, il faut instaurer des mesures visant à augmenter le taux de renouvellement (destruction et reconstruction) des bâtiments les plus énergivores pour lesquels les rénovations thermiques ne sont économiquement pas viables.

Pour les bâtiments tertiaires, les problématiques sont liées au type de bâtiments (grand tertiaire public ou privé *versus* petits locaux individuels), à la nature de l'activité et donc à l'usage de l'énergie (chauffage, ventilation et air conditionné, électricité à usage spécifique, etc.). Les actions d'amélioration de la performance énergétique doivent se concentrer sur les branches les plus consommatrices d'énergie : bureaux (25 % de la consommation d'énergie totale), commerces (23 %), écoles (13 %) et hôpitaux (12 %) ; et cafés, hôtels et restaurants (10 %).

La difficulté d'évolution de cette filière réside dans sa fragmentation et son atomisation. Les entreprises du bâtiment comptaient en 2006 plus de 1 400 000 actifs, dont 1 148 000

Figure 2 : Les segments de la filière

Les segments (source : BCG)			
Typologie	Caractéristiques	Marchés d'application	
		Résident.	Tertiaire
<p>1</p> <p>Rénovation des bâtiments</p> <p>2</p> <p>Équipements performants</p> <p>3</p> <p>Gestion active de la performance énergétique</p>	<ul style="list-style-type: none"> □ Isolation des fenêtres : pose de fenêtres aux performances énergétiques optimales □ Isolation des parois : pose d'isolants sur les parois opaques : murs, planchers et plafonds □ Isolation des toitures : pose d'isolants lors de la réfection de la toiture 	5-30 %	<p>✓</p> <p>✓</p>
	<ul style="list-style-type: none"> □ Utilisation des équipements performants (optimisation des solutions de chauffage, pose d'équipements d'ENR) 	Jusqu'à 30 %	<p>✓</p> <p>✓</p>
	<ul style="list-style-type: none"> □ Installation d'équipements à haut rendement énergétique : accumulateurs, lampes basse conso, etc □ Installation d'équipements de régulation : thermostats, programmations, détection de présence, etc □ Service d'optimisation de la consommation : contrats de performance énergétique 	10 à 15 %	<p>✓</p> <p>✓</p> <p>✓</p>
		Logements collectifs (chauffage collectif)	Grand tertiaire

salariés et 256 000 non salariés auxquels il convient d'ajouter 101 000 intérimaires²⁵. 310 000 entreprises concourent aux travaux du bâtiment dont 98 % de moins de 20 salariés. Si les grands groupes français sont puissants, ils ne comptent que pour une faible part de l'emploi salarié.

La filière est complexe mais peut être structurée en trois segments d'amélioration énergétique : rénovation du bâti ; adoption d'équipements performants ; et gestion active de la performance énergétique (équipements à hauts rendements énergétiques, équipements de régulation et services de performance énergétique).

Les principaux acteurs de la filière

Rénovation des bâtiments et pose d'équipements performants

Dans ce domaine, l'enjeu pour le secteur résidentiel et le petit tertiaire est énorme : sur les 2,5 millions de logements rénovés en 2006, moins de 10 % atteignent des niveaux de performance thermique satisfaisants.

Sur la filière de fabrication des équipements, les entreprises françaises possèdent entre 40 % et 75 % de parts de marché et comptent des leaders nationaux : Saint-Gobain sur les solutions d'isolation et le vitrage notamment, De Dietrich et CIAT sur les équipements de chauffage et Giannoni sur les échangeurs isothermiques, équipement principal des chaudières à condensation.

Gestion active de la performance énergétique

Pour le résidentiel collectif, notamment les logements sociaux et le grand tertiaire, l'enjeu réside dans la promotion des solutions et des services de gestion active des équipements, notamment des contrats de performance énergétique avec des objectifs quantifiés de réduction de la consommation finale d'énergie.

25. Source : Medad/DAEI.

La France compte plusieurs acteurs de poids international à l'activité historique :

- Des leaders de la gestion de l'exploitation énergétique qui détiennent à eux seuls plus de 80 % des parts du marché français : Dalkia (filiale de Veolia et EDF), Cofely (GDF Suez) et Idex.
- Des industriels de l'équipement électrique et de la régulation, avec deux grands leaders français, Legrand pour l'équipement des particuliers et Schneider Electric pour les entreprises. D'autres équipementiers de rang mondial tels Siemens (Allemagne) et Johnson Controls (États-Unis) sont également actifs en Europe et en France sur le marché émergent du contrat de performance énergétique.
- Des grands groupes de BTP ou d'ingénierie qui se diversifient, par voie de croissance endogène ou externe : le groupe Vinci (qui s'est doté d'une filiale Vinci Energies en fort développement suite à l'intégration de Cegelec en 2009), Bouygues qui a choisi une prise de participation dans Alstom, Eiffage via sa filiale Forclum, ou encore le groupe d'ingénierie lourde Spie-Batignolles. Le point commun de ces stratégies est de s'appuyer sur un savoir d'entreprise générale en conception-construction pour développer des contrats globaux de type partenariat public-privé.
- Des opérateurs de télécommunication, enfin, qui déploient, notamment sur le marché résidentiel, des solutions d'efficacité énergétique de l'habitat en s'appuyant sur des « boxes ».

Taille du marché actuel et perspectives d'évolution

En France, le marché de la rénovation des logements avec des solutions performantes s'élève à 7 milliards d'euros par an en 2007 en incluant les ventes de matériels et de services d'installation. Ce marché devra connaître une très forte croissance dans les prochaines années pour atteindre les objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement et qui sont les suivants :

- en 2012, tous les nouveaux bâtiments seront à « basse consommation » (BBC) ;

- en 2020, ils seront tous à « énergie positive » (Bepos) : une maison, un immeuble produiront chacun plus d'énergie qu'ils n'en consommeront ;
- la loi Grenelle 1 fixe un rythme de 400 000 logements à rénover par an à compter de 2013, et 800 000 logements sociaux les plus énergivores d'ici 2020 ;
- enfin, la rénovation énergétique de tous les bâtiments de l'État et de ses établissements publics devra être engagée avant fin 2012.

Si ces objectifs sont atteints, à horizon 2020, le marché de la rénovation des logements s'élèvera alors à 16 milliards d'euros par an ; et même à 24 milliards d'euros en ajoutant les équipements de chauffage mobilisant les énergies renouvelables qui seront installés dans l'ancien (chaudières à condensation, pompes à chaleur, chaudières individuelles au bois et solaire thermique).

Positionnement stratégique des entreprises rencontrées

- **Saint-Gobain : une stratégie recentrée sur le marché de l'habitat et des solutions d'efficacité énergétique intégrées et globales, en faisant le pari d'une croissance mondiale de la demande dans le domaine de l'efficacité énergétique du bâtiment.**

Saint-Gobain considère que la hausse des prix de l'énergie est inéluctable à terme, et a fondé sa stratégie sur la nécessité d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. L'idée générale est que cette tendance haussière des prix de l'énergie repose sur deux éléments principaux :

- un déséquilibre offre/demande face au caractère limité des ressources énergétiques non renouvelables ;
- l'anticipation d'une hausse du prix du CO₂ avec la mise en place de marchés carbone et de réglementations contraignantes.

Le Grenelle de l'environnement a eu un impact considérable sur la demande, qui intègre aujourd'hui des exigences fortes en termes d'efficacité énergétique, et sur le marché de la rénovation (augmentation de la demande due aux mesures mises en place pour faciliter le financement des travaux de rénovation des logements anciens). Par ailleurs, de nombreuses normes se mettent en place en Europe et dans d'autres pays dans ce sens²⁶. En parallèle, l'information du consommateur est de plus en plus précise. La prise de conscience de la nécessité d'une consommation ou utilisation plus « durable » de l'énergie fait son chemin.

En outre, l'évolution de la demande semble aller dans le sens de solutions plus « intégrées » ou « globales » afin d'atteindre ces critères d'efficacité énergétique, c'est d'ailleurs l'un des axes majeurs sur lesquels s'engage aujourd'hui Saint-Gobain.

Dans ce contexte, Saint-Gobain est passé d'une logique de produits et matériaux à une logique de marché. Le groupe a également décidé de se recentrer sur le marché de l'habitat (d'où la décision de se séparer, à terme, de son activité « conditionnement ») et s'organisera autour de trois pôles complémentaires : matériaux innovants, produits pour la construction, distribution bâtiment. La distribution bâtiment offre un point d'accès privilégié au marché des artisans du bâtiment (principaux clients). La R&D du groupe, en grande partie dans les matériaux innovants, permet de développer des solutions qui répondent aux nouveaux besoins, et la force des marques des produits pour la construction permet une diffusion rapide et économique de ces solutions.

L'enjeu est d'être en mesure de proposer des « solutions intégrées » (produits + services) afin de répondre à la demande du marché de l'habitat.

26. Directive Performance énergétique des bâtiments (révision 2010) : Nearly Zero Energy Building en 2020 ; France : bâtiments basse consommation 2012 (BBC), bâtiments à énergie positive 2020 (Bepos) ; RU : Zero Carbon 2016 ; États-Unis : adoption des normes de l'International Energy Conservation Code par onze États ; renforcement des Building Codes dans de nombreux pays. Voir Imauven (2011).

L'intégration de la question environnementale doit s'appuyer, selon le groupe, sur deux concepts de base :

- des objectifs de performance globale qui vont au-delà du produit : logique de résultat (réduction de la consommation énergétique et des émissions de CO₂ globales, des solutions proposées sur toute leur durée de vie) et non de moyens (utilisation de certains matériaux, notamment biosourcés, plutôt que d'autres) ;
- un outil unique pour évaluer la performance « écologique » d'un produit : une analyse du cycle de vie complet (ACV) du produit rigoureuse et systématique (intégration dès la phase R&D de l'analyse du cycle de vie pour toutes les activités).

Par exemple, Saint-Gobain a développé une gamme de photovoltaïques (PV) intégrés au bâtiment (création de l'entité Saint-Gobain Solar présente sur toute la chaîne de valeur de la filière PV), avec pour objectif de devenir leader dans les panneaux couches minces (deuxième génération). En matière d'efficacité énergétique, les gammes développées par le groupe portent sur les vitrages et l'isolation extérieure ou intérieure.

Les conséquences du Grenelle de l'environnement sont d'ores et déjà très concrètes : en 2010, le marché « global » de la construction, en France, a légèrement décliné (autour de - 2 %). Dans le même temps, les ventes de laine de verre d'Isover France ont progressé, d'environ 2 % en m², mais surtout d'environ 8 % en tonnes. La mise en œuvre et l'anticipation des règlements thermiques tirent les marchés de l'efficacité énergétique (une meilleure isolation, avec des produits plus denses et plus respectueux de l'environnement). Saint-Gobain a par exemple décidé de doubler la capacité de production de l'usine de laine de verre de Chemillé (Maine-et-Loire).

De manière générale, les perspectives de croissance sur ce marché sont importantes dans les pays développés, mais les types de produits demandés varient beaucoup d'un pays à l'autre car les marchés du bâtiment sont très locaux. En France, la demande de rénovation croît d'environ 1/2 point de moins que le niveau d'activité économique global (PIB), mais avec le Grenelle et autres mesures en faveur de ce marché, la progression de la demande pourrait passer au-dessus du niveau de croissance (basculément en cours de réalisation).

Ces perspectives de croissance concernent tous les segments : isolation, plaques de plâtre (innovation dans l'isolation thermique mais aussi acoustique, résistance à l'humidité, au feu, esthétique, impact pour la santé), double ou triple vitrage, etc. Par ailleurs, on note une croissance très encourageante de la demande de solutions globales ou complètes.

La formation à tous les niveaux : un enjeu déterminant du succès de la stratégie du groupe

L'absence ou le manque de formation est un frein car la mauvaise qualité de certaines offres a un impact négatif sur l'ensemble du secteur. Par le passé, la demande a été contrainte par l'offre ; aujourd'hui, avec le développement d'une nouvelle demande d'efficacité énergétique, l'offre a besoin d'évoluer. Cela passe par l'évolution des produits mais aussi par la formation des artisans et autres intermédiaires à la vente (dans le secteur de la rénovation, Saint-Gobain fait essentiellement du B to B et n'est donc que rarement l'interlocuteur direct du client final), afin de les mettre en condition de répondre à cette demande et d'intégrer les comportements responsables à tous les niveaux de la chaîne.

Ce besoin en formation (notamment formation continue) est aujourd'hui insuffisamment traité en France. Saint-Gobain a décidé de s'engager dans un important travail de formation (en 2010, 20 000 personnes ont été formées²⁷, en 2011 ce chiffre passera à 30 000 personnes) pour répondre à une logique à la fois interne (centres internes de formation, formations en partenariat avec des universités ou avec l'État) et externe (formations externalisées).

Concernant le cas spécifique des biomatériaux ou matériaux biosourcés, pour Saint-Gobain, il s'agit d'un marché de niche, essentiellement local (notamment des appels d'offres publics qui intègrent dans le cahier des charges une exigence d'utilisation minimum de ce genre de matériaux). En outre, leur avantage en termes d'impact sur l'environnement n'est pas clair pour l'entreprise, et se pose également le problème d'une exigence de performance standardisée, difficilement compatible avec une partie de ces matériaux.

²⁷. Le chiffre couvre toutes les formations à partir d'une demi-journée.

La filière bois se distingue pourtant comme possédant un vrai potentiel de croissance. Le bois représente en effet pour Saint-Gobain un matériau d'avenir et le groupe réfléchit à des solutions globales intégrant ce matériau. Les exemples d'autres pays ayant développé la filière présagent d'un potentiel de croissance important dans le domaine de la construction pour peu qu'une filière bois structurée et compétitive émerge en France – mais pas à court terme.

- **Lafarge : bénéficiaire des opportunités offertes par le secteur de la « construction durable » en offrant des produits renforçant l'efficacité énergétique des bâtiments**

L'intégration du développement durable dans la stratégie de Lafarge repose sur trois facteurs principaux.

Tout d'abord, l'augmentation des prix du carbone et de l'énergie apparaît comme le facteur principal de changement. Ceci s'explique par la très forte consommation en énergie et le niveau élevé des émissions en CO₂ nécessaires à la production des différents produits du groupe (la consommation d'énergie représente un tiers des coûts de production du ciment). Deuxièmement, le béton souffre dans certains pays d'une mauvaise image en termes d'impact sur l'environnement²⁸, avec pour conséquence une perte de parts de marché face à des matériaux concurrents comme le bois et l'acier (pour l'ossature des bâtiments) ou la brique (en remplacement du bloc béton). Enfin, la stratégie de développement durable est perçue par Lafarge comme un facteur de différenciation par rapport à ses concurrents.

La question de la réglementation et des labels (HQE, etc.) n'est pas avancée comme un facteur de changement mais joue néanmoins un rôle important.

La construction durable a été identifiée par l'entreprise comme l'un de ses trois grands axes stratégiques, il ne s'agit donc pas d'un effet de mode passager. La construction durable s'articule autour de trois dimensions : réduction des émissions de CO₂, amélioration de l'efficacité énergétique et diminution des coûts de construction.

28. Cet argument est à nuancer dans la mesure où 70 % de la demande en ciment vient de PED pour lesquels la question environnementale joue un rôle moins important et où les matériaux produits par Lafarge (ciment, béton) jouissent au contraire d'une très bonne image.

Deux démarches principales ont été retenues par l'entreprise. La première est une démarche produit, c'est-à-dire une démarche de progrès sur tous les produits (contrairement donc à une gamme spéciale de « produits verts » à côté des produits classiques).

L'entreprise a ainsi développé des produits innovants type béton isolant, isolants en polystyrène expansé, quelques ciments à très bas CO₂, bétons poreux (permettant de mieux gérer les pluies grâce au stockage de l'eau dans la porosité), etc.

La seconde est une démarche de systèmes constructifs (solutions intégrées). Il s'agit par exemple de l'utilisation des propriétés thermiques naturelles du béton pour limiter l'utilisation de chauffage et d'air conditionné. Des solutions ont également été développées pour la construction de bâtiments de grande hauteur permettant d'utiliser moins de béton (un béton qui coûte plus cher, ce qui permet de maintenir un niveau de rentabilité intéressant pour l'entreprise). Ce second volet passe par des partenariats avec les architectes afin de trouver des solutions innovantes permettant de créer de la valeur en prenant en compte toute la chaîne de construction et en incitant les promoteurs à pousser les produits béton innovants.

Les opportunités identifiées ne concernent pas uniquement les pays développés dans la mesure où certains PED adoptent également des objectifs de réduction de la consommation énergétique des bâtiments.

Concernant les matériaux biosourcés, l'entreprise fait de la veille technologique sur le sujet et s'intéresse à des solutions associant certains de ces matériaux (notamment le bois) et les matériaux Lafarge. Mais, pour le moment, il n'y pas de risque fort de concurrence entre ces branches.

Quant à la filière bois, pour Lafarge les performances en termes d'empreinte environnementale de ce matériau sont très variables, mais la menace perçue reste relativement faible car, pour le moment, les parts de marché sont limitées. Cela est dû essentiellement à des performances moyennes du matériau plutôt qu'à une structuration insuffisante de la filière.

Synthèse sur l'efficacité énergétique des bâtiments

La filière aujourd'hui

La filière efficacité énergétique des bâtiments française, avec 310 000 entreprises et 1,4 million de personnes, est l'un des moteurs principaux de la croissance verte dans notre pays. Elle est constituée d'un tissu industriel diversifié avec des groupes internationaux leaders sur toute la chaîne de valeur et des PME et TPE présentes sur l'ensemble du territoire.

Les perspectives

La combinaison des objectifs réglementaires issus du Grenelle de l'environnement et des aides accordées pour la rénovation énergétique des bâtiments devrait fortement dynamiser le marché. Le potentiel de croissance est important en cas de mise en œuvre massive de ces solutions à horizon 2020 : le marché de la rénovation des logements devrait alors s'élever à 16 milliards d'euros par an, et même à 24 milliards d'euros en ajoutant les équipements de chauffage, 110 000 emplois nets et 82 TWh économisés annuellement.

Implications pour les politiques publiques

Atteindre les objectifs extrêmement ambitieux fixés dans le cadre du Grenelle de l'environnement constitue le principal défi posé à la puissance publique s'agissant de la filière efficacité énergétique des bâtiments.

Pour piloter la mise en œuvre et le déploiement de ces mesures, le Plan bâtiment Grenelle et son comité stratégique ont été mis en place par le gouvernement début 2009.

Le comité stratégique, composé d'une soixantaine de fédérations et d'institutions, est chargé de piloter pendant une période de deux ans reconductible le suivi du Plan bâtiment. Il réunit les acteurs les plus importants du secteur – industriels, constructeurs, promoteurs, banques, etc. – et travaille sur l'ensemble des secteurs

de la construction, des bâtiments publics au logement social, en passant par les secteurs tertiaire et résidentiel.

C'est dans ce contexte, et en ouvrant en fonction des besoins constatés les chantiers pour répondre aux demandes du secteur que le cadre réglementaire doit être élaboré à l'avenir pour cette filière.

Smart Grids

Bien qu'il n'existe pas de définition standard mondiale, la plate-forme technologique smart grids de la Commission européenne²⁹ définit les réseaux intelligents comme « *des réseaux d'électricité capables d'intégrer de manière intelligente le comportement et les actions des différents utilisateurs, consommateurs, et/ou producteurs afin de maintenir une fourniture d'électricité efficace, durable, économique et sécurisée* ».

En termes concrets, rendre les réseaux intelligents consiste à améliorer l'intégration des systèmes énergétiques et la participation des utilisateurs de réseaux. Ils doivent être adaptés pour intégrer la production décentralisée de sources renouvelables à grande échelle, et pour favoriser une offre adaptée à la demande en mettant à la disposition du consommateur final des outils et services lui permettant de connaître sa consommation personnelle, et donc d'agir sur elle.

Dans cette étude de cas, nous présenterons cette filière en pleine émergence et mettrons en perspective la stratégie et le positionnement qui ont été adoptés par trois acteurs – Alcatel-Lucent, Alstom et France Telecom – des smart grids en France.

Présentation de la filière

Enjeux

Les réseaux électriques intelligents ou smart grids³⁰ constituent un champ d'innovations et d'applications industrielles majeures, qui va demander une coopération entre

29. <http://www.smartgrids.eu/>.

30. On utilisera dans l'étude les termes français ou anglais - réseaux électriques intelligents ou smart grids – de manière indifférenciée.

les entreprises des nouvelles technologies de l'information et de la communication et les entreprises de la filière électrique.

Dans ce cadre, les smart grids couvrent quatre domaines principaux :

- la maîtrise de la demande d'électricité avec des consommateurs actifs –ou des « consom'acteurs »³¹ comme les qualifie le Gimélec³² – qui pilotent leurs consommations et donc participent à l'amélioration de l'efficacité énergétique ;
- la modernisation et l'optimisation des réseaux de distribution et des réseaux de transport d'énergie ;
- l'intégration massive des énergies de sources renouvelables, dont le caractère intermittent pose problème dans les systèmes énergétiques ;
- à terme, l'insertion des véhicules électriques sur les réseaux, qui posera la question de l'infrastructure de recharge disponible.

Notons par ailleurs que les enjeux liés au développement des smart grids croisent ceux des principales filières de l'économie verte, ce qui en fait une filière centrale de la transition écologique de l'économie mondiale. On peut citer notamment :

- les filières des énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque, hydraulique, etc.) bien sûr, puisque l'un des enjeux des smart grids est d'intégrer la production décentralisée de sources renouvelables à grande échelle ;

31. Notion développée par le Gimélec lors d'une présentation du programme de recherche Homes au sein du groupe de travail Maîtrise de la demande d'énergie à la Commission de régulation de l'énergie.

32. Le Gimélec rassemble 230 entreprises qui fournissent des solutions électriques et d'automatismes sur les marchés de l'énergie, du bâtiment, de l'industrie et des infrastructures. Les entreprises membres du Gimélec génèrent un chiffre d'affaires de 11 milliards d'euros à partir de la France et de 37 milliards d'euros dans le monde.

- la filière du bâtiment, dans sa dimension « efficacité énergétique »³³, à travers le développement du bâtiment intelligent, qui recouvre à la fois la notion de maison communicante individuelle (smart home) et de bâtiments intelligents à énergie positive (smart building) ;
- les filières du véhicule électrique et du stockage de l'énergie enfin, à travers la nécessité de mettre en place une infrastructure de recharge performante.

Chaîne de valeur de la filière et principaux acteurs

La chaîne de valeur de la filière smart grids se divise en deux volets : celui recouvrant la maîtrise de la demande d'énergie par un consommateur devenu acteur – les acteurs de la chaîne « aval compteur » ; celui concernant la rénovation et la modernisation des réseaux électriques – les acteurs de la chaîne « amont compteur ».

Maîtrise de la demande d'énergie

Sur cette chaîne, ce sont les compteurs communicants qui constituent la première brique du déploiement progressif des smart grids.

Un compteur communicant est doté de capacités de communication bidirectionnelle (transmission et réception des informations) qui permet la relève à distance ainsi que le pilotage de la fourniture d'énergie. La communication s'effectue entre un ensemble de compteurs installés chez les utilisateurs et un concentrateur localisé à proximité dans le poste de distribution, via la technologie du courant porteur en ligne (CPL), qui rassemble ces données pour les transmettre au gestionnaire de réseaux.

Ainsi, à chaque compteur et concentrateur est associé un modem CPL qui code et décode les données en un signal électrique et les superpose au courant électrique à 50 Hertz.

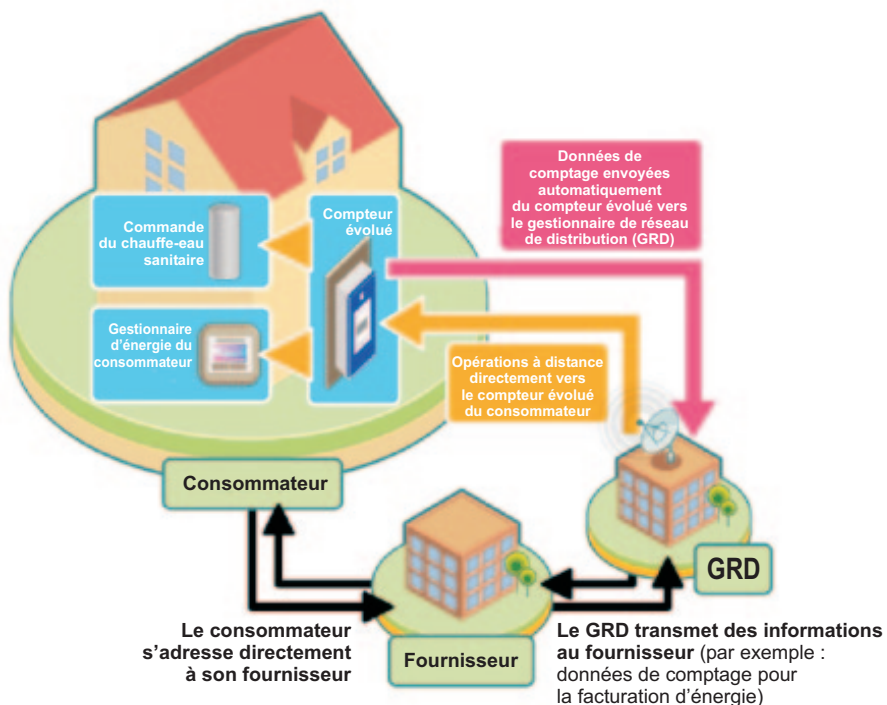
33. Rappelons que le secteur du « bâtiment vert » est celui qui, dans une logique d'accélération de la transition écologique de l'économie française, est le plus soutenu par la puissance publique : le plan Bâtiment du Grenelle environnement engagera ainsi 205 milliards d'euros d'investissements d'ici à 2020 pour renforcer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Ensuite, au niveau des concentrateurs, les données sont codées sous format numérique, puis transmises au système informatique du gestionnaire de réseau par l'intermédiaire du réseau de téléphonie GPRS.³⁴

Le schéma ci-dessous représente les relations entre le consommateur, le fournisseur et le gestionnaire de réseaux et met en perspective le rôle d'interface du compteur dit communicant ou évolué :

Morgan Stanley a évalué le marché mondial des compteurs communicants à 15 milliards de dollars par an en 2015 et 40 milliards de dollars par an en 2030, le marché se divisant en systèmes de comptage et systèmes de maîtrise de la demande d'énergie. À ce stade, c'est dans ce domaine que sont concentrés les grands projets en faveur du développement des smart grids dans le monde.

Figure 3 : Schéma d'un compteur électrique évolué



34. <http://www.smartgrids-cre.fr>.

Aux États-Unis, plus de 7 milliards de dollars ont ainsi été investis dans les projets liés au système de comptage³⁵ ; en Europe, l'Italie par exemple a pour objectif l'installation de 36 millions de compteurs d'ici à 2011, tandis qu'en France, le projet de déploiement de compteurs évolués, qui s'inscrit dans le cadre de l'expérimentation Linky conduite par ERDF, vise à remplacer par des compteurs communicants les compteurs électriques français à l'horizon 2016³⁶.

Les principaux acteurs de la fabrication de compteurs communicants sont : Landis & Gyr, Itron, Iskraemeco, Sagemcom, Ester, Schneider.

Sur la chaîne de valeur associée à la maîtrise de la demande d'énergie on trouve également les services de conseil énergétique. Ils sont proposés par les fournisseurs d'électricité : EDF, GDF Suez, Poweo, Direct Energie ; et par les entreprises assurant la gestion énergétique de bâtiments tertiaires : Veolia Environnement, Dalkia, Cofely, etc.

Ces grands groupes s'appuient généralement, sur un tissu de PME spécialisées dans le diagnostic énergétique. Notons que des grandes entreprises des TIC comme Google, Microsoft ou Cisco cherchent également à se positionner sur le segment, en offrant les fonctions d'affichage et d'analyse des données énergétiques et à terme de pilotage intelligent des consommateurs.

La dernière catégorie relevant de la chaîne de valeur liée à la maîtrise de la demande d'énergie concerne les équipements de gestion de l'énergie, qui recouvre les divers équipements aval compteur, allant des simples afficheurs déportés, qui se présentent généralement sous la forme d'un écran LCD tactile, jusqu'aux gestionnaires d'énergie contrôlant une partie des usages, en passant par les contrôleurs situés sur les équipements électriques.

35. La Californie a approuvé un programme d'amélioration des compteurs classiques par adjonction d'un processeur de communications électroniques chez 9 millions de clients ; au Texas, le projet de CenterPoint Energy a permis le déploiement de 200 000 compteurs intelligents sur un total de 2 millions de clients raccordés au réseau du distributeur, tandis qu'en Ontario l'objectif était pour l'année 2010 de garantir la généralisation totale des compteurs évolués, soit 4,3 millions de compteurs installés pour un coût global de 2 Mds d'euros.

36. La première phase d'expérimentation, qui a débuté en mars 2010 et doit se terminer le 31 mars 2011, permettra l'installation de 300 000 compteurs et 7 000 concentrateurs. Le déploiement de Linky peut conduire au développement de l'activité de fabrication en France, qui ne représente que 35 % de la chaîne de valeur des systèmes de comptage. Par ailleurs, le déploiement des compteurs communicants est une source d'activité supplémentaire pour les installateurs.

Dans ce domaine, les principaux fabricants sont les équipementiers électriques : Schneider Electric, Legrand, Deltadore, Siemens, General Electric... et les fabricants de « box » (Sagemcom, etc.), ainsi que des spécialistes en pilotage énergétique comme Alstom, qui vient d'annoncer l'acquisition de l'américain UISol pour couvrir ce nouveau segment.

Rénovation et modernisation de grands équipements de réseau

Sur cette chaîne de valeur, l'évolution des marchés repose essentiellement sur de nouveaux équipements et systèmes à destination des gestionnaires de réseau. Selon Morgan Stanley le marché mondial correspondra à 25 milliards de dollars par an en 2015 et à 60 milliards de dollars par an en 2030.

Pour les réseaux de transport, le marché mondial est dominé par quelques groupes : ABB, Siemens, Alstom Grid, General Electric, Siemens...

Les systèmes qui associent capteurs, télécommunications et logiciels et permettent une plus grande automatisation des réseaux ont été historiquement plus développés sur les réseaux de transport que sur les réseaux de distribution, jusqu'à présent relativement passifs. Ils devront être redéfinis pour devenir plus intelligents.

Sur les réseaux de distribution, les principaux équipementiers sont les mêmes que sur les réseaux de transport, auxquels il faut ajouter les spécialistes comme Schneider Electric. Les entreprises des TIC comme Alcatel-Lucent, Cisco, IBM, Orange vont certainement renforcer leur présence dans ce secteur. Ici encore, compte tenu du nombre d'installations à équiper sur un réseau, la généralisation des systèmes smart grids présente des coûts d'investissement élevés et la collaboration entre les fabricants et les gestionnaires de réseau sera donc nécessaire.

Les smart grids : un marché mondial en cours de construction³⁷

La dimension mondiale du marché des réseaux électriques intelligents et les premières valorisations financières de cette nouvelle économie de l'électricité, comprise entre 12

37. Source : www.smartgrids-cre.fr.

et 50 milliards d'euros par an à l'horizon 2020³⁸, laisse mesurer l'ampleur des projets d'investissements lancés par les acteurs de la filière à travers le monde.

L'Europe tout d'abord soutient de nombreux projets de recherche et développement (R&D) sur les technologies de smart grids. Dès 2005, elle leur a dédié une structure, la plate-forme smart grid (ETP SmartGrid – European Technology Platform)³⁹, qui coordonne les fonds des programmes cadres de recherche et développement concernés (5^e, 6^e et 7^e PCRD). Ainsi, sur la période de 2002 à 2006, le 6^e PCRD a soutenu plus de 60 projets sur la thématique « réseaux intelligents et intégration des énergies renouvelables » pour un montant total d'investissement de l'ordre de 190 millions d'euros.

En juin 2009, 14 grands gestionnaires de réseaux d'électricité européens (dont RTE et ERDF) ont présenté au Smartgrids Forum une initiative commune de recherche, développement et démonstrateurs (RD&D). Cette initiative, EEGI (European Electricity Grid Initiative), représente plus de 30 projets pour un budget prévisionnel de 2 milliards d'euros.

Depuis cette date, les initiatives européennes dans le domaine des smart grids se sont multipliées⁴⁰ et focalisées sur l'intégration des énergies de sources renouvelables dans le mix de production, avec la perspective d'augmenter l'implication des utilisateurs finaux dans la gestion du système au travers de politiques de gestion de la demande et du déploiement d'infrastructures de comptage communicant.

Aux États-Unis, l'impératif de sûreté du système électrique (lié à un sous-investissement chronique), l'augmentation de la consommation d'électricité et la difficulté croissante à construire de nouvelles lignes de transport d'électricité sont les principaux moteurs

38. Livre blanc du Gimélec sur les réseaux électriques intelligents. Cette estimation est une fourchette qui varie selon les analyses et les périmètres techniques couverts par ces mêmes analyses (on citera celle de McKinsey en référence) et qui corrobore le potentiel de marché identifié par les industriels du Gimélec sur leurs activités.

39. Cette plate-forme a été renommée Smartgrids Forum en juin 2009.

40. Ainsi, en Allemagne, le gouvernement fédéral a décidé en 2006 d'investir près de 15 milliards d'euros dans le projet « e-Energy : ICT-Based Energy System of the Future » afin de développer l'intelligence et les technologies de réseaux nécessaires pour permettre les smart grids. En Espagne, Iberdrola va investir 22 millions d'euros dans le projet Star, qui portera sur la modernisation de plus de 600 postes de transformation et le remplacement de plus de 100 000 compteurs pour les 175 000 habitants de la ville de Castellón. Le Portugal, la Grande-Bretagne et l'Italie ont également lancé des projets dans le domaine du smart metering.

du passage aux réseaux intelligents. Ce développement a été stimulé par les 4,5 milliards de dollars alloués à la modernisation des réseaux dans le cadre de l'American Recovery and Reinvestment Act (ARRA).

Il s'est concrétisé par deux vagues d'annonces du DOE (Department of Energy – ministère fédéral de l'Énergie) : 3,4 milliards de dollars de financements publics accordés à 100 projets d'investissement d'un montant total de 8,1 milliards de dollars ; 615 millions de dollars de financements publics accordés à 32 projets de démonstration (16 projets sur les réseaux intelligents, représentant un investissement total de 877 millions de dollars, part publique de 50 % ; et 16 projets sur le stockage, représentant un investissement total de 770 millions de dollars, part publique de 24 %).

L'Asie-Pacifique (Apac), enfin, n'échappe pas à la tendance de mettre en place des politiques visant à intégrer de plus en plus les énergies renouvelables et à réduire les émissions de CO₂, avec, en objectif final, le développement des réseaux électriques intelligents. Dans ce marché en pleine expansion, les gouvernements commencent à injecter des capitaux, avec des différences notables entre les différents pays. La Corée, le Japon et la Chine envisagent, par exemple, des développements de réseaux intelligents au sens large à l'échelon national. L'Australie, l'Inde et l'Indonésie se focalisent a priori plutôt sur l'amélioration de l'efficacité des réseaux existants au travers de programmes de taille plus limitée.

Positionnement stratégique des entreprises rencontrées

- **France Telecom – Orange : face à une croissance des smart grids perçue comme inévitable, l'entreprise cherche à se positionner sur l'ensemble de la filière (consommateurs finaux, distributeurs et fournisseurs d'électricité).**

Opérateur de télécommunications français implanté dans 32 pays⁴¹, Orange voit dans le développement des smart grids un relais de croissance potentiel. À l'heure où

41. Il s'agit ici des services grand public avec une implantation européenne en Espagne, au Royaume-Uni, en Belgique, en Suisse, en Pologne et en Slovaquie sur les services de téléphonie fixe, mobile et Internet. Le groupe est par ailleurs présent dans 166 pays dans le domaine des services aux entreprises.

les marchés des métiers historiques du groupe (téléphonie fixe, mobile, Internet) sont matures, le champ du smart⁴², en particulier le smart grid, est un sujet de positionnement stratégique au niveau européen nécessitant d'inventer de nouveaux modèles économiques et de nouer des partenariats afin de se positionner sur l'ensemble de la filière.

Si les smart grids sont perçus comme un relais de croissance majeur, le développement d'une offre commerciale « smart grid » n'est pas encore d'actualité. L'étape de la commercialisation est en effet subordonnée à une normalisation des pratiques mais également à l'avancement des autres acteurs du secteur, notamment sur le déploiement des compteurs communicants..

Toutefois, Orange entend se positionner sur l'ensemble de la filière, ciblant aussi bien les consommateurs finaux que le distributeur et les fournisseurs d'électricité. Si le groupe n'a pas aujourd'hui d'offre verte dans le domaine des smart grids, il possède néanmoins certaines technologies et une expertise dans le domaine de la télérelève qui lui permettraient de se positionner sur la filière, dans le segment machine to machine. Dans l'offre actuelle d'Orange, on compte par exemple la télérelève des compteurs d'eau (Lyonnaise des Eaux)⁴³ ou le pilotage à distance des chaudières, notamment pour déclencher le réapprovisionnement en fioul (Air Liquide)

Le groupe maîtrise par ailleurs deux types de technologie basse consommation dans la circulation des données à travers des réseaux maillés :

- en outdoor, la technologie Wavenis utilisée pour les applications nécessitant de transmettre de petits volumes de données sur une distance pouvant atteindre plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de mètres ;
- en indoor, la technologie ZigBee, protocole sans fil permettant la communication par ondes radio hertziennes sur de courtes distances pour des réseaux de type WPAN⁴⁴. Elle est moins chère et plus simple que le Bluetooth.

42. L'utilisation des TIC dans de nouveaux domaines pour les rendre plus efficaces.

43. Veolia Eau et France Telecom ont créé en mars 2011 la co-entreprise «m2o city», un opérateur spécialisé dans les services de télérelève des compteurs d'eau et de données environnementales. La nouvelle-née proposera une offre pour les collectivités locales, présentée comme un service clés en main basé sur un réseau radio ultra-basse consommation, qui pourra collecter, outre les informations issues des compteurs d'eau, celles de capteurs environnementaux.

44. Wireless Personal Area Networks.

Au niveau des multiples applications des smart homes, Orange dispose d'un point d'entrée majeur à travers son réseau de Livebox installées chez les particuliers. Une offre de fonctionnalité autour de l'énergie pourrait ainsi venir se greffer sur l'offre triple-play⁴⁶ existante, permettant aux consommateurs de mieux gérer leur consommation. Des services de pilotage énergétique du foyer reposant sur un dispositif scénarisé⁴⁷ leur permettraient de réduire leur facture énergétique, tout en restant simples d'utilisation⁴⁸. Ce pilotage pourrait se faire à distance par des applications mobiles, le levier stratégique étant d'offrir la plate-forme pour le développement de ces applications et non de les développer directement.

Ces services, pour lesquels la demande n'est pas encore clairement identifiée, seraient amenés à fortement se développer si les véhicules électriques se généralisaient. En effet, ce nouveau poste lourd dans la facture énergétique pourrait inciter le consommateur à souscrire à une offre lui permettant de préprogrammer la recharge de son véhicule au meilleur tarif en laissant ouverte la possibilité de recharge immédiate à tout moment. Pour les opérateurs d'électricité, l'enjeu est de mieux gérer la distribution en heure de pointe en proposant à leurs clients des offres dites d'effacement diffus⁴⁹.

Les freins majeurs au développement de la filière pour Orange sont d'abord la multiplicité des acteurs qui complexifie le développement du marché. Ne serait-ce qu'à l'aval du compteur, les applications smart au sein du foyer supposent un dialogue entre quatre secteurs économiques : les énergéticiens, les fournisseurs de supports matériels du réseau électrique, les entreprises de télécommunications et celles d'électroménager. Ceux-ci doivent s'accorder sur l'utilisation d'un ensemble de normes communes pour que les différentes composantes de la smart home communiquent.

L'absence de standardisation ralentit en effet le déploiement des offres. La question de la normalisation est surtout prégnante à l'aval de la filière, au niveau du foyer, où les quatre secteurs économiques⁵⁰ doivent s'entendre sur une base commune pour permettre

45. En 2010, Orange comptait 9,086 millions d'abonnés à une offre haut débit.

46. Offre commerciale comprenant la TV, Internet et un forfait mobile.

47. Des scénarios sont élaborés en fonction de la tarification de l'électricité et du mode de vie du consommateur.

48. La possibilité de temps réel offerte par les compteurs communicants est plutôt à exploiter en amont (fournisseurs d'électricité) qu'en aval (consommateur final).

49. Le client accepte une réduction de sa puissance disponible en période de pointe en échange de tarifs préférentiels.

50. cf. supra.

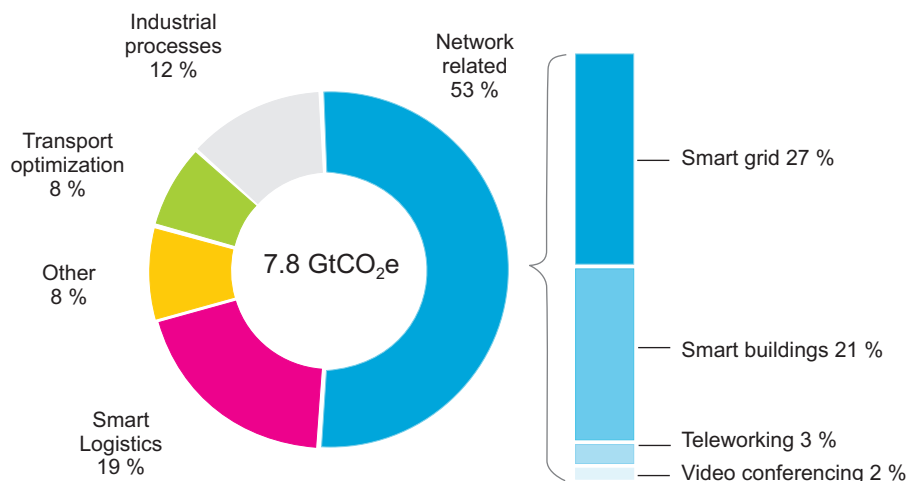
l'interopérabilité des multiples applications de la smart home. Le développement de la voiture électrique ajoute potentiellement un cinquième acteur, les constructeurs automobiles, sur la partie recharge de la batterie du véhicule.

Orange participe activement aux forums de normalisation au niveau européen, entre les acteurs concernés comme par exemple l'Agora du réseau domiciliaire, regroupant les acteurs des réseaux domiciliaires pour ensuite converger vers une plate-forme standard.

- **Alcatel-Lucent (ALU) : des solutions permettant à la filière électrique de gérer l'utilisation du réseau en temps réel, et de mieux informer les consommateurs afin de les aider à optimiser leur consommation énergétique**

Alcatel-Lucent assure la promotion des applications smart grid/metering et smart buildings dans le cadre de son action globale en faveur de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GHG émissions), à la fois pour ses propres réseaux mais aussi pour les autres industries.

Figure 4 : TIC et émissions de GES



Source : Analyse Alcatel-Lucent de « GeSI Smart 2020 data »

Or, comme l'illustrent les travaux du Global e-Sustainability Initiative (GeSI) Climate Change Work Group, les solutions vertes des technologies de l'information et de la communication (TIC) peuvent aider à réduire de 15 % (7,8 GtCO₂e) les émissions globales de carbone d'ici 2020 en Europe.

Dans ce cadre, l'entreprise propose des solutions destinées aux réseaux de distribution d'électricité intelligents (« smart grids ») et aux compteurs intelligents (« smart metering ») permettant aux fournisseurs d'électricité de gérer l'utilisation de leur réseau en temps réel, et de mieux informer les consommateurs afin de les aider à optimiser leur consommation énergétique. Ses applications réseaux et compteurs intelligents permettent également la mise en place de tarifs modulés qui encouragent les consommateurs particuliers (et les entreprises) à réduire leur consommation pendant les pics de production.

Plus spécifiquement, Alcatel-Lucent apporte en partenariat avec les acteurs majeurs (Alstom, EDF, Schneider...) son expertise concernant l'intégration et la sécurité des réseaux de bout en bout (transformation vers les réseaux tout IP), les services et applications à valeur ajoutée, sa connaissance dans le choix des options technologiques et des prestations de conseil pour l'analyse du modèle économique.

En Allemagne, Alcatel-Lucent a signé un contrat fin 2009 avec Vodafone pour apporter des solutions aux fournisseurs d'électricité, de gaz et d'eau. Le premier service de gestion « smart metering » a été implémenté par Stadtwerke Pasewalk, une entreprise municipale du Land Mecklenburg-Vorpommern.

- **Alstom : avec Alstom Grid, un positionnement sur « le haut » de la filière en offrant des solutions « intelligentes » aux fournisseurs et distributeurs d'électricité**

Acteur majeur du secteur mondial de l'énergie, Alstom, et plus précisément Alstom Grid, qui compte parmi les trois acteurs majeurs de la transmission d'électricité, développe une vision articulée du développement des smart grids, à l'interface entre gestion de réseau, production d'énergie et technologies de l'information.

Cherchant à offrir dès à présent des solutions « intelligentes » à tous les acteurs de la chaîne de valeur de l'énergie (depuis une production d'énergie plus propre et flexible jusqu'à des écoquartiers à haute efficacité énergétique, en passant par un réseau

électrique intelligent avec une stabilité et une sécurité accrues), l'entreprise offre des produits qui s'appuient logiquement sur les synergies entre les technologies-clés d'Alstom Grid. Les initiatives portent par exemple sur 13 démonstrateurs (3 finalisés, 10 en cours de négociation) dans les pays leaders du smart grid, en partenariat avec les gouvernements, les opérateurs de réseaux électriques et les industries. De même, l'entreprise a développé un nouvel écosystème de partenaires apportant une expertise complémentaire (bâtiments intelligents et écoquartiers, véhicules électriques, intégrateurs IT, fabricants d'unités de stockage électrique).

Comme Orange, Alstom estime fondamental que la France s'implique dans le développement de la normalisation dans le secteur des smart grids. En particulier, l'entreprise souligne que les Chinois sont très présents dans différents groupes de travail pour essayer d'imposer des normes chinoises. Dans ce contexte, Alstom insiste sur la nécessité pour la France de prendre toute sa part dans les travaux des organismes de normalisation travaillant au niveau français, européen, américain ou au niveau mondial sous l'égide du CEI, et souligne l'importance de s'appuyer sur le Gimélec pour influencer sur les normes.

Synthèse sur les smart grids

- **La filière aujourd'hui**

Les réseaux électriques intelligents ou smart grids constituent un champ d'innovations et d'applications industrielles majeures, qui va demander une coopération entre les entreprises des nouvelles technologies de l'information et de la communication et les entreprises de la filière électrique.

Cette filière couvre quatre domaines principaux : la maîtrise de la demande d'électricité par des consommateurs actifs, la modernisation et l'optimisation des réseaux de distribution et des réseaux de transport, l'intégration massive des énergies de sources renouvelables sur les réseaux et enfin, à terme, l'insertion des véhicules électriques sur les réseaux de charge.

- **Les perspectives**

Dans son Livre blanc, le Gimélec rappelle que les premières valorisations financières de cette nouvelle économie de l'électricité sont comprises entre 12 et 50 milliards d'euros par an à l'horizon 2020. Cette estimation est une fourchette qui varie selon les analyses et les périmètres techniques couverts, mais elle corrobore le potentiel de marché identifié par les grands acteurs de la filière.

- **Implications pour les politiques publiques**

Pour que des acteurs français s'imposent sur les secteurs des smart grids, il faut :

- en premier lieu, que la France soit très présente dans le développement de la normalisation. En effet, la normalisation internationale est essentielle pour résoudre l'équation entre l'atteinte de l'optimum économique du marché, la mise en réseau de l'ensemble du système électrique et la sécurité juridique des investissements ;
- en second lieu, que soit créé en France un environnement réglementaire favorable à l'émergence des smart grids. Différents règlements sont en train d'être édictés et doivent faire l'objet de décrets d'application. À cet égard, le Gimélec a dressé une liste de mesures hiérarchisées qui pourraient être mises en œuvre par les pouvoirs publics français pour assurer un développement réussi des réseaux électriques intelligents.

Chimie verte

La chimie verte ou chimie durable désigne la conception, le développement et l'utilisation de produits et procédés chimiques visant à réduire ou éliminer l'utilisation ou la formation de substances dangereuses ou toxiques pour la santé et l'environnement ⁵¹.

Cette définition est associée aux douze principes de la chimie verte qui constituent la trame d'une véritable feuille de route en la matière ⁵² :

1. prévenir et limiter la production des déchets ;
2. économiser les atomes ;
3. concevoir des synthèses chimiques moins nocives ;
4. concevoir des produits et composés chimiques plus sûrs et moins toxiques ;
5. réduire l'utilisation de solvants organiques et substances auxiliaires ;
6. améliorer l'efficacité énergétique ;
7. utiliser des matières premières renouvelables ;
8. réduire le nombre et la quantité de produits dérivés ;
9. utiliser les procédés catalytiques ;
10. concevoir des substances à dégradation finale non persistante ;
11. mettre au point des méthodes d'analyse en temps réel de la pollution ;
12. développer une chimie plus sûre.

On utilisera ici le terme de chimie verte au sens – moins restrictif – de chimie durable, ce qui permet d'inclure les grands thèmes de la chimie du végétal, du génie des procédés, de la gestion de l'énergie, des matériaux avancés (dont les nanomatériaux) et de l'économie du recyclage, ou économie circulaire.

51. Définition retenue par l'EPA, l'OCDE ou P. Colonna (2005), *La chimie verte*, Éditions Lavoisier.

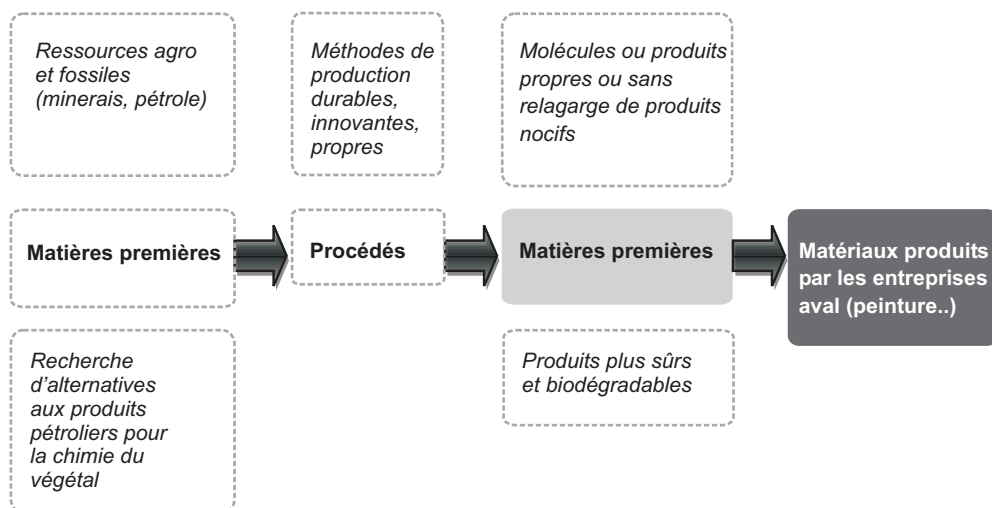
52. Voir P. Anastas et J. Warner (1998), *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, New York.

La filière chimie verte sera analysée en présentant d'une part la structure de marché, les principaux acteurs et les politiques publiques mises en œuvre et d'autre part le positionnement stratégique des entreprises rencontrées (Arkema et Rhodia). Enfin, les principaux éléments à retenir seront synthétisés en conclusion.

Présentation de la filière

Les molécules issues de la chimie verte soit sont issues de procédés verts (catalyse, réactifs d'origine renouvelable, biotechnologies vertes⁵³ et blanches⁵⁴), soit synthétisées à partir de la biomasse : matières premières d'origine végétale (amidon, cellulose, fibres, sucres, huiles et protéines) et ressources issues des déchets ménagers, agricoles, ou sylvicoles (biogaz).

Figure 5 : la chimie verte ou chimie durable



53. Les biotechnologies vertes sont définies comme étant l'utilisation de techniques modernes au moyen d'agents biologiques dans le domaine agricole afin d'obtenir des variétés de plantes exceptionnelles (modification des gènes notamment).

54. Les biotechnologies blanches consistent en l'emploi de systèmes biologiques (bactéries, enzymes) pour la fabrication, la transformation ou la dégradation de molécules ou de biosystèmes grâce à des procédés enzymatiques ou de fermentation dans un but industriel

Les applications de la chimie verte concernent la chimie de base, la chimie fine et de spécialités, les matériaux (notamment bio polymères) et les biocarburants (éthanol et EMHV⁵⁵).

Sur l'ensemble du cycle de vie du produit, la chimie verte implique les activités représentées dans la figure ci-dessus (voir Carmée, 2009)⁵⁶.

Selon une étude réalisée sous l'égide de l'ICCA (International Council of Chemical Associations) en 2009⁵⁷, en moyenne, en l'état actuel, chaque tonne de CO₂ émise par l'industrie chimique permet d'éviter 2,6 tonnes de CO₂ chez le consommateur final. Dans un scénario volontariste, ce chiffre pourrait passer à 4,7 tonnes de CO₂ d'ici à 2030. La contribution actuelle et potentielle de l'industrie chimique à l'économie verte est donc très forte⁵⁸.

La structure de marché de la chimie verte

L'industrie chimique en France est le second producteur européen et le cinquième producteur mondial. C'est l'un des tout premiers secteurs industriels en France. La particularité de cette industrie est d'élaborer principalement des produits intermédiaires utilisés dans la fabrication de produits finis ou semi-finis, avec pour principaux clients les industriels des filières du pétrole, de la chimie elle-même, de la pharmacie, de la papeterie, du verre, du plastique et du caoutchouc, et donc en aval de l'automobile, du bâtiment, etc. Elle occupe donc une position de maillon essentiel dans l'industrie.

- Concernant les molécules issues de procédés verts ou synthétisées à partir de matières premières d'origine végétale (en gris clair sur la figure ci-dessus)

Le recours à des ressources renouvelables est effectif dans un certain nombre de pays de l'OCDE : en 2005, le marché des produits biosourcés a été estimé à 7 % des ventes de

55. Ester méthylique d'huiles végétales.

56. Carmée (2009), « La chimie verte : enjeux et positionnement de la Picardie ».

57. Cf. « Innovations for Greenhouse gas reductions. À Life Cycle Quantification of Carbon Abatement Solutions Enabled by the Chemical Industry », McKinsey & Öko Institute for ICCA, juillet 2009.

58. Cf. l'article de La Tribune du 1er février 2010, « La France ne peut pas avoir une industrie forte si elle n'a pas de chimie forte ». Entretien de Thierry Le Hénaff avec Dominique Piot et Audrey Tonnelier.

l'industrie chimique, soit 77 milliards de dollars en valeur, dont 30 % en Europe⁵⁹. Par ailleurs, l'industrie chimique européenne utilisait en 2007 de l'ordre de 7 % de matières premières d'origine renouvelable⁶⁰.

Aux États-Unis, le marché des produits biosourcés représentait en 2008 4 % des ventes de l'industrie chimique⁶¹.

– Concernant les applications de la chimie verte (en gris foncé sur la figureci-dessus) :

Pour la chimie de base et les intermédiaires chimiques⁶², la production européenne (UE 25) est de 31 millions de tonnes en 2000, soit 50 % de la production totale de l'ensemble des composés chimiques organiques. La production française d'intermédiaires chimiques provenant de la biomasse était négligeable en 2005, mais elle est appelée à augmenter d'ici 2015 : entre 14 et 30 millions de tonnes selon les scénarios avec 3 à 15 % d'intermédiaires chimiques provenant de la biomasse (en pourcentage du marché global des composés organiques, voir Alcimed, 2007)⁶³.

Concernant les matières plastiques de base, la part de marché des plastiques biosourcés est encore limitée, elle est estimée à 0.3 % de la production totale de plastiques au niveau mondial (Pro-Bip, 2009)⁶⁴, et à 3 % en France (Carmée, 2009).

Pour la chimie fine et de spécialités, ce segment est constitué de marchés matures, structurés et concentrés, valorisant de manière traditionnelle les molécules d'origine

59. Commission européenne (2007), « Accelerating the Development of the Market for Bio-Based Products in Europe ». Report of the task force on bio-based products.

60. Commission européenne (2009), « Taking Bio-Based from Promise to Market. Measures to Promote the Market Introduction of Innovative Bio-Based Products ». Report of the ad-hoc advisory group for bio-based products.

61. Liebert MA. (2010), Biobased Chemicals and Products: A New Driver of US Economic Development and Green Jobs, *Industrial Biotechnology*, vol. 6, n° 2, pp. 95-99.

62. Ces intermédiaires (ou « *bulk chemicals* ») sont constitués des grandes catégories de molécules multifonctionnelles transformées en composés secondaire ou dérivés avec débouchés multiples dans les domaines énergétiques, de la chimie et des matériaux.

63. Voir Alcimed (2007), « Marché actuel des bioproduits industriels et des biocarburants et évolutions prévisibles à échéance 2015-2030 », étude réalisée pour le compte de l'Ademe par le cabinet Alcimed.

64. Shen, Haufe et Patel (2009), « Product Overview and Market Projection of Emerging Bio-Based plastics », PRO-BIP 2009 Final report, Utrecht University.

végétale⁶⁵. Les données sur la taille du marché de ce segment sont reproduites dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Taille du marché chimie fine et de spécialité en 2005, en kt

Produit chimique	Quantités en kt	Produit chimique « vert »	Quantités en kt
Lubrifiants	850	Biolubrifiants	1 soit 0,12 %
Tensioactifs	400	Biotensioactifs	110 soit 27,5 %
Encres offset	95	Encres végétales offset	10 soit 10,53 %
Peintures	900	Peintures végétales	19,5 soit 2,17 %
Solvants	600	Biosolvants dans le nettoyage	3 soit 7,5 %
		Biofluxants	3 soit 10 %
		Huiles adjuvantes d'origine végétale	1,7 soit 43,75 %
		Mouillants d'origine végétale	1 soit 16.15 %

Source : Alcimed, 2007

Pour résumer ces données sur l'ensemble de la filière, trois grands segments de la chimie verte représentent déjà une réalité industrielle avec un fort potentiel : l'oléochimie (valorisation de l'huile contenue dans le végétal, principalement par voie non biologique), la chimie du sucre (valorisation des sucres contenus dans le végétal par voie biologique) et l'approche mécanique (valorisation de la plante entière par voie mécanique dans les biomatériaux).

La chaîne de valeur de la filière et les principaux acteurs

La chaîne de valeur est en France plus dispersée et moins impliquée dans la chimie verte que chez ses homologues européens.

⁶⁵. Voir l'étude filières de la croissance verte du MEEDDM (2010).

Malgré le poids de l'industrie chimique française au niveau européen et mondial (2^e et 5^e rang respectivement), elle est moins impliquée dans la chimie verte que son homologue allemande qui a historiquement des liens avec le monde des biotechnologies plus importants (la France est en retard dans le domaine des biotechnologies blanches). L'accélération de la France dans ce domaine des produits ou procédés de chimie verte dépendra de la stratégie des grands groupes, mais peut-être plus encore de la mobilisation des PME qui représentent 80 % du tissu industriel de la chimie⁶⁶.

Les principaux acteurs de la chimie par segment de marché en France sont⁶⁷ :

- pétrochimie et grands plastiques : Total Petrochemicals, Ineos, Exxon Chemicals, LyondellBassell ;
- intermédiaires, spécialités et chimie fine : Arkema, Rhodia, BASF, Dow, Nufarm, Sanofi-Aventis, Orgasynth, Finorga ;
- peintures, encres : Akzo Nobel, Dupont, Euridep, Onip, Unifap, PPG, Sigmakalon, Sherwin Williams, Dow ;
- produits phytosanitaires: Bayer Cropscience, Dupont, BASF Agro, UPL Cerexagri ;
- cosmétiques : L'Oréal, Chimex, Henkel.

En réalité, pour l'instant, les principaux acteurs de la chimie verte en France font pour l'essentiel partie de la filière agro-industrielle : soit au niveau de la récolte des matières premières agricoles et leur première transformation (amidonnerie et secteur sucrier, fabricants de levure et malteries)⁶⁸, soit dans la deuxième transformation (valorisation chimique des amidons en polyols) et la chaîne de valeur reste assez dispersée.

66. Voir l'étude filières de la croissance verte du MEEDDM (2010).

67. Voir Carmée (2009), op. cit.

68. Par exemple, les acteurs du secteur de l'amidonnerie sont : Tate & Lyle, Avebe, Roquette ... ; secteur sucrier : Lesaffre, Biospringer, BEG France... ; malteries : Soufflet...

La filière la plus structurée est celle de l'oléochimie (ex. : Sofiproteol qui intègre Diester Lesieur et Oleon). Concernant la chimie fine et de spécialités, les produits les plus importants en termes de volume sont les biolubrifiants et les agro-tensioactifs⁶⁹.

Des engagements volontaires en faveur de la chimie verte ont été adoptés au niveau national et international.

Au niveau international, l'organisation professionnelle mondiale de la chimie, l'ICCA, a engagé depuis 1990 le programme « Responsible Care » avec 9 principes directeurs de bonne conduite en matière de sécurité, de santé et d'environnement⁷⁰. Ce programme est décliné en France par l'Union des industries chimiques (UIC).

En France, quatre engagements pour les dix ans à venir ont été pris dans le cadre du Grenelle de l'environnement par l'UIC : réaliser un bilan carbone des activités et procédés d'ici 2010, utiliser 15 % de matières premières renouvelables dans les approvisionnements d'ici 2017 (contre 7 % actuellement), certifier 400 sites selon un référentiel environnemental reconnu, et développer un dialogue permanent entre les industriels de la chimie et la société.

Par ailleurs, l'association Chimie du végétal⁷¹ créée en 2008 vise au développement de la chimie du végétal en France et en Europe par le regroupement des principaux acteurs des agro-ressources et de la chimie.

69. La chaîne de valeur pour les biolubrifiants est composée par : les tritrateurs (Cargill, ADM, Eridhania, Beghin Say, Novance), les producteurs et distributeurs (groupes pétrochimiques comme Total et Shell ainsi que Motul, Kajo, Fuchst, York, Condat, Igols, Panolin Ag) et les utilisateurs du BTP, des transports et du secteur agricole. Pour les agro-tensioactifs, la chaîne de valeur est composée par : les tritrateurs (voir plus haut), les producteurs d'intermédiaires chimiques et agro-tensioactifs (ARD, Seppic, Cognis, Uniqema, Oleon, NV, Akzo Nobel, Ceca-Arkema, Clariant et Sasol) et les formateurs de détergents, produits phytosanitaires, produits de forage pétrolier et produits d'hygiène et cosmétique.

70. Voir le site web www.uic.fr pour plus de détails sur ces 9 principes.

71. Cette association a été créée par l'Union des industries chimiques en partenariat avec l'Asipa (union des syndicats des produits amylicés et leurs dérivés), le pôle de compétitivité Industries et agro-ressources, Rhodia et Roquette.

L'innovation est un enjeu important de l'industrie chimique.

En France, notamment, la chimie représente le quatrième secteur industriel en matière de R&D, avec 5,6 % des dépenses de l'ensemble des entreprises industrielles, soit plus de 1,4 milliard d'euros en 2008, et le premier secteur en incluant les dépenses de l'industrie pharmaceutique (Insee, 2010). Les forces de recherche sont importantes, avec notamment des projets de démonstrateurs sur les biocarburants de seconde génération, et plusieurs pôles de compétitivité, des ressources agricoles exploitables significatives à court et long terme et un potentiel sylvicole important.

Cadre réglementaire

Au niveau européen, la directive Reach, entrée en vigueur en 2007, vise à répertorier et évaluer près de 30 000 produits chimiques et, au-delà, à autoriser – ou interdire totalement ou partiellement – certains produits à risques dits « prioritaires ». Ce texte majeur conduit à une mobilisation sans précédent de l'industrie chimique elle-même mais aussi de l'ensemble des secteurs industriels utilisateurs de produits chimiques pour respecter les différentes échéances prévues dans la procédure jusqu'en 2015. Le coût total d'application par les opérateurs a été évalué entre 2,3 et 5,2 milliards d'euros par la Commission européenne.

En termes de risques industriels, la directive Seveso, créée en 1982 et étendue en 1999 (Seveso II), sur la maîtrise des risques liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses a été renforcée (mesures de sécurité renforcées et information de la population sur les risques encourus) suite à plusieurs accidents industriels, notamment celui de l'usine AZF à Toulouse.

Plusieurs autres directives européennes visent les émissions industrielles, les substances et produits dangereux, la gestion des déchets, les produits biocides, etc. Près de 800 textes européens – directives, règlements, décisions, avis – encadrent ainsi l'industrie chimique.

Pour la chimie fine et de spécialités, chaque marché est encadré de manière spécifique, en plus du cadre général présenté précédemment⁷².

72. Pour plus de détails sur ce point, voir l'étude « filières de la croissance verte » du MEEDDM (2010).

Enfin, en matière de réduction des émissions de CO², l'European Trading Scheme (ETS), en vigueur depuis 2005, deviendra applicable début 2013 aux activités chimiques elles-mêmes (et non plus seulement à leurs installations de combustion) comme aux autres émetteurs, qui devront acheter aux enchères environ 40 % de leurs quotas.

Les politiques et programmes de soutien s'inscrivent en Europe dans le cadre du 7^e PCRD (programme chimie durable dans les thèmes « nanosciences » et « environnement »), autour des thèmes identifiés au sein de la plate-forme technologique « SusChem » visant à faire de la chimie verte une priorité de R&D européenne autour des biotechnologies industrielles, des nouveaux matériaux, des réactions et procédés, en prenant en compte également la sécurité, les aspects juridiques et notamment la propriété industrielle, et la formation (voir Carmée, 2009).

En France, si des projets labellisés peuvent recevoir des subventions au titre du FUI et de l'ANR, il n'existe pas jusqu'alors de stratégie nationale à proprement parler pour la chimie verte et la chimie du végétal, ni de programmes spécifiques ANR ou fonds démonstrateurs dédiés à la chimie verte. Notons cependant qu'en 2011 un programme « démonstrateurs et plate-formes technologiques en énergies renouvelables et décarbonées et chimie verte » a été retenu au titre des thèmes prioritaires du programme national pour les investissements d'avenir, doté d'un montant de 1,35 milliard d'euros.

Perspectives d'évolution du marché

La filière chimique va être confrontée à trois phénomènes majeurs à court et moyen terme.

À court terme, la chimie européenne doit achever d'absorber les conséquences de la crise économique. La crise a en effet touché fortement les principaux débouchés industriels de la chimie, avec notamment en 2009 une baisse de la production chimique de 9.7 % en France (baisse de l'emploi de 9.6 % entre 2000 et 2007) et de 11 % en Europe, et un recul du chiffre d'affaires de 14 % pour la chimie minérale et 27 % pour la chimie organique⁷³. Le redressement a été sensible en 2010, mais reste bien sûr à consolider.

73. Voir Les études de Xerfi sur le secteur de la chimie organique et inorganique (2010).

À moyen terme, des changements importants liés aux enjeux environnementaux, à la raréfaction des ressources pétrolières et au renforcement du cadre réglementaire vont entraîner une hausse des coûts effectifs de production et des coûts environnementaux. Les conditions d'approvisionnement en matières premières et d'accès à l'énergie, ainsi que la pression en faveur d'une plus grande efficacité énergétique vont donc impacter fortement la chimie dans les années à venir.

De ce point de vue, même si les marges de progression ne sont pas immenses dans la mesure où la plupart des procédés chimiques font déjà l'objet d'une optimisation énergétique, la raréfaction des ressources pétrolières va pousser les acteurs à privilégier les applications les mieux valorisées, et les applications en chimie possèdent à cet égard un double avantage : en tant que matière première (plastique ou intermédiaire de synthèse) et dans la réutilisation via le recyclage ou la valorisation thermique.

Enfin, la concurrence internationale des émergents, en Chine et en Inde en particulier, est particulièrement vive. Les attentes du consommateur vont également influencer sur l'orientation du marché. En effet, les secteurs aval sont de plus en plus invités à offrir des produits durables et les secteurs amont comme la chimie doivent répondre à cette demande industrielle en fournissant, par exemple, des produits à empreinte environnementale faible ou biosourcés.

L'exemple du Rilsan, polyamide de très haute performance à usage technique (automobile, équipement) et en même temps le premier polymère biosourcé (fabriqué à partir d'huile de ricin depuis 1950) est assez caractéristique : pendant longtemps, la performance technique du produit a été la seule force motrice de ce marché ; mais, depuis quelques années, il suscite un très fort regain d'intérêt du fait de la forte demande pour des produits biosourcés, que ce soit au Japon, en Europe ou aux États-Unis, y compris pour des pièces techniques telles que les « pièces sous capot » dans l'automobile, où il trouve son application.

Mais le développement de ces produits est complexe à anticiper. Les plastiques biosourcés par exemple sont en concurrence directe avec leurs équivalents plastiques pétrochimiques, souvent plus compétitifs et stimulés par ailleurs par le développement de capacités de production pétrochimiques au Moyen-Orient et en Chine. Les perspectives d'évolution ne sont donc pas linéaires dans ces filières⁷⁴.

74. Voir Shen et al (2009), op.cit.

À l'horizon 2020-2030, les grandes tendances seront principalement impulsées par la concurrence mondiale stimulée par la demande croissante de produits chimiques en Asie, en Amérique du Sud et les capacités de production au Moyen-Orient et en Asie, mais aussi par un recours accru aux ressources alternatives aux ressources pétrolières.

Concernant la concurrence internationale, les projections de l'OCDE montrent une poursuite soutenue de la croissance (voir tableau ci-dessous).

Tableau 6 : Production de chimie par région (projections) 2005-2030, milliards de dollars 2001

	2005	2015	2030	Evolution 2005-2030
Monde	2 962	3 855	5 511	86,10 %
OCDE	2 182	2 663	3 457	58,40 %
BRIICS	436	714	1 293	196,60 %
Autres	344	478	761	121,30 %

Note : BRIICS = Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud.

Source: OECD Environmental Outlook to 2030

Concernant l'utilisation croissante de ressources alternatives, le National Research Council du Canada prévoit par exemple que 25 % de la production de la chimie organique proviendra de ressources renouvelables d'ici 2020. Aux États-Unis, les prévisions évaluent la part de la chimie verte (matières premières et procédés verts) à 25 % de la production de produits chimiques d'ici 2025 et 90 % d'ici 2090 (National Research Council, 2000)⁷⁵.

Notons que ces projections sont particulièrement optimistes, et peuvent parfois manquer de réalisme dans la mesure où les capacités nouvelles qui sont lancées actuellement dans les régions à forte croissance (Moyen-Orient et Asie) sont sur base pétrole, éthane ou charbon.

En France, ces perspectives vont impliquer une diversification des activités, une montée en puissance des éco-technologies et un renforcement de la R&D et de l'innovation⁷⁶.

⁷⁵. Voir National Research Council - Committee on Biobased Industrial Products (2000), *Biobased Industrial Products. Priorities for Research and Commercialisation*, National Academy Press.

⁷⁶. Voir Carmée (2009), op. cit.

La croissance anticipée des marchés de la chimie du végétal est ainsi très forte et dépasse celle de l'industrie chimique globale, quels que soient les segments considérés (voir tableau ci-dessous).

Tableau 7 : Perspectives d'évolution de la chimie verte 2005-2030
(scénario du maximum atteignable), en kt, parts de marché entre parenthèses

	2005	2015	2030	Evol. 2005-2030
Intermédiaires chimiques	Négl.	1400 (10 %)	6000 (20 %)	×∞
Biolubrifiants	1 (0,12 %)	42 (5,3 %)	64 (8,9%)	×64
Biosolvants	10	24	39	×4
Encres offset et peintures d'origine végétale	30	63	94	×3
Biotensioactifs	110 (27,5 %)	173 (40,2 %)	208 (45,1 %)	×1,9
Biomatériaux				
Bioplastiques et autres biopolymères	10 (0,15 %)	906 (11,8 %)	2231 (24,1 %)	×223
Matériaux composites d'origine végétale	18,5	764	1354	×73

Source : Alcimed, 2007

Les données de ce tableau peuvent néanmoins être nuancées par le fait que le développement de la chimie verte à l'horizon 2020 reste toutefois inférieur – en particulier en Europe – aux perspectives des biocarburants. En outre, comme le note une étude récente réalisée pour le compte de l'Ademe⁷⁷, l'évolution à court et moyen terme de l'offre mondiale des produits biosourcés, en particulier les résines⁷⁸, qui représentent dans le tableau ci-dessus des perspectives d'évolution très fortes, est impulsée par les stratégies de quelques acteurs seulement⁷⁹ et présente donc un fort degré d'incertitude.

⁷⁷. Ademe et Alcimed (2011), « Usage des résines biosourcées : quel développement en France, dans l'UE et dans le monde ? », Étude réalisée pour le compte de l'Ademe par le cabinet Alcimed.

⁷⁸. Les résines biosourcées représentent l'ensemble des thermoplastiques constitués de polymères d'origine renouvelable.

⁷⁹. D'après cette étude, sept acteurs seraient à l'origine de 86 % des nouvelles capacités des résines biosourcées.

Perspectives d'emplois

Dans un contexte de baisse de l'emploi global dans l'industrie chimique en Europe et en Amérique du Nord (aux États-Unis, par exemple, le déclin a été de 20 % ces deux dernières décennies, le nombre des emplois passant de 1 million en 1990 à 800 000 en 2009), les potentiels d'emplois dans la chimie verte pourraient jouer un rôle important pour la filière. En France, la chimie comptait 182 000 salariés en 2009, dont 50 % dans les PME de moins de 10 salariés qui représentent 80 % des entreprises du secteur (UIC, 2010).

Concernant les produits biosourcés, la filière emploierait déjà aux États-Unis près de 6 000 salariés dans 160 usines en 2007. Avec un facteur multiplicateur de 5,5 (lié à la place de maillon essentiel de la chimie dans les autres chaînes de valeur industrielle), près de 40 000 emplois aux États-Unis seraient ainsi liés directement ou indirectement aux produits biosourcés (Liebert, 2010).

En Europe et au niveau mondial, le potentiel d'emploi peut être estimé en proportion du chiffre d'affaires. L'« emploi vert » passerait ainsi, dans ce scénario favorable, de 7 à 20 % du total de l'emploi dans la chimie d'ici 2020 ; ce qui représenterait pour l'industrie des produits biosourcés par exemple un potentiel de 380 000 personnes (voir tableau ci-dessous).

Tableau 8 : Emplois liés aux produits biosourcés (Monde)

	2005	2010	2020
Nouveaux marchés de produits bio-sourcés en volume (en milliards de dollars) *	77 (global) 23 (EU)	125 (global)	250 (global)*
Emplois dépendant des nouveaux produits **	120 000	190 000	380 000

Source : Commission européenne (2007)

* Scénario McKinsey 2010 fondé sur 20 % de produits biosourcés au plus tard en 2020.

** Application des taux de vente de 7 %, 10 % et 20 % aux niveaux d'emplois (sur la base de 1.9 million d'emplois dans l'industrie chimique en 2007 ; chiffres incluant les emplois générés dans les biocarburants).

Ce tableau s'interprète de la manière suivante : en 2005 les produits biosourcés représentaient 7% des ventes globales de l'industrie chimique, soit 77 milliards de dollars en valeur, l'industrie européenne représentant environ 30% de cette valeur (23 milliards de dollars).

Les projections du cabinet McKinsey considèrent un scénario d'augmentation des produits biosourcés à hauteur de 10% des ventes de l'industrie chimique en 2010 et 20% en 2020, soit 125 et 250 milliards de dollars en valeur respectivement.

Ces pourcentages sont appliqués pour déterminer les emplois liés aux produits biosourcés, qui représentent donc respectivement 7% de l'emploi dans l'industrie chimique en 2005, 10% en 2010 et 20% en 2020.

Positionnement stratégique des entreprises rencontrées

- **Arkema : La complémentarité entre innovation technique et managériale ou organisationnelle pour répondre aux attentes de la filière chimique aval.**

Arkema est le leader français de la chimie, avec 6 milliards d'euros de chiffre d'affaires et près de 15 000 personnes. Il occupe des positions mondiales de premier plan en chimie industrielle (47 % du chiffre d'affaires total), complétées par les produits de performance (29 % du chiffre d'affaires) et les produits vinyliques (18 %).

Les choix d'Arkema en matière d'économie verte reflètent une vision stratégique axée sur la notion de chimie durable, plus large que la seule chimie du végétal. Différente d'une simple problématique de responsabilité environnementale et sociale, cette vision est fondée sur la place de l'industrie chimique comme secteur amont, qui apporte des solutions aux demandes des secteurs industriels aval. Cela implique un processus d'innovation sur des projets spécifiques, aboutissant à des résultats différenciés dans des filières bien identifiées et délimitées, avec des possibilités plus limitées de diffusion immédiate à d'autres segments. Or, si la recherche et l'innovation sont compartimentées, c'est alors la démarche managériale qui va engager la cohérence globale. C'est donc la complémentarité entre innovation technique et organisationnelle ou managériale qui va jouer un rôle crucial pour répondre aux attentes du marché aval avec une offre cohérente.

L'engagement d'Arkema dans la chimie durable s'appuie sur des programmes de R&D ambitieux : Arkema investit 150 millions d'euros en R&D dont la moitié sont affectés à l'innovation verte et au développement des éco-technologies, et ce dans deux domaines principaux : les matériaux de haute performance biosourcés ou nanostructurés qui contribuent notamment à l'efficacité énergétique ; et les produits de spécialités entrant dans la composition des matériels et équipements en matière d'énergies renouvelables : films et écrans pour panneaux photovoltaïques, membranes pour batteries lithium-ion. On retrouve là une complémentarité forte entre plusieurs filières de l'économie verte.

Les programmes développés portent sur la chaîne Rilsan, le glycérol (en substitution au propylène), les copolymères, les dérivés utilisant le bio-éthanol (production d'amines, d'acrylates). Les produits biosourcés représentent en 2010 un chiffre d'affaires de 500 millions d'euros, soit 9 % du chiffre d'affaires global et 1 000 emplois (sur 15 000), concentrés sur le secteur des produits de performance, c'est-à-dire des produits de spécialité à forte valeur ajoutée comme les polyamides ou polymères techniques, les tensioactifs et les charbons actifs.

L'objectif est de porter la part des produits biosourcés à 15 % du chiffre d'affaires total en 2015. La gamme phare d'Arkema dans le domaine des matières premières renouvelables est celle des polyamides Rilsan, polymères de haute performance issus de l'huile de ricin où Arkema commercialise cinq familles de polymères. Depuis deux ans, la gamme a été entièrement reconçue en différenciant le contenu en matières premières biosourcées selon les applications (automobile, matériel de sport, énergies renouvelables, stockage de l'énergie photovoltaïque).

Concernant les nanomatériaux, Arkema occupe une position de tête sur les nanotubes de carbone, à travers un ambitieux programme de recherche puis de développement industriel qui paraît représentatif de deux grandes tendances de l'économie verte :

- des interactions fortes entre différentes filières de l'économie verte. En effet, le champ applicatif des nanomatériaux est considérable, et bien qu'ils ne soient pas stricto sensu dans le champ de la chimie verte, ils trouveront de nombreuses applications dans le domaine des énergies renouvelables, de l'équipement, de l'automobile, de l'aéronautique par les remarquables fonctionnalités nouvelles qu'ils apportent (légèreté, résistance, conductivité, etc.) ;

- des politiques publiques – tant nationales que communautaires – d'accompagnement tenant compte des interdépendances amont et aval dans la filière.

De ce point de vue, l'interdépendance entre les segments amont et aval⁸⁰ joue un rôle majeur dans le potentiel de développement d'un produit innovant, et cela n'est pas sans conséquences sur les politiques industrielles. En effet, les projets de R&D n'ont de chance d'aboutir dans ces filières que si les innovations vertes sont susceptibles de répondre à des attentes du marché, et donc de correspondre à des lignes de produit aval. S'il n'existe pas en France d'industriel développant des produits utilisant ces nouveaux intermédiaires chimiques issus de ces innovations, le développement se fera ailleurs⁸¹.

- **Rhodia et Rhodia Energy Services : Un cas exemplaire de complémentarité des différentes filières de l'économie verte**

Rhodia est l'un des trois premiers acteurs mondiaux de la chimie de spécialités. 30% de son chiffre d'affaires (4 031 millions d'euros en 2009) s'inscrit dans une démarche globale de développement durable (que le groupe a formalisée notamment avec RhodiaWay). Rhodia a également développé une activité de revente de crédit carbone, et elle mise sur le sourcing végétal pour les biotechnologies.

Rhodia est engagée depuis longtemps dans la chimie verte et du végétal à travers différentes filières : bois, oléagineux, etc. Par exemple, l'entreprise développe la cellulose du pin pour les filtres à cigarette ou les films de protection pour écran à cristaux liquides, ainsi que l'éthanol pour produire des biosolvants. De même, les oléagineux (soja, colza, arachide, noix de coco et ricin) servent dans la production des acides utilisés dans la fabrication des tensioactifs et des plastiques de haute performance pour l'automobile.

80. Les déterminants majeurs des innovations sont liés aux attentes des industriels aval. Mais a contrario, la substitution, dans le cadre du protocole de Montréal, des chlorofluorocarbones portant atteinte à la couche d'ozone est un exemple emblématique d'une mutation technologique majeure réalisée intégralement sous contrainte réglementaire. Sur une période de trois à quatre ans, l'industrie chimique mondiale a dû investir plusieurs centaines de millions d'euros en R&D puis en production pour trouver des substituts, et ce avec des perspectives de durée de vie n'excédant pas dix à quinze ans du fait des durcissements réglementaires successifs prévus ; dans ce cas, les facteurs de succès ont été la maîtrise technologique, partagée entre un nombre limité d'acteurs.

81. C'est ce qui s'est produit par exemple pour la recherche sur l'acide succinique (dérivé de l'amidon pour polymère) développées par Roquette et ARD.

Les choix stratégiques de Rhodia en matière d'économie verte sont originaux et symptomatiques des complémentarités entre les différentes filières de l'économie verte.

Au-delà d'une politique orientée vers la limitation maximale des risques pour les personnes et l'environnement et la recherche de produits économes et durables, l'entreprise a choisi de favoriser des initiatives entrepreneuriales, qui font sortir du métier de chimiste stricto sensu, en créant Rhodia Energy Services fin 1999, mais également en se positionnant sur le stockage d'électricité (fourniture de solutions ioniques pour les batteries).

Rhodia Energy Services a pour mission la gestion et la production de l'énergie pour Rhodia et plusieurs tiers d'une part ; la gestion des projets initiés par le groupe pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre et lutter contre le changement climatique d'autre part.

La création de Rhodia Energy représente en soi une rupture intéressante car elle montre que l'entreprise fait des choix stratégiques qui vont au-delà de l'adaptation et de la responsabilité environnementale et sociale classique orientée sur la réputation et la réponse aux attentes des consommateurs.

De même, Orbeo, la joint-venture entre Rhodia et la Société générale sur les crédits carbone lancée en 2005, donne à l'entreprise un accès au marché pour vendre des crédits carbone.

Rhodia Energy permet de promouvoir l'efficacité énergétique, de réduire la facture énergétique, et favorise une politique énergétique qui permet de développer de nouveaux modes de production de ressources renouvelables.

Plusieurs produits verts ont vu le jour, par exemple, le pneu vert Rhodia-Michelin. Visant le marché des poids lourds, ce partenariat s'est traduit par le remplacement du noir de carbone par la silice dans la fabrication des pneus. Cette innovation a permis de réduire de 25 % la résistance de roulement, soit une baisse de 5 à 7 % des consommations de carburant par les camions, donc de leurs émissions de CO₂. Depuis l'introduction de cette technologie en 1990, 30 milliards de litres de carburant ont été économisés et 65 millions de tonnes d'émissions de CO₂ ont été évitées.

Synthèse sur la chimie verte

- **La filière aujourd'hui**

La chimie verte représente une réalité économique tangible. À la fin des années 2000, le marché mondial des produits biosourcés représente un peu moins de 7 % des ventes de l'industrie chimique. En Europe, 7 % de ses matières premières sont d'origine renouvelable.

- **Les perspectives**

Après le repli provoqué par la crise, le potentiel de croissance de la filière est très important dans un contexte de forte concurrence internationale, notamment en provenance d'Asie.

Les prévisions évaluent la part de la chimie verte (matières premières et procédés verts) à 25 % de la production de produits chimiques d'ici 2025 dans nombre de pays de l'OCDE. La croissance anticipée des marchés de la chimie durable est très forte et dépasse celle de l'industrie chimique globale, quels que soient les segments considérés.

- **Implications pour les politiques publiques**

Les entreprises rencontrées mettent en avant un certain nombre de freins et verrous à lever du point de vue de la politique industrielle, liés à deux caractéristiques essentielles de l'industrie chimique : son rôle de maillon central dans les chaînes de valeur d'une part, et l'impact de la concurrence internationale sur ses perspectives d'évolution d'autre part.

La politique industrielle doit s'appuyer sur la place de la chimie comme maillon-clé dans la chaîne de valeur industrielle (c'est l'«industrie des industries»), par exemple en encourageant l'innovation tout en s'attachant à maintenir une taille critique du tissu industriel aval, comme dans le secteur des cosmétiques.

Mais le manque de visibilité et les distorsions de concurrence internationale (risques de fuites de carbone notamment liées au développement du marché des quotas CO₂) représentent un verrou important dans les perspectives d'évolution de la filière.

Pour Rhodia Energy Services notamment, il est crucial de promouvoir un cadre européen pour permettre la mise en œuvre de politiques de soutien à cette filière.

Stockage de l'énergie

Présentation de la filière

Le stockage de l'énergie consiste à placer une quantité d'énergie en un lieu donné pour permettre son utilisation ultérieurement. Le terme est utilisé, par extension, pour désigner le stockage de matière qui contient cette énergie. Contrairement à l'énergie mécanique, thermique ou chimique, le stockage de l'énergie électrique ne peut se faire que de façon indirecte⁸². Le stockage de l'énergie est une filière véritablement stratégique de l'économie verte. L'équilibre offre/demande, nécessaire au fonctionnement des réseaux électriques, est de plus en plus fragile. Le stockage représente en fait le point faible dans la chaîne de distribution de l'énergie électrique entre les centres de production (centrales électriques) et les centres de consommation (usines, collectivités diverses, activités tertiaires, particuliers, etc.). Pour maintenir le réseau à l'équilibre, la production doit s'aligner sur la demande d'énergie par une gestion en temps réel, et donc en flux tendus. À l'avenir, les difficultés de gestion et la vulnérabilité du système vont s'accroître. En particulier, l'envoi de sources intermittentes solaires et éoliennes sur le réseau entraîne une production d'électricité décentralisée, intermittente et difficilement intégrable, rendant le réseau instable (en l'absence de possibilité de stockage-déstockage). Le stockage de l'énergie et l'amélioration du comportement dynamique du réseau représentent donc un enjeu de première importance⁸³.

Plus globalement, face au triple enjeu de réduction des gaz à effet de serre, de réduction de l'utilisation de carburants et combustibles fossiles et d'indépendance énergétique au niveau national et européen, le stockage de l'énergie vise à apporter des solutions permettant le contrôle de la totalité de la chaîne énergétique sur les plans économique, environnemental et technologique.

82. Par exemple dans des condensateurs, accumulateurs ou batteries.

83. Voir Académie des technologies, Commission énergie et environnement, 2006, « Dix questions à Jean Dhers sur le stockage de l'énergie électrique ».

Les technologies de stockage d'énergie doivent répondre à des besoins soit centralisés et massifs (gestion, sur le réseau de transport, de l'énergie électrique produite par les centrales pour équilibrer la production et les demandes variables et à l'avenir la sécuriser face à l'intermittence d'énergie électrique d'origine renouvelable) ; soit décentralisés et modestes (applications stationnaires ou mobiles). Les équipements de stockage de l'énergie se répartissent ainsi en deux grands types d'application, selon les quantités d'énergie concernées :

- Les applications d'autonomie pour les équipements : applications portables pour des énergies inférieures à quelques kWh, servant à assurer plus d'autonomie à des appareils portables en général électriques (téléphones, PC, etc.) ; et les applications mobiles (ou embarquées) nécessitant une autonomie de quelques dizaines à quelques centaines de kWh, durant l'ensemble du trajet, dans les transports aériens, terrestres et maritimes, à bord de véhicules motorisés (carburants stockés en réservoir - produits dérivés du pétrole ou carburants de synthèse ou vecteurs énergétiques type électricité ou hydrogène).

Concrètement, le marché des batteries regroupe trois catégories: les batteries portables, de démarrage et industrielles (de traction et stationnaire). La technologie au plomb est majoritairement utilisée pour le démarrage des véhicules (secteur le plus porteur actuellement), la traction (chariots de manutention), les alimentations de secours, le photovoltaïque, etc.

- Les applications stationnaires pour le stockage à grande échelle : équipements de production de l'énergie électrique alimentant un réseau de transport d'énergie (objectif économique - en termes de minimisation des coûts - et technologique - efficacité énergétique), portant sur des quantités d'énergie dépassant les centaines de MWh ; mais également équipements locaux de production d'énergie électrique à partir de sources renouvelables (éoliennes et solaires), isolés ou connectés à un réseau électrique (quelques MWh).

Pour compenser les discontinuités d'approvisionnement, les centrales doivent disposer d'une autonomie en combustible en amont (charbon, gaz ou eau) ou stocker l'électricité produite en aval (seul un stockage indirect est possible dans ce cas).

Traditionnellement, les moyens de stockage d'énergie « longue durée » sont les pompes hydro-électriques, les CAES (compressed air energy storage) ou les batteries sodium-soufre. Les nouvelles technologies en développement sont les batteries Li-ion et les batteries à flux. Les trois grandes catégories de procédés de stockage réversibles (qui se distinguent selon la finalité du stockage) sont donc⁸⁴ :

- le stockage de masse pour des énergies supérieures à 100 MWh : hydraulique gravitaire (step), gaz comprimé (CAES), énergie thermique (TES) ;
- le stockage de masse pour des énergies inférieures à 1 MWh ; électrochimique par batteries (BES), électromagnétique dont bobines supraconductrices (SMES) ou chimique associé à pile à combustible ou électrolyseurs (CES) ;
- et le stockage de puissance : inertiel par machine tournante accouplée à un volant d'inertie, et par supercondensateurs (FES).

L'énergie thermique permet également de stocker de manière indirecte l'énergie électrique.

Face au développement de ces nombreuses technologies, la filière se segmente en quatre voies technologiques principales de stockage : électrochimique (batteries), mécanique (step, air comprimé et volants d'inertie), directe (supercondensateurs et bobines supraconductrices), et thermique (par chaleur sensible - eau, huiles synthétiques, vapeur d'eau sous pression, sels, céramique, béton - ou latente et stockage thermochimique).

La voie électrochimique est la plus avancée à l'heure actuelle.

Les principales caractéristiques des différentes technologies de stockage d'énergie sont résumées dans le tableau ci-dessous (voir Enea, 2011)⁸⁵.

84. Les abréviations internationales des différentes technologies sont indiquées entre parenthèses.

85. Enea (2011), « Le stockage d'énergie. Enjeux et solutions techniques », Enea Consulting, janvier 2011.

Tableau 9 : Comparaison de différentes technologies de stockage

	Capacité	Puissance	Efficacité	Délais de réaction	Durée de vie	Usage	Maturité	Coûts
STEP	1-10 Gwh	0.1-2 GW	0.8	10 min	11 000 cycles	Réseau	●	●
Hydrogène	10kWh-10 Gwh	1hW-1GW	0.6	100 ms	25 ans	Industrie Particuliers	●	●
Caes	1-200 Mwh	15-200 MW	0.5	1 min	11 000 cycles	Réseau	●	●
Flow batteries	100 Mwh	10 MW	0.6	100 ms	4 000 cycles	Industrie	●	●
Batteries	1kWh-10 Gwh	0.01-10MW	0.8	1 ms	500-4 000 cycles	Industrie Particuliers	●	●
SMES	3-30 kWh	1-3 MW	0.9	8 ms	> 10 000 cycles	Réseau Industrie	●	●
Volants d'inertie	5-10 kWh	2-40 MW	0.8	5 ms	> 10 000 cycles	Réseau	●	●
Super condensateurs	3 kWh	Tension 2-40 MW	0.9	3 s	> 10 000 cycles	Réseau Industrie	●	●

Tableau 1 : Comparaison de différentes technologies de stockage (liste non exhaustive). Les valeurs présentées sont des ordres de grandeur donnés à titre indicatif.

(Source : EPRI DOE Handbook of Energy Storage for Transmission Or Distribution Applications et IDC Energy)

Notons toutefois que l'attribution de « pastilles vertes » dans ce tableau dans les colonnes maturité et coûts de ces différentes technologies est à prendre avec précaution, en raison notamment du manque de visibilité sur la rentabilité de ces technologies en Europe.

Structure du marché

Concernant la demande, la capacité mondiale de stockage de l'électricité en fonctionnement représente à l'heure actuelle environ 2,6 % de la capacité mondiale de stockage d'énergie (90 GW sur 3400 GW). Le segment du stockage électrochimique est le plus développé dans cette filière⁸⁶.

En France, 78 % de l'électricité produite provient du nucléaire, qui est peu modulable en fonction de la demande. L'hydraulique gravitaire représente 5,4% de la puissance (6n3GW, soit le double de la moyenne mondiale). Les chauffe-eau électriques individuels

⁸⁶. Voir B. Multon & H. Ben Ahmed, 2007, «Le stockage stationnaire d'énergie électrique: pourquoi et comment?» *Revue 3E.I*, n° 48, pp. 18-29.

stockent entre 50 et 80 GWh tous les jours pendant les heures creuses. Les pics de consommation doivent cependant être couverts par les centrales thermiques.

En valeur, le marché global du stockage d'énergie représente 21,4 milliards de dollars en 2010. Sur ce segment, qui couvre les batteries, les supercondensateurs (accumulateurs d'énergie) ou encore les piles à combustible, les technologies de stockage pour les voitures électriques représentent 7,7 milliards de dollars en 2010⁸⁷.

Concernant les batteries et accumulateurs, le marché est dominé par l'Asie. La valeur du marché mondial des accumulateurs a été multipliée par 6 entre 1990 et 2000, elle atteint 23 milliards de dollars en 2006, le plomb représentant 75 % de ce marché (MEEDDM, 2010).

En France, près de 240 000 tonnes de piles et accumulateurs ont été mises sur le marché en 2008, dont un peu plus de 10 % de piles (en baisse de 7 % par rapport à 2007 (voir tableau ci-dessous).

L'Europe est la première destination des exportations françaises d'accumulateurs et piles électriques, il s'agit principalement de l'Allemagne, de la Belgique et du Royaume-Uni (Xerfi, 2010).

Tableau 10 : Piles et accumulateurs mis sur le marché depuis 2002 (en tonnes)

		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Piles (en tonnes)		19 844	25 769	27 039	27 852	28 745	26 709	24 883
Accumulateurs (en tonnes)	Ni-MH	811	546	968	1 371	1 966	1 852	1 629
	Ni-Cd	2 940	1 685	1 938	1 742	2 229	2 386	2 283
	Lithium	607	705	840	1 118	1 302	2 297	2 648
	Plomb⁽⁶⁾	181 726	212 028	167 798	203 501	192 626	188 757	207 677
	Ni-MH	908	594	2	2	0	0	501
Total Piles & Accumulateurs		206 836	241 327	198 585	235 586	226 868	222 001	239 621

Source : Ademe, 2008. Piles et accumulateurs. Synthèse

87. Voir Opticsvalley (2010), Note de marché Eco-activités.

La chaîne de valeur de la filière et les principaux acteurs

En matière de batteries, piles et accumulateurs, la France tient une position paradoxale : reconnue internationalement pour la qualité de sa recherche, elle est cependant peu présente en aval de la filière (notamment, la production de batteries), dans un marché dominé par les pays asiatiques (MEEDDM, 2010).

Les acteurs de la filière sont dispersés et diversifiés selon les technologies développées. Le marché français est dominé par les technologies électrochimiques, avec notamment Saft et Enersys réalisant production et recherche en France. Des filiales de grands groupes (Batscap) ou des PME sont aussi très actives sur certains produits innovants (volants inertiels, recyclage, etc.). La France dispose par ailleurs de laboratoires publics de pointe dans le domaine du stockage électrochimique et des batteries, et également de savoir-faire majeurs dans l'automobile, l'électronique de puissance, les systèmes de charge et comptage, etc.

Globalement, l'activité de fabrication est majoritairement portée par cinq entreprises qui représentent 90 % du chiffre d'affaires et de l'emploi du secteur. Le leader est l'entreprise Saft (qui dispose de multiples débouchés – automobile, défense, spatial, etc.) ; suivi par les Américains Enersys et Exide (plus spécialisés sur les chargeurs de traction ou batteries monoblocs).

Les principaux acteurs de la filière et leurs spécialités sont : Saft (batteries lithium-ion, Ni-mh et Nicd) ; Batscap (filiale EDF/Bolloré, batteries lithium métal polymère et super-condensateurs) ; Enersys (batteries plomb) ; Exide (batteries plomb) ; SCPS (laboratoire de recherche privé NiZn) ; Sevil (volants d'inertie) ; Alstom (volants d'inertie, turbines/pompes à vitesse variable pour step) ; CEA (batteries Lithium-Ion, électrodes) et le réseau Alistore (recherche fondamentale sur les batteries lithium)⁸⁸.

88. Voir MEEDM (2010) et Xerfi (2010). Piles, Batteries et accumulateurs (marché).

La réglementation

Concernant le marché des piles et accumulateurs, la réglementation est de plus en plus contraignante sur les enjeux environnementaux. Les acteurs doivent notamment déclarer les quantités de produits mises sur le marché et respecter des règles concernant la collecte et le recyclage des piles usagées (dernière directive européenne datant de 2006, transcrite en France par un décret de 2009).

Concernant les politiques de soutien, il n'existe actuellement ni réglementation favorisant le développement des technologies de stockage, ni incitations à investir dans le stockage d'énergie pour gérer le réseau.

Sur les 800 millions d'euros de dépense publique de recherche en énergie en 2006, 2 millions sont consacrés au stockage de l'énergie.

Des initiatives de soutien à la recherche ont toutefois été mises en place par l'Ademe (16 millions d'euros octroyés depuis 2000), l'ANR (programme Stock-E). La France vient également d'adhérer à l'accord de mise en œuvre consacré au stockage de l'énergie de l'Agence internationale pour l'énergie, et vise à développer une filière d'excellence sur le stockage.

Le manque de soutien des politiques publiques pour le stockage de l'énergie est en train d'évoluer, notamment aux États-Unis avec le plan de relance américain. 16 projets seront notamment financés (environ 200 millions de dollars) pour le stockage expérimental en vue de parvenir à une meilleure efficacité et fiabilité du réseau. La Californie, qui comptera 5 de ces projets, vise le leadership du stockage de l'énergie et a notamment proposé une loi prévoyant l'obligation d'incorporation d'une capacité de stockage d'énergie au moins équivalente à 2,25 % du pic de consommation pendant la journée d'ici 2014 et 5% du pic en 2020, pour tous les producteurs présents dans l'État.

En Europe, les perspectives de développement des moyens de stockage de l'énergie font l'objet de vifs débats, en lien notamment avec l'accès aux réseaux électriques centralisés. L'Irlande et le Danemark sont les plus en avance (MEEDDM, 2010). L'Allemagne est également en train de se positionner en tête avec le plan cadre le plus vaste dans le monde, dans le domaine du stockage de l'énergie et des piles à combustible, soutenu par le développement des énergies renouvelables : en 2009, 16,1 % de l'électricité était issue de

sources renouvelables, et l'Allemagne s'est engagée à accroître cette part à 30 % en 2020 et 50 % en 2030. Elle détient actuellement 70 % des projets à l'hydrogène et de piles à combustible de démonstration en Europe, et soutient la recherche sur la technologie de l'énergie avec un financement annoncé de 2,2 milliards d'euros entre 2008 et 2011⁸⁹. La création future de l'EASE (European Association for Energy Storage) rassemblant les principaux acteurs industriels montre une évolution européenne sur cette filière.

Perspectives d'évolution du marché

Les perspectives d'évolution reposent sur un ensemble de facteurs complémentaires : la baisse des émissions de gaz à effet de serre, l'indépendance énergétique, l'accès aux ressources notamment en eau et l'efficacité énergétique dans un contexte de renchérissement des prix de l'énergie.

La demande pour le stockage d'énergie est appelée à évoluer dans les années à venir, notamment sous l'effet de l'essor des sources d'énergie intermittentes (éolien ou solaire), de la migration vers les réseaux intelligents et du déploiement des véhicules électriques.

Le marché global du stockage d'énergie (batteries, supercondensateurs, piles à combustible notamment) devrait atteindre 44,4 milliards de dollars en 2015, soit plus du double de sa valeur en 2010, avec une tendance similaire pour les technologies de stockage pour les voitures électriques (de 7,7 milliards de dollars en 2010 à 14,5 milliards de dollars en 2015)⁹⁰.

Les projections concernant le marché mondial des accumulateurs prévoient une croissance de 5,3 % par an sur ce marché, pour atteindre 36,8 milliards de dollars en 2013, avec une progression de plus de 90 % pour le lithium, d'environ 30 % pour le plomb et une baisse de l'ordre de 25 % pour le nickel⁹¹.

89. Notons qu'avec la décision prise par l'Allemagne le 30 mai 2011 de fermer ses derniers réacteurs en 2022, en conséquence de la catastrophe nucléaire de Fukushima au Japon, ces données seront probablement réévaluées à court terme.

90. Voir Opticsvalley (2010), *Note de marché Eco-activités*.

91. Voir Frost & Sullivan (2007), « World Rechargeable Battery Industry: Present and Future Markets ».

En dépit d'une activité industrielle en repli sur une longue période, les fabricants français de batteries, accumulateurs et piles ont une carte importante à jouer dans le domaine des hautes technologies (forte valeur ajoutée et faible concurrence), à l'exemple du français Saft (dans l'aérospatiale et la défense)⁹².

Perspectives d'emploi

L'accroissement des énergies renouvelables va créer une demande de stockage d'énergie. Les perspectives de diffusion de véhicules électriques, la mise en place de smart grids vont également induire des besoins d'unités de stockage d'énergie supplémentaires.

Toutefois, les prévisions de doublement du marché d'ici à 2015 sont extrêmement difficiles à traduire en termes d'emploi.

Positionnement stratégique des entreprises rencontrées

- **GDF Suez : Anticiper et innover sur des nouvelles technologies complémentaires, tout en conservant une démarche d'ensemblier.**

GDF Suez inscrit la croissance responsable au cœur de ses métiers pour relever les grands enjeux énergétiques et environnementaux : répondre aux besoins en énergie, assurer la sécurité d'approvisionnement, lutter contre les changements climatiques et optimiser l'utilisation des ressources.

Le groupe propose des solutions performantes et innovantes aux particuliers, aux villes et aux entreprises en s'appuyant sur un portefeuille d'approvisionnement gazier diversifié, un parc de production électrique flexible et peu émetteur de CO₂, ainsi que sur une expertise unique dans quatre secteurs-clés : le gaz naturel liquéfié, les services à l'efficacité énergétique, la production indépendante d'électricité et les services à l'environnement.

⁹². Voir l'étude Xerfi (2010), « Piles, batteries et accumulateurs (marché) ».

En 2010 GDF Suez a consacré 222 millions d'euros à ses programmes de R&D et employé plus de 1 100 chercheurs et experts.

Dans le domaine du développement durable, la Recherche et innovation du groupe s'est fixé trois objectifs prioritaires :

- le développement de solutions qui répondent aux enjeux d'efficacité énergétique et environnementaux de clients particuliers, entreprises et collectivités de GDF Suez ;
- l'identification et le développement des technologies les plus prometteuses, notamment au regard de leur empreinte environnementale ;
- l'amélioration de la sécurité industrielle, de la sûreté des installations et de la qualité des services dans les métiers du groupe.

Cinq programmes corporate, sous le pilotage de la direction Recherche et innovation, ont été structurés et mis en œuvre pour préparer les technologies de demain : énergies renouvelables, captage et stockage du CO₂, GNL offshore et chaînes gazières du futur, smart energy and environment et ville et bâtiment de demain.

Les choix stratégiques de GDF Suez dans le domaine du stockage de l'énergie reflètent la volonté d'adaptation du groupe aux mutations rapides du secteur : l'incertitude sur le profil résiduel de la demande d'électricité, déduction faite des énergies renouvelables, pousse l'entreprise à rechercher des solutions innovantes.

Le groupe développe ainsi des programmes de R&D variés avec des horizons temporels longs, dont un portant sur smart energy and environment, qui englobe le smart metering grid, la production distribuée et le stockage d'énergie.

Le stockage d'énergie est une filière où un ensemble varié de technologies existe, avec des degrés de maturité divers. Par exemple, en matière d'offre d'énergie renouvelable, l'hydraulique est encore au stade de marché de niche. Pour le stockage de masse, le modèle économique existe, avec des degrés de rendement variant de 70 à 80 % et un savoir-faire maîtrisé, notamment pour la technologie CAES air comprimé et chaleur⁹³.

La construction de centrales thermiques flexibles est complexe à décider car, tout comme pour le stockage (step, CAES, etc.), il n'y a aujourd'hui aucune visibilité sur la façon de rémunérer ces investissements. Concernant le stockage distribué (unité de stockage destinée à être raccordée au réseau de distribution), le modèle économique n'est pas encore clair et rentable avec des signaux tarifaires volatils.

Pour GDF SUEZ, les freins principaux pour toutes les filières de stockage sont le manque de visibilité, les règles de régulation des marchés, ainsi que les tarifs et prix de l'électricité, notamment les tarifs de rachat.

Dans une Europe qui pousse vers une décarbonisation importante, par l'introduction de production renouvelable, entre autres, il sera indispensable d'introduire des moyens de lissage de la production pour faire face à la demande. D'après GDF Suez, des investissements importants en stockage court terme mais également long terme seront nécessaires. Le stockage centralisé (capacité importante) sera nécessaire en vue des grands projets de production renouvelable (éolien on et surtout off-shore). Le stockage au niveau des réseaux de distribution dépendra de la percée de la production distribuée.

93. GDF Suez dispose ainsi aujourd'hui de trois unités de pump storage (CAES) en Europe et une unité aux États-Unis.

SYNTHÈSE SUR LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

- **La filière aujourd'hui**

Le stockage de l'énergie n'est pas encore une réalité économique majeure, à l'exception du segment des batteries et des piles.

- **Les perspectives**

Pour répondre à l'essor des sources d'énergie intermittentes (vent ou solaire), à la migration vers les réseaux intelligents et au déploiement des véhicules électriques, le marché du stockage va se développer.

Les projections estiment un doublement de sa valeur d'ici à 2015.

- **Implications pour les politiques publiques**

Les freins et verrous à lever identifiés par les entreprises rencontrées portent notamment sur le manque de visibilité et les règles de régulation des marchés.

Concernant le stockage de masse, les conditions d'accès (tarification) au réseau de transport sont très importantes. Certains pays comme la Suisse et l'Autriche ont par exemple exonéré le stockage des tarifs d'accès au réseau de transport.

L'absence de marché organisé entraîne un retard dans le marché du stockage de masse.

Concernant le stockage raccordé au réseau de distribution (stockage distribué), les principaux freins mis en avant sont l'absence de sécurité et la qualité d'alimentation, ainsi que la volatilité des prix

L'économie de la fonctionnalité : un modèle d'affaires original ?

La notion d'économie de la fonctionnalité a été vulgarisée en France par le Grenelle de l'environnement qui en avait fait le thème de l'un de ses 34 « chantiers opérationnels ». Elle a depuis été l'objet de nombreux rapports, le plus récent ayant été publié en janvier 2011 par la Fondation Concorde⁹⁴. À la différence des autres cas étudiés dans ce rapport, l'économie de la fonctionnalité n'est pas une filière mais un modèle d'affaires (au sens de business model) dans lequel on substitue à la vente d'un bien matériel celle de son usage⁹⁵, le modèle pouvant être utilisé dans différents secteurs ou différentes filières. L'intérêt suscité par ce modèle tient au fait qu'il permettrait de combiner rentabilité économique et performance environnementale, le fournisseur étant en particulier plus incité à augmenter la durée de vie des produits qu'il met à la disposition de ses clients.

L'exemple emblématique d'un service d'économie de la fonctionnalité – qui fera l'objet d'une analyse dans cette étude – est la Michelin Fleet Solution, par laquelle Michelin fournit à de grandes flottes de poids lourds un service associant la fourniture et la maintenance d'un parc de pneumatiques. Le pneu n'est plus vendu et la tarification du service est proportionnelle à l'usage. En l'occurrence, le client optant pour la Michelin Fleet Solution paye une redevance au kilométrage parcouru.

Comme l'économie de la fonctionnalité n'est pas une filière à proprement parler, cette étude a un format différent des précédentes. Elle est organisée en trois parties. Dans la première, nous définissons le concept et discutons sa pertinence économique et

94. Fondation Concorde (2011), « L'économie de la fonctionnalité : vers un nouveau modèle économique durable ».

95. Buclet N. (2005) « Concevoir une nouvelle relation à la consommation : l'économie de la fonctionnalité », *Les Annales de Mines*, « Responsabilité et Environnement », juillet, pp. 57-66.

environnementale, mais aussi son originalité. En effet, l'une des questions qui surgit quand on examine les exemples concrets de service d'économie de la fonctionnalité décrits dans les rapports est l'originalité du modèle, sachant qu'une évolution structurelle des entreprises industrielles est d'associer des services à la vente de produits. Une seconde partie présente le positionnement vis-à-vis du modèle de trois entreprises rencontrées lors de l'étude : France Telecom, Michelin et Veolia Environnement. Une dernière partie résume ce qu'il convient de retenir de notre analyse.

Présentation de la filière

Caractérisation du concept

Des exemples de services d'économie de la fonctionnalité décrits dans le rapport Folz, un rapport de référence publié lors du Grenelle sur la question, sont brièvement évoqués dans l'encadré. Certains relèvent du service aux entreprises (B to B), d'autres du service aux consommateurs (B to C) comme le Vélib'. Mais tous présentent deux traits distinctifs :

- l'absence de transfert de la propriété du bien, qui est simplement mis à disposition du client – on entre dans une logique de location ;
- une tarification proportionnelle à l'usage.

L'intérêt suscité par ce modèle économique tient au fait qu'il serait plus durable. Dans le modèle traditionnel, le producteur d'un bien matériel cherche à en vendre la plus grande quantité possible, ce qui peut l'inciter à limiter la durabilité du bien (la notion d'obsolescence programmée). Dans une relation de service, il cherche au contraire à minimiser le coût du service rendu, ce qui l'incite à concevoir des produits plus fiables et dont les coûts de maintenance sont plus faibles. En outre, en restant propriétaire, il est directement concerné par la fin de vie du produit, ce qui l'incite à concevoir des produits moins coûteux à traiter ou recycler. Par ailleurs, le client payant à l'usage a une perception plus claire du coût économique global du service lui permettant plus facilement d'optimiser son niveau de consommation. Ces mécanismes induisent a priori une plus grande sobriété, des économies d'énergie et de matières premières, et donc des impacts environnementaux plus modérés.

Quelques exemples de services d'économie de la fonctionnalité décrits dans le rapport Folz⁹⁶

Michelin et la Fleet Solution (2002) : prise en charge de la gestion du parc de pneumatiques de grosses flottes poids lourds pour optimiser leur performance dans le cadre d'une facturation au kilomètre parcourue.

Xerox (2007) : un fournisseur de solutions d'impressions qui conçoit et met à disposition des équipements auprès de ses clients. Propose un nouveau service de fourniture de solutions d'impressions facturé à la page.

Elis (1991) : opérateur multiservices qui propose entre autres de la location-entretien des services de propreté (habillement professionnel, linge de collectivité, linge de santé, sanitaires, etc.).

Vélib' (2007) : entreprise de partage de vélos. Tarification par un abonnement et une durée d'utilisation.

Le modèle économique de l'économie de la fonctionnalité : externalisation et développement des services

À y regarder de plus près, l'émergence de services d'économie de la fonctionnalité ne constitue pas une révolution du modèle économique traditionnel. Elle est l'une des manifestations de deux évolutions structurelles de l'industrie, entamées depuis trente ans :

- l'externalisation de services ;
- l'association grandissante de services à la vente de produits par les entreprises industrielles.

96. Folz J.-M. (2008), rapport final du groupe d'étude Économie de la fonctionnalité (chantier n° 31 du Grenelle de l'environnement), octobre.

L'externalisation de services

Du point de vue de l'acheteur, opter pour un service d'éco-fonctionnalité à la place du simple achat du bien consiste à externaliser une activité de service. Dans le cas de Fleet Solution, les entreprises de transport routier achètent un service de mise à disposition de pneus et de maintenance alors qu'elles assuraient auparavant la maintenance en interne. Il n'y a pas là de différence de nature avec l'externalisation d'un service de restauration collective ou de nettoyage par exemple.

Le service aux entreprises est une réalité économique majeure. Ainsi, les achats de services des entreprises industrielles représentent en 2005 en France 9 % de leur chiffre d'affaires, soit 56 milliards d'euros⁹⁷. Ces achats sont en augmentation constante depuis les années 1970⁹⁸. Elles achètent des services informatiques et de télécommunications, du transport, de la logistique, de la maintenance, du nettoyage des locaux, de la restauration collective, des services commerciaux et des prestations intellectuelles de conseil, voire de la R&D. Les firmes cherchent ainsi à se concentrer sur leur cœur de métier en sous-traitant des activités périphériques. Transférer ces activités à des entreprises spécialisées permet d'en améliorer la productivité et la qualité via l'exploitation d'économies d'échelle et l'innovation dans une logique de division du travail. L'économie de la fonctionnalité entre parfaitement dans cette logique d'externalisation.

L'association de services à la vente de produits

De manière symétrique, les entreprises industrielles développent elles aussi des activités de service. Ce développement vient parfois en substitution de leur activité manufacturière traditionnelle, IBM constituant le cas extrême d'une entreprise fabriquant des ordinateurs qui s'est réinventée, au cours des années 1990, comme une entreprise de services informatiques. Mais, le plus souvent, le service est associé à leur activité traditionnelle,

97. Source : Sessi (2008) « Les grandes entreprises externalisent une gamme de services plus diverse que les PME ». Le 4 pages des statistiques industrielles, n° 242, mars.

98. Le Blanc Gilles (2005) « L'industrie dans l'économie française (1978-2003) : une étude comparée », Note de benchmarking, Cercle de l'industrie - Institut de l'entreprise, Paris.

les entreprises commercialisent des prestations intégrant produits et services. La littérature de management anglo-saxonne évoque un processus de «servicisation» des produits (Vandermerwe et Rada, 1988) dans lequel la dichotomie traditionnelle entre produit et service est remplacée par un continuum produit-service.

En associant produit et services, elles cherchent à relâcher la concurrence en coût en différenciant leur offre de celles des concurrents. La servicisation permet également de substituer une transaction ponctuelle à une relation commerciale récurrente avec fidélisation du client et un possible enrichissement ultérieur de la relation par de nouvelles prestations. Dans le cas de la société Elis, qui propose des services variés ne se limitant pas au domaine des vêtements professionnels, cet avantage est capital.

Cette servicisation touche au premier chef le secteur des biens d'équipement dont la durée de vie chez le client est longue, ce qui induit des besoins de maintenance, d'upgrading, de gestion de la revente sur le marché de l'occasion, voire de gestion de la fin de vie du bien.

L'importance de la servicisation reste difficile à quantifier précisément, mais les quelques éléments disponibles suggèrent qu'il s'agit déjà d'une réalité économique majeure. Une étude récente⁹⁹ exploitant une base de données de 10 000 entreprises industrielles situées dans 25 pays, avance que la servicisation est mise en œuvre par 30% des firmes de l'échantillon, 55 % du chiffre d'affaires – ce qui indique que les entreprises «servicisées» sont plus grandes que la moyenne – et 50 % du profit – ce qui indique qu'elles sont moins rentables que la moyenne. Dernier enseignement, le taux de servicisation varie considérablement d'un pays à l'autre, avec à un extrême la Chine (1 % de firmes servicisées) et à l'autre les États-Unis avec un taux de 59 %. Ces chiffres accréditent la thèse selon laquelle la servicisation serait une réponse d'entreprises industrielles de pays développés à la concurrence des industriels des pays émergents.

99. Neely A. (2009) « Exploring the Financial Consequences of the Servitization of Manufacturing », *Operations Management Research* vol. 1, n° 2, pp. 103-118.

La singularité de l'économie de la fonctionnalité

L'économie de la fonctionnalité est une forme poussée de servicisation dans laquelle le bien matériel n'est plus vendu aux clients. Le fournisseur en reste le propriétaire et le met simplement à disposition du client¹⁰⁰.

Si la servicisation est sans doute très répandue dans l'industrie, qu'en est-il de sa forme extrême que constitue l'économie de la fonctionnalité ? Il n'est aujourd'hui pas possible de répondre précisément à cette question. Les rapports publiés sur ce sujet préconisent d'ailleurs de développer un appareil statistique pour cerner l'ampleur du phénomène (voir par exemple le dernier rapport¹⁰¹ de la Fondation Concorde). Malgré tout, l'économie de la fonctionnalité nous semble beaucoup moins embryonnaire que ce que de nombreux rapports publiés sur le sujet suggèrent.

Dans le B to C, tous les services de location et de leasing – location de véhicules bien sûr, mais aussi d'outillage (Kiloutou), de robes de soirée ou de sacs à main de marques de luxe, fourniture d'accès à l'Internet (un service associé avec la mise à disposition de box) – présentent les deux traits distinctifs de l'économie de la fonctionnalité qui sont l'absence de transfert de la propriété et la tarification à l'usage.

Dans le B to B, la location et le leasing bien sûr, mais aussi les data centers, le cloud computing (l'entreprise n'achète plus les serveurs pour y stocker ses données), les services énergétiques aux entreprises ou aux collectivités locales relèvent par exemple de l'économie de la fonctionnalité.

100. Hockerts K., Weaver N. (2002), « Towards a Theory of Sustainable Product Service Systems: Ecological and Economic Basis », Insead-CMER Research Workshop on Sustainable Product Service Systems.

101. Fondation Concorde (2011), « L'économie de la fonctionnalité: vers un nouveau modèle économique durable », janvier.

L'impact environnemental

Le succès du concept d'économie de la fonctionnalité tient aux espérances environnementales qu'il suscite. Les mécanismes susceptibles de réduire les impacts environnementaux par rapport au modèle traditionnel sont bien identifiés (voir par exemple, le rapport Folz)¹⁰² :

- une réduction des impacts environnementaux liés à l'usage du produit du fait d'une professionnalisation de la maintenance ;
- un allongement de la durée de vie du produit, ce qui limite l'impact environnemental de sa fabrication et de sa fin de vie (gestion des déchets) ;
- une augmentation du taux d'utilisation de l'équipement quand il y a mutualisation, ce qui réduit le volume de produits vendus (ex. : Autolib' limitant l'achat de voitures) ;
- une optimisation de l'usage du produit par le client qui a une meilleure perception de son coût global. Ne payant que pour ce qu'il consomme, il limite sa consommation aux cas strictement nécessaires.

Ces mécanismes favorables à l'environnement semblent bien opérer pour les services B to B, alors que pour le B to C, rien n'est sûr. Comme l'utilisateur n'est plus propriétaire de l'équipement qu'il utilise, il n'a pas d'incitation à l'utiliser de manière soigneuse, d'autant qu'il ne paye pas directement les interventions de maintenance (cf. les problèmes de dégradation des Vélib'). Les coûts de maintenance – et les dommages environnementaux induits – augmentent et la durée de vie diminue.

Ces raisonnements sont théoriques. En pratique, il n'existe pas, à notre connaissance, d'études quantifiant précisément ces impacts sur des exemples concrets.

Effet sur l'emploi

L'effet sur l'emploi est difficile à apprécier et aucune étude ne fournit de chiffres. On ne peut donc que s'appuyer sur des raisonnements spéculatifs. Substituer la vente d'un bien tangible par sa location ne supprime évidemment pas la nécessité de le produire.

Mais de nombreux arguments laissent penser que son niveau de production diminue (la durée de vie du bien augmente, son usage est mutualisé, etc.). Il y a incontestablement là une destruction potentielle d'emplois.

Cette destruction est-elle compensée par les services associés à la location ? Dans les applications B to B, une part correspond à une substitution d'activités jusqu'à internalisées. A priori, cette substitution diminue son contenu en travail. Prenons l'exemple de la maintenance. Une maintenance externalisée se professionnalise. Elle est donc plus efficace et donc a priori moins intensive en travail par euro dépensé. Mais un autre facteur vient contrecarrer cette tendance. Pour augmenter la durée de vie des biens, l'économie de la fonctionnalité augmente le volume de la maintenance et donc les emplois associés. Au final, l'effet net sur l'emploi de l'économie de la fonctionnalité est très incertain.

Positionnement stratégique des entreprises rencontrées

Nous avons rencontré quatre entreprises : Michelin, France Telecom, GDF Suez-Lyonnaise des Eaux et Veolia Environnement. Seul Michelin revendique explicitement dans sa communication une offre de service d'économie de la fonctionnalité avec la Michelin Fleet Solution. Les trois autres entreprises font plutôt de l'économie de la fonctionnalité sans l'afficher.

- **Michelin et la Fleet Solution : enrichir les fonctionnalités**

La Fleet Solution représente aujourd'hui 300 000 véhicules, presque uniquement en Europe, 700 personnes et un chiffre d'affaires d'environ 250 millions d'euros. Pour Michelin, c'est une activité significative sans être majeure : le chiffre d'affaires global de l'entreprise sur le marché européen du pneu de remplacement poids lourds était de 1,4 milliard d'euros en 2009. Michelin Fleet Solution (MFS) représente donc 18 % de l'activité de l'entreprise dans ce marché et environ 1,7 % du chiffre d'affaires global de l'entreprise. Si Michelin fut la première entreprise à lancer ce type d'offres en 2002, ce service est maintenant proposé par ses grands concurrents : Bridgestone, Goodyear et Continental. Mais MFS reste de loin l'offre leader du marché.

MFS s'adresse à un segment particulier du marché : celui des grands transporteurs (marchandises et voyageurs). À son lancement, elle était une réponse à une demande exprimée par certains gros clients engagés dans une démarche générale d'externalisation. Ces grands transporteurs ne sous-traitent d'ailleurs pas seulement la gestion de leur parc pneumatique, mais aussi tout ou partie de la maintenance leurs véhicules, parfois dans le cadre d'un service d'économie de fonctionnalité (une maintenance assurée par les constructeurs avec une tarification au kilomètre).

Le modèle économique de la MFS repose sur les éléments généraux décrits dans la section précédente: la volonté de se différencier de la concurrence, la recherche d'une fidélisation du client permettant d'augmenter les marges et d'enrichir la prestation par des services additionnels, la professionnalisation de la maintenance. S'y ajoute un élément peu spécifique: en optant pour la redevance kilométrique de la MFS, le client transfère à Michelin le risque kilomètre. Le fret de marchandises est en effet une activité assez volatile, ce qui implique une variabilité significative du kilométrage parcouru par une flotte.

Comme les clients concernés par cette offre ont un fort pouvoir de négociation, MFS est moins rentable que l'activité traditionnelle de vente simple qui concerne de plus petites entreprises. Certains concurrents de Michelin – Goodyear et Continental – envisagent d'ailleurs d'abandonner le modèle au profit d'une offre plus classique « produits et services » intégrant la vente de pneus et le service de maintenance.

Michelin souhaite plutôt faire évoluer MFS en enrichissant l'offre avec des services d'efficacité énergétique. Concrètement il s'agirait de mettre à disposition des clients MFS des dispositifs de suivi de la consommation de fioul, des sessions de formation des chauffeurs à une conduite économe, etc. La formule tarifaire serait ajustée pour permettre un partage des gains induits par la réduction des consommations entre le client et Michelin. Il s'agirait en quelque sorte de concevoir l'équivalent de ce que sont les contrats de performance énergétique dans la rénovation des bâtiments. Le potentiel de cette stratégie tient en deux chiffres : les pneus représentent 3 % des coûts d'un transporteur, le fioul en représente 30 %.

- **France Telecom : économie de la fonctionnalité et technologies de l'information et de la communication**

À la différence de Michelin, France Telecom est une entreprise de services. Opter pour l'économie de la fonctionnalité ne se substitue donc pas à une activité traditionnelle de vente de produits. Par ailleurs, comme entreprise de services, elle utilise souvent des formes de tarification proportionnelles au niveau d'usage (ex : des prix d'accès Internet dépendant du débit). Elle met souvent à disposition de clients des biens matériels – sans transfert de propriété – qui sont combinés au service : les box pour l'accès à l'Internet, les data centers. En résumé, elle a développé des services d'économie de la fonctionnalité sans les désigner par ce vocable. Cela étant, l'entreprise se saisit aujourd'hui du concept pour réfléchir à ses offres et à leur évolution.

La question est abordée selon deux axes :

- la fourniture de services d'économie de la fonctionnalité ;
- la fourniture de solutions utilisant les technologies de l'information et de la communication à des fournisseurs de services d'économie de la fonctionnalité (approche B to B to C).

Concernant le premier axe, le point-clé est que l'économie de la fonctionnalité est en pleine cohérence avec une évolution des modèles économiques dans le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC). Citons le développement du « Software As a Service » (SaaS) France Telecom dans lequel la vente d'un logiciel est remplacée par sa mise à disposition avec une tarification à l'usage, l'essor des data centers qui permettent d'externaliser le stockage des données avec, là aussi, une tarification à l'usage (typiquement, le Mb stocké) et du « cloud computing » consistant à fournir un service mutualisé de calcul à distance, ce qui évite de les réaliser sur des machines locales qui peuvent alors être moins puissantes.

Dans ce contexte, les débats sur l'économie de la fonctionnalité incitent France Telecom à intégrer des considérations environnementales dans la conception des services et le marketing. À titre d'illustration, Orange Business Services développe un service haut de gamme de visioconférence « Telepresence » et met en avant les émissions de carbone épargnées par une solution qui évite des voyages d'affaires.

Le second axe, s'il est particulièrement crucial pour France Telecom, est mis en avant par tous les acteurs rencontrés : les services d'économie de la fonctionnalité exigeront de plus en plus un usage intensif des TIC. C'est vrai au premier chef des services B to C. En effet, dans ce domaine, l'économie de la fonctionnalité consiste finalement à développer la location. Aujourd'hui, la location concerne des biens dont l'usage est occasionnel : une décolleuse à papier peint chez Kiloutou, une voiture à l'occasion d'un week-end, une robe de soirée, un appartement dans une station de ski, etc. L'économie de la fonctionnalité consiste à étendre la location à des biens dont l'usage est plus fréquent : une bicyclette en ville pour le Vélib', une automobile utilisée pour des courses du week-end pour Autolib'. Cette augmentation de la fréquence de location induit des besoins de TIC, de géolocalisation notamment, pour améliorer la fluidité du service, afin d'assurer la disponibilité de biens mutualisés à plus grande échelle que dans la location traditionnelle, de rendre plus facile la transaction marchande, etc. France Telecom peut devenir un leader dans la fourniture de ce type de solutions.

- **Veolia Environnement: des formules tarifaires intégrant des critères environnementaux**

Comme France Telecom, Veolia est une entreprise de services et comprend quatre activités : l'eau (36 %), la propreté qui inclut la gestion des déchets (26 %), les services énergétiques avec Dalkia (21 %) et le transport (17 %).

Veolia Environnement s'intéresse également au concept de l'économie de la fonctionnalité. L'entreprise était d'ailleurs candidate pour obtenir le marché francilien de la voiture électrique en libre-service Autolib', finalement remporté par Bolloré en décembre 2010.

Elle a par ailleurs dans son portefeuille des activités difficiles à différencier de l'économie de la fonctionnalité. Prenons l'exemple de Dalkia qui regroupe les activités de services énergétiques du groupe. Dalkia fournit à des collectivités locales et à des entreprises du secteur industriel ou tertiaire des services consistant à concevoir, construire ou gérer des réseaux de chaleur et de chauffage urbain, des systèmes frigorifiques, le chauffage d'immeubles de bureaux, etc.

Le métier de Dalkia consiste finalement à vendre l'usage d'équipements énergétiques (réseau de chauffage, entrepôts frigorifiques, etc.) selon des tarifs reflétant le niveau d'usage (ex. : le nombre de m² d'un immeuble de bureaux chauffé à 20°C). Ces contrats

intègrent naturellement de plus en plus des objectifs d'économie d'énergie avec des clauses contractuelles partageant entre Dalkia et le client les gains financiers induits. Une directive européenne 2006/32/CE relative aux services énergétiques cherche même à promouvoir cette logique avec le contrat de performance énergétique (CPE) défini comme un « instrument financier pour les économies d'énergie qui consiste en un accord contractuel entre le bénéficiaire et le fournisseur (normalement une société de services énergétiques) d'une mesure visant à améliorer l'efficacité énergétique, selon lequel des investissements dans cette mesure sont consentis afin de parvenir à un niveau d'amélioration de l'efficacité énergétique qui est contractuellement défini ». On est très proche d'une économie de la fonctionnalité dans laquelle le client achète l'usage, même si Dalkia n'est pas souvent le propriétaire des équipements énergétiques (chaudières, réseau thermique, etc.) installés chez le client.

On pourrait relever la même proximité dans le domaine de la gestion de l'eau. Par exemple, dans le cadre de certains contrats industriels, Veolia fournit une prestation de services intégrée rémunérée sur la base d'un forfait pour couvrir les coûts fixes, et une part variable assortie d'un bonus calculé sur la base d'objectifs de performance du service. Autres exemples, Veolia est impliquée dans des opérations d'autopartage à Nice ou La Rochelle et de vélos en libre-service à Vannes ou à Nice.

Compte tenu de ses activités, l'enjeu pour Veolia Environnement est moins de concevoir de nouveaux services d'économie de la fonctionnalité que de faire évoluer les services existants dans cette direction. En la matière, la question-clé pour le groupe est celle de la formule tarifaire. Traditionnellement, notamment dans le domaine des services d'eau ou de gestion des déchets, les services sont tarifés au volume (au m³ d'eau, à la tonne de déchets). L'entreprise travaille sur une évolution vers des tarifs plus sophistiqués qui intégreraient des critères environnementaux selon la logique des contrats de performance énergétique.

Mais cette évolution est freinée par deux facteurs. Le premier est le développement de l'allotissement dans les marchés publics – le découpage du service global d'eau ou de déchets en lots plus petits (par exemple, collecte, incinération, etc.) pour favoriser la concurrence. L'allotissement va en effet de pair avec des formules tarifaires simples.

Le second facteur est le civisme des consommateurs. Les formules tarifaires induisant de la performance environnementale exigent souvent un niveau de civisme plus élevé. Par exemple, Veolia gère aux Pays-Bas un service novateur d'assainissement des eaux usées dans lequel les ménages disposent de deux réseaux d'évacuation des eaux usées :

une évacuation pour les eaux grises et une évacuation pour les eaux noires. Le tarif est différencié: l'évacuation des eaux grises est gratuite; celle des eaux noires est tarifée au m³. L'idée est ici d'inciter les consommateurs à « trier » leurs eaux usées en réservant les traitements d'épuration les plus poussés aux eaux noires et à réduire la pollution – le traitement de l'eau noire polluée étant plus cher que celui de l'eau moins polluée. Mais cette tarification variable incite également à des comportements pervers consistant à évacuer les eaux noires dans le réseau gratuit. On retrouve ces incitations dans de nombreuses applications B to C: les dépôts sauvages de déchets quand on est soumis à une redevance incitative qui fait payer l'enlèvement des déchets au poids (et non au forfait), la dégradation des Vélib', etc.

- **GDF Suez: développer une offre de « services rendus à l'environnement »**

Détenu à 35 % par GDF Suez, le groupe Lyonnaise des Eaux-Suez Environnement est le deuxième opérateur mondial en termes de chiffre d'affaires dans le secteur de l'environnement (13,9 milliards d'euros en 2010). Il est spécialisé dans les métiers de l'eau et de la propreté et s'est composé au fil des rapprochements entre la Lyonnaise des Eaux, le groupe de retraitement de déchets Sita et certaines activités de Suez. Le groupe est aujourd'hui structuré en trois pôles: la propreté, c'est-à-dire de la gestion des déchets urbains et industriels en Europe (42 % de l'activité du groupe); l'eau (31 % du chiffre d'affaires) et le pôle international (27 % de l'activité du groupe) qui regroupe les filiales et participations de Suez Environnement en dehors de l'Union européenne. L'entretien s'est concentré sur le pôle eau.

Dans le domaine de l'eau, l'entreprise s'adapte à un marché qui est tiré à la fois par les préoccupations environnementales des collectivités locales (Agenda 21, etc.) et par la pression réglementaire. Pour répondre à cette demande, le groupe cherche à faire évoluer ses offres vers une logique de « services rendus à l'environnement ». Fondamentalement, cela implique une tarification plus vertueuse pour la société; au lieu de s'appuyer sur les volumes d'eau vendus, la rémunération de l'opérateur s'effectue en fonction d'atteinte d'objectifs de performance environnementale et sociétale (ex.: objectif de baisse des émissions de gaz à effet de serre, et protection de la ressource et de la biodiversité).

Une telle tarification est déjà mise en œuvre sur une vingtaine de contrats de Lyonnaise des Eaux, dont une rémunération dépend jusqu'à 20 % de sa performance environnementale. L'entreprise espère que cela contribuera à moyen terme à une rénovation plus

massive du marché des services de l'eau. L'entreprise est engagée par ailleurs en faveur de la compensation écologique.

Pour que le marché se développe en France, le cadre contractuel même de la délégation de service public doit évoluer. Pour l'instant, la facture d'eau n'est pas censée payer la performance environnementale. En outre, aucune collectivité (région, département ou commune) n'est en charge de la maîtrise d'ouvrage pour la protection de la ressource.

SYNTHÈSE SUR L'ÉCONOMIE DE LA FONCTIONNALITÉ

- **L'économie de la fonctionnalité aujourd'hui**

Comme nous l'avons signalé plus haut, l'économie de la fonctionnalité n'est pas une filière ou un secteur. C'est un business model qui peut être déployé dans de nombreux domaines, dans une logique B to B ou B to C. En conséquence, il est très difficile de quantifier le poids des activités économiques fonctionnant sur ce modèle. C'est d'autant plus vrai que l'économie de la fonctionnalité n'apparaît pas comme une innovation de rupture du modèle économique traditionnel, mais comme une variante de modèles existants :

- Dans le B to B, l'économie de la fonctionnalité est l'une des manifestations de deux évolutions structurelles de l'industrie entamées depuis trente ans : l'externalisation de certains services qui ne font pas partie du cœur de métier de l'entreprise et ce que la littérature des sciences de la gestion appelle la « servicisation », le fait pour des entreprises industrielles d'associer des services à la vente de produits pour augmenter leur marge. L'économie de la fonctionnalité pousse cette logique jusqu'au bout en supprimant le transfert de propriété du bien tangible. L'association de services à la vente de produits et l'externalisation sont des phénomènes économiques majeurs : en France, les achats de services par les entreprises représentent environ 10 % de leur chiffre d'affaires ; une étude récente exploitant une base de données de 10 000 entreprises industrielles dans 25 pays avance que la « servicisation » est mise en œuvre par 30 % des firmes.

- Dans le B to C, l'économie de la fonctionnalité s'identifie à de la location. La location traditionnelle concerne le plus souvent des équipements utilisés peu fréquemment : une maison de vacances, certains outils (ex. : décolleuse à papier peint), des robes de soirée. Le succès du concept de l'économie de la fonctionnalité marque l'extension de la location à des biens utilisés plus fréquemment : par exemple, une bicyclette utilisée tous les jours avec le Vélib'.

- **Les perspectives d'évolution**

Les perspectives de diffusion du modèle sont importantes, simplement parce l'économie de la fonctionnalité s'inscrit dans une évolution générale de l'industrie dans laquelle la vente de produits est de plus en plus associée à celle de services.

Cette diffusion est également facilitée par le développement des TIC (notamment, la géolocalisation) qui permettent d'augmenter la fluidité du service et de diminuer les coûts de transaction.

- **Les politiques publiques**

Comme le concept est en cohérence avec une logique économique déjà à l'œuvre, son développement n'est pas déterminé par l'intervention des pouvoirs publics. Les entreprises rencontrées ne sont d'ailleurs pas demandeuses de politiques publiques spécifiques dans ce domaine. Les pouvoirs publics peuvent toutefois avoir un rôle d'accompagnement. En particulier, ils peuvent :

- valider, par des études, l'avantage environnemental de l'approche et ses effets sur l'emploi ;
- accompagner des démarches de normalisation de la mesure de la performance environnementale facilitant la conception de formules tarifaires qui intègrent des critères environnementaux ;
- ponctuellement, sur des applications B to C, subventionner des opérations d'économie de la fonctionnalité comme l'autopartage qui suscitent des externalités positives (réduction de la congestion, etc.).

Annexes

Annexe 1.

Questionnaire : l'économie verte et le rôle de l'industrie dans la croissance verte

1. Le questionnaire

A. L'entreprise face à l'économie verte

- **Qualifiez ces deux formulations de 0 (pas d'accord) à 3 (tout à fait d'accord).**
 - L'économie verte est une contrainte qui s'impose à votre entreprise
 - L'économie verte est une opportunité de compétitivité et de performance

- **Si l'économie verte est pour vous une opportunité (note supérieure ou égale à 2 à la question précédente), quelle forme prend-elle ?**
Qualifiez les formes de 0 (pas important) à 3 (très important).
 - La création de nouveaux marchés
 - Une augmentation des parts de marché dans les marchés existants
 - Une diminution des coûts de production
 - Autre :

- **Cette opportunité est selon vous... (un seul choix)**
 - Récente et émergente
 - Ancienne et fait déjà partie du cœur de métier de votre entreprise
 - Autre :

- **L'économie verte dans votre entreprise est-elle liée principalement à... (pondérez chacun des facteurs de 0 à 3))**

- La réglementation : nationale internationale
- La concurrence nationale internationale
- L'évolution de la demande des consommateurs
- La pression des investisseurs (et / ou agences de notation)
- La pression de la société civile et des autres parties prenantes
- Autre :

- **Avec laquelle de ces trois formulations vous sentez-vous le plus en accord ? (un seul choix)**

- L'économie verte est appelée à se développer dans les années à venir
- L'économie verte est déjà une réalité
- L'économie verte est un phénomène de 'mode passagère'

- **Pour vous, quelle est l'ampleur des incertitudes sur le potentiel de l'économie verte ? (un seul choix)**

- Forte
- Moyenne
- Faible

- **Ces incertitudes portent principalement sur... Quantifiez de 0 (pas d'incertitude) à 3 (très incertain)**

- L'évolution de la demande des clients et consommateurs
- L'évolution de la concurrence
- Le contexte réglementaire national international
- Les avancées technologiques
- Autre :

- **Pour vous l'économie verte intègre-t-elle les dimensions suivantes ? Quantifiez de 0 (pas important) à 3 (très important).**

- Protection de l'environnement
- Enjeux sociaux et sociétaux
- Enjeux de gouvernance

• Avec laquelle de ces deux formulations vous sentez-vous le plus en accord ? (un seul choix)

- L'économie verte implique un verdissement de l'ensemble des activités de l'entreprise
- L'économie verte implique un positionnement sur certaines activités de niche délimitées

B. Le périmètre de l'économie verte dans votre entreprise

• Quelles actions ou quelles stratégies l'économie verte induit-elle dans votre entreprise ?

- Investissement dans une ou plusieurs activités isolées
Si oui lesquelles :

- Arrêt ou réduction d'une ou plusieurs activités isolées
Si oui lesquelles :

- Choix stratégique de verdir plus largement les activités existantes
Si oui, sur quelles dimensions principales :

- Critères environnementaux
- Ressources et matières premières
 - Efficacité énergétique
 - Déchets / Recyclage
 - Transport (dont mobilité du personnel)
 - Pollution
 - Autres :

- Critères sociaux
- Rémunérations
 - Formation
 - Conditions de travail
 - Autres :

- Organisation de la gouvernance (conseil d'administration, comité exécutif...)
- Par exemple :

• Mesurez-vous vos progrès vers l'économie verte ? oui non

• Si oui, avec quel(s) critère(s) ?

- Les critères environnementaux
- Les critères sociaux et sociétaux
- Les critères de gouvernance
- Autre :

• Quelles sont les fonctions de l'entreprise les plus concernées? Qualifiez les fonctions de 0 (pas concernée) à 3 (très concernée) :

- Les ressources humaines
- La R&D et l'innovation
- La production
- La communication externe
- La vente et l'organisation de la distribution
- Le marketing
- La finance
- Autres :

2. Analyse des réponses

14 entreprises répondantes : Air France ; Air Liquide (QR2) ; Alcatel-Lucent ; Arkema ; EADS ; France Telecom ; GDF Suez ; Lafarge ; Michelin ; Rhodia ; Saint-Gobain ; Total ; PSA ; Rio Tinto.

Pour l'analyse des réponses, tous les pourcentages sont donnés en référence au nombre de répondants à la question concernée.

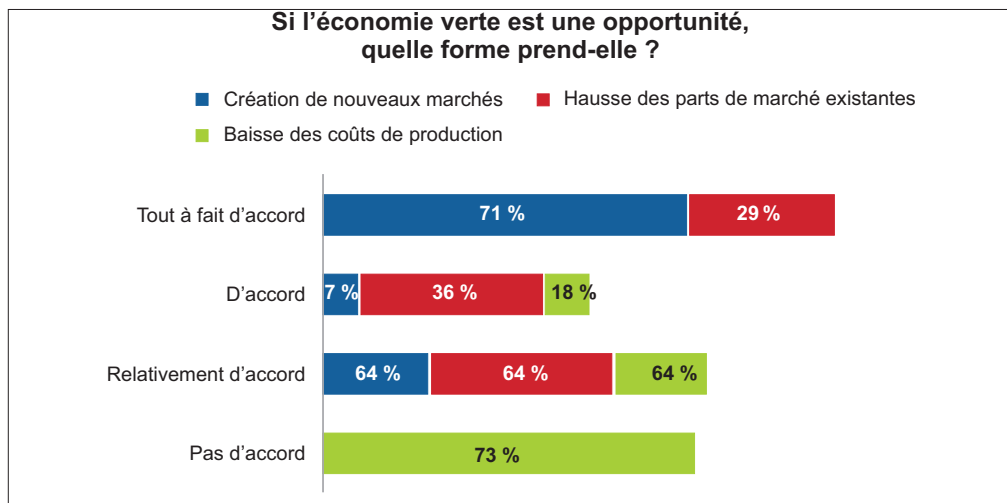
- A. L'entreprise face à l'économie verte

Figure 1. L'économie verte: contrainte ou opportunité ?



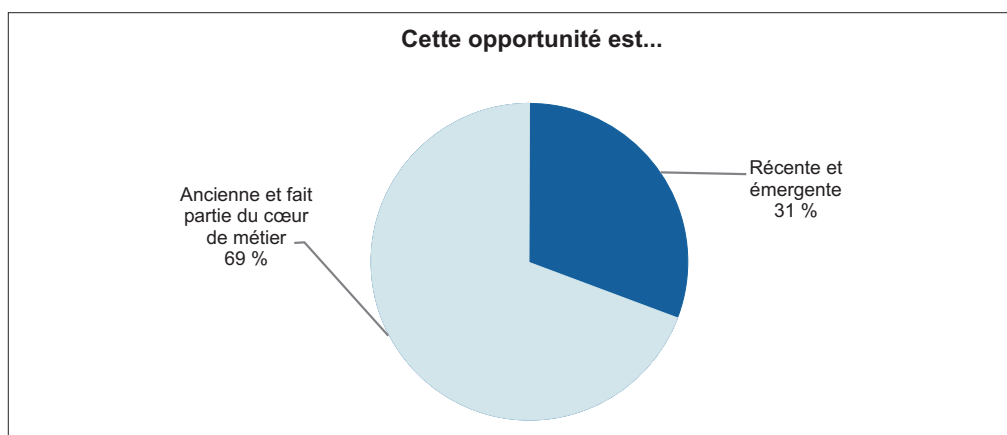
L'échelle de réponse à cette question était de 0 pour « pas d'accord » à 3 pour « tout à fait d'accord ».

Les deux tiers des entreprises ayant répondu au questionnaire considèrent l'économie verte comme une opportunité de compétitivité et de performance. Une écrasante majorité (93 %) d'entre elles sont tout à fait d'accord ou d'accord avec cette affirmation. Un peu moins de la moitié des entreprises (43 %) sont tout à fait d'accord ou d'accord avec l'idée que l'économie verte est une contrainte qui s'impose à l'entreprise. Mais dans ce groupe d'entreprises, les deux tiers (4 d'entre elles) considèrent également que c'est une opportunité de compétitivité et de performance.

Figure 2. Quelle forme prend l'économie verte dans l'entreprise ?

L'échelle de réponse à cette question était de 0 pour « pas d'accord » à 3 pour « tout à fait d'accord ».

Pour la majorité des entreprises (78 %), l'économie verte va entraîner des opportunités économiques liées à la création de nouveaux marchés. Seules 9 % des réponses considèrent la baisse des coûts de production comme une opportunité liée à l'économie verte, et 18 % sont partagées (note de 1 sur 3 attribuée à cette affirmation)

Figure 3. L'économie verte : une opportunité récente ?

Pour plus des deux tiers des répondants l'économie verte est ancienne et fait partie du cœur de métier de l'entreprise.

Ces réponses confirment que l'économie verte n'est pas un concept nouveau en soi, et que la réalité effective de cette opportunité économique a besoin d'être évaluée avec plus de précision à travers des études de cas sur des filières spécifiques.

Figure 4. Les déterminants de l'économie verte dans l'entreprise

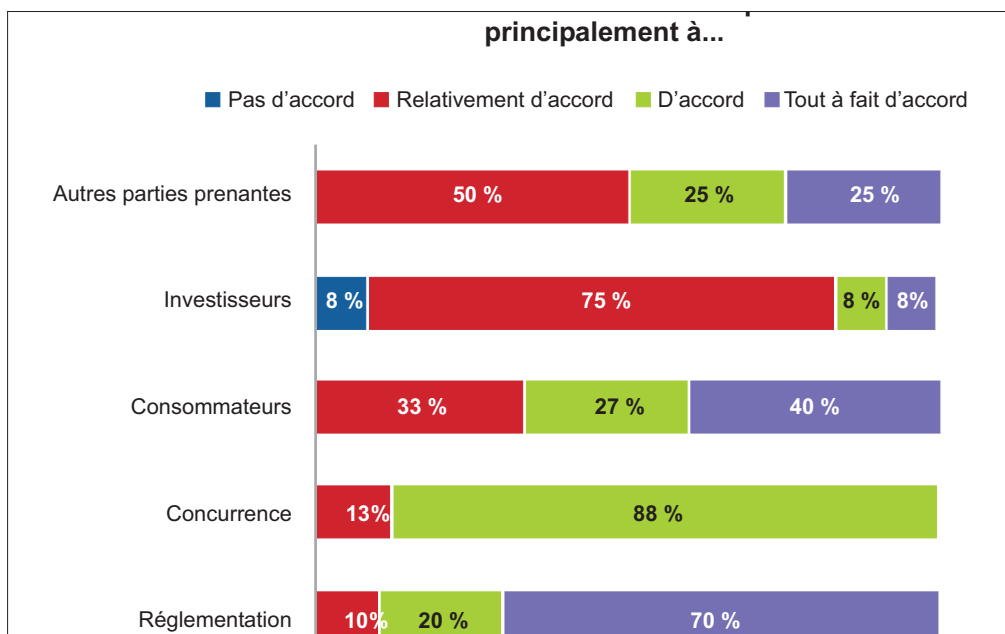
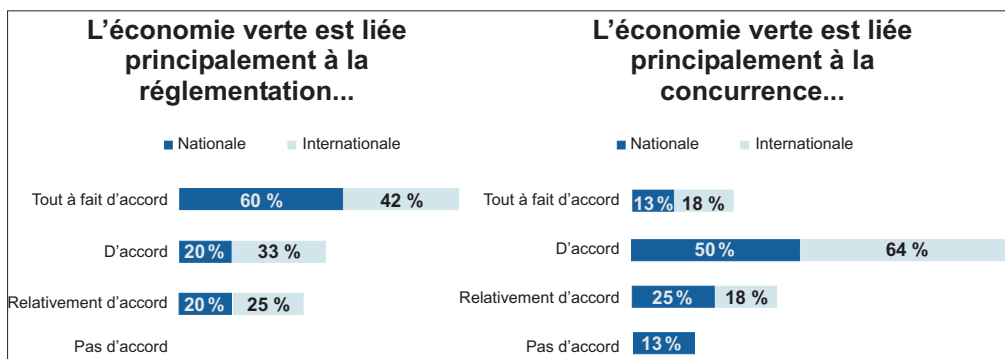
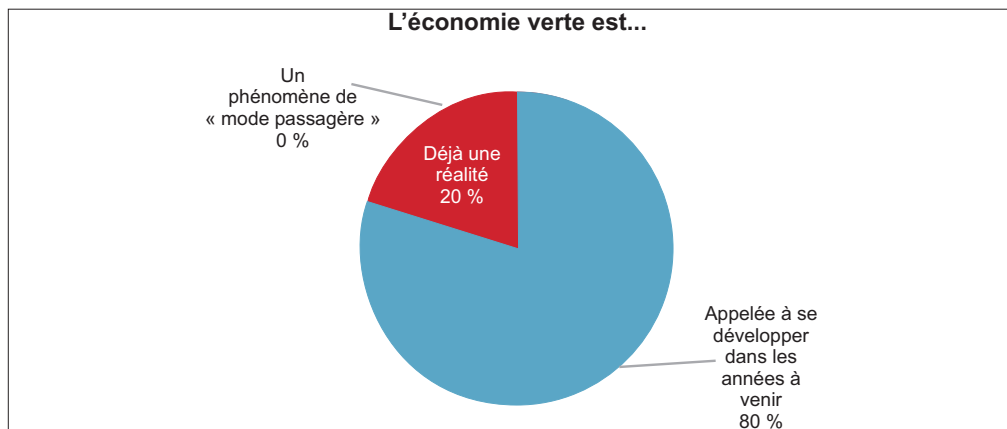


Figure 5. Réglementation et concurrence : nationale versus internationale



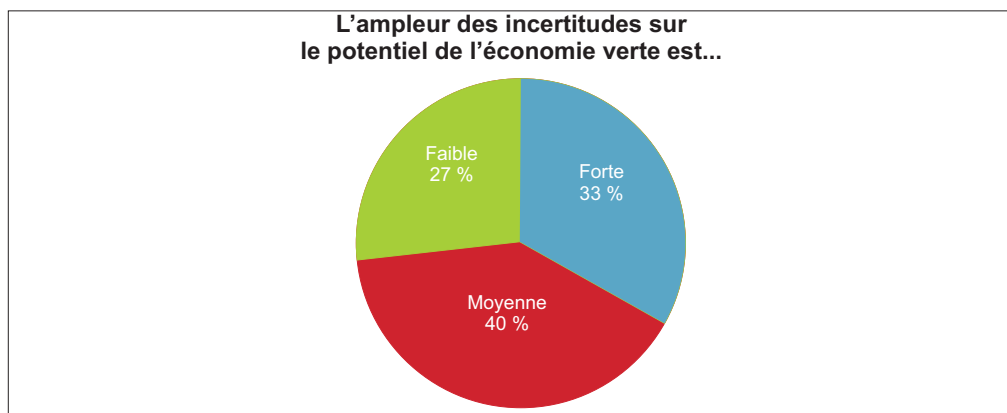
Les deux principaux déterminants de l'économie verte sont : la réglementation, en proportion relativement équilibrée entre réglementation nationale et internationale (80 % versus 77 % de réponse d'accord ou tout à fait d'accord) ; et la concurrence, essentiellement internationale (84 % sont d'accord ou tout à fait d'accord avec cette composante).

Figure 6. L'économie verte dans les années à venir



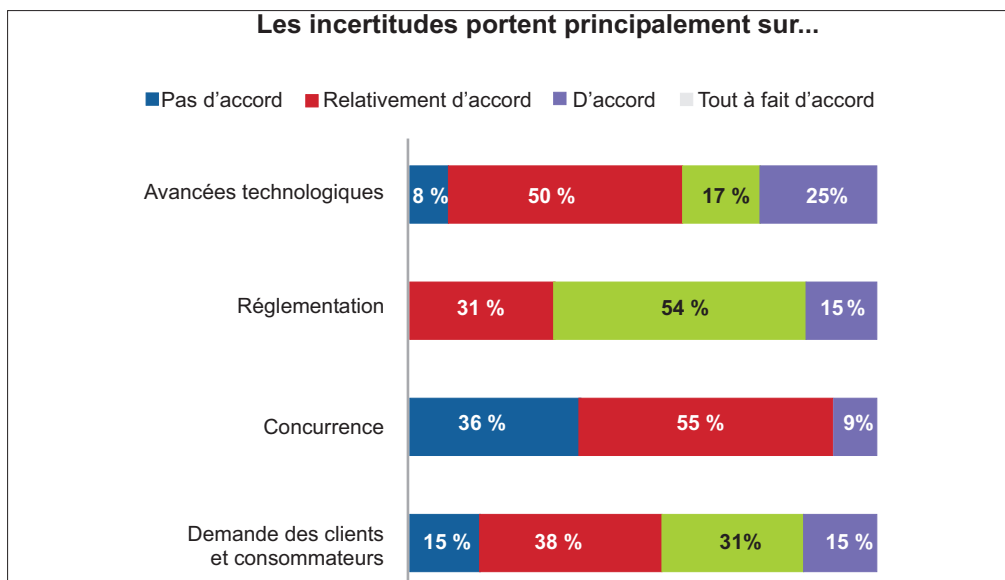
Aucune entreprise interrogée ne considère que l'économie verte est une mode passagère, et l'essentiel d'entre elles considère qu'elle est appelée à se développer dans les années à venir.

Figure 7. Les incertitudes sur l'économie verte



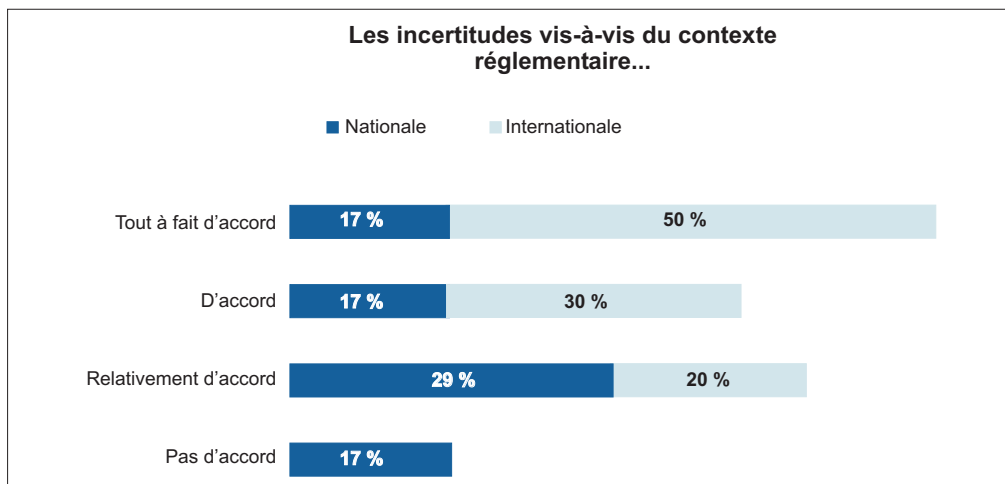
Un tiers des répondants considère que les incertitudes sur le potentiel de l'économie verte sont fortes, et un peu moins de la moitié que ces incertitudes sont d'ampleur moyenne.

Figure 8. Les incertitudes sur le potentiel de l'économie verte



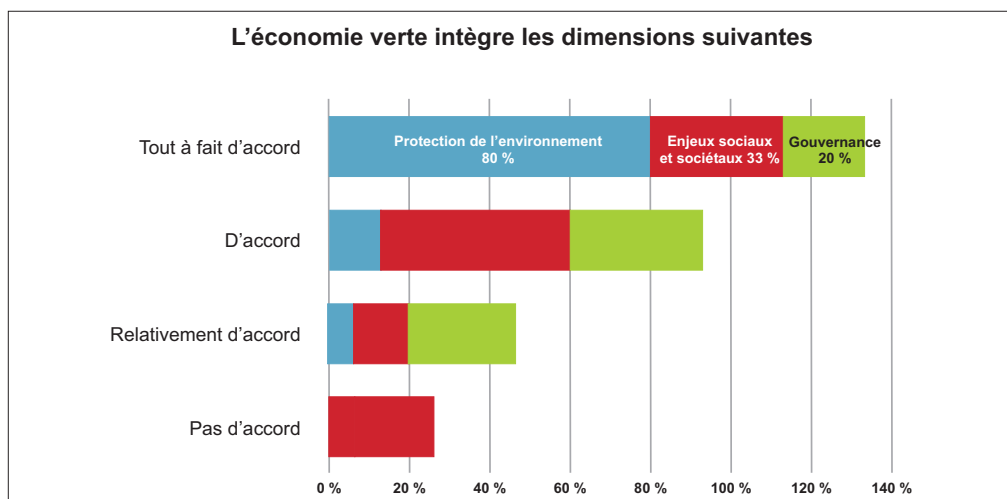
Les principales sources d'incertitudes sur le potentiel de l'économie verte concernent l'évolution du contexte réglementaire (69 % des répondants sont d'accord ou tout à fait d'accord avec cette affirmation), l'évolution de la demande des clients et des consommateurs et les avancées technologiques.

Figure 9. Les incertitudes sur le potentiel de l'économie verte concernant le contexte réglementaire



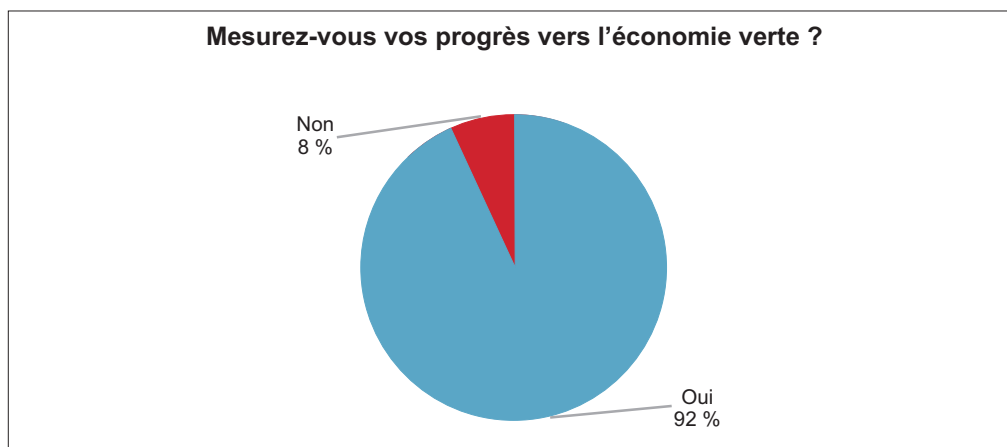
C'est le contexte international qui affecte principalement les incertitudes réglementaires sur le potentiel de l'économie verte (80 % des répondants sont d'accord ou tout à fait d'accord avec cela).

Figure 10. Les différentes dimensions de l'économie verte



La protection de l'environnement est la principale composante de l'économie verte pour les entreprises répondantes. Viennent ensuite les enjeux sociaux et sociétaux, et dans une moindre mesure les enjeux de gouvernance.

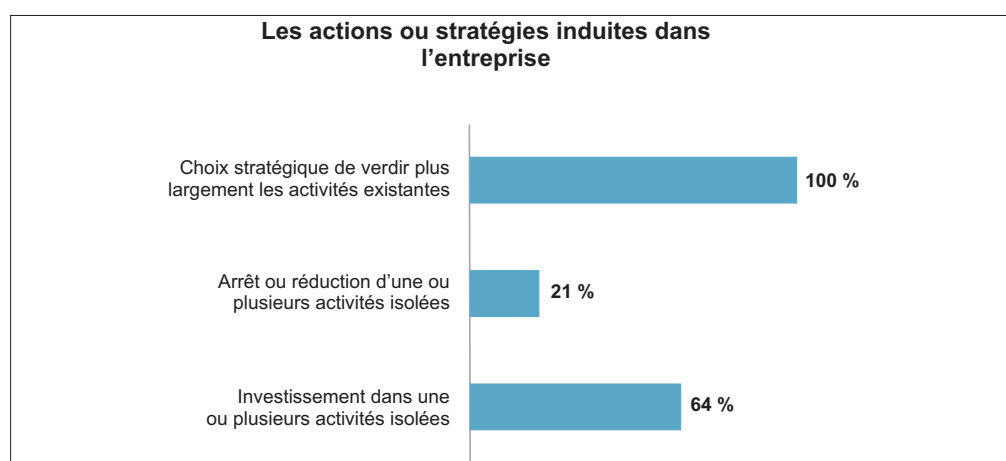
Figure 11. Verdissement ou marchés de niche ?



Le verdissement de l'économie n'est pas du tout considéré comme un positionnement stratégique sur des activités de niche mais comme un processus affectant l'ensemble des activités de l'entreprise (93 % de réponses positives).

- **B. Le périmètre de l'économie verte dans votre entreprise**

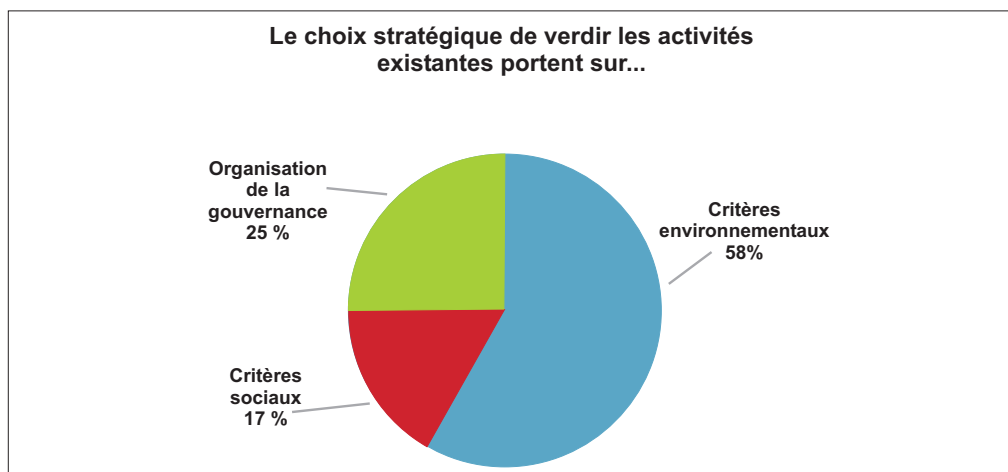
Figure 12. Les stratégies adoptées en matière d'économie verte



Remarque : plusieurs réponses possibles

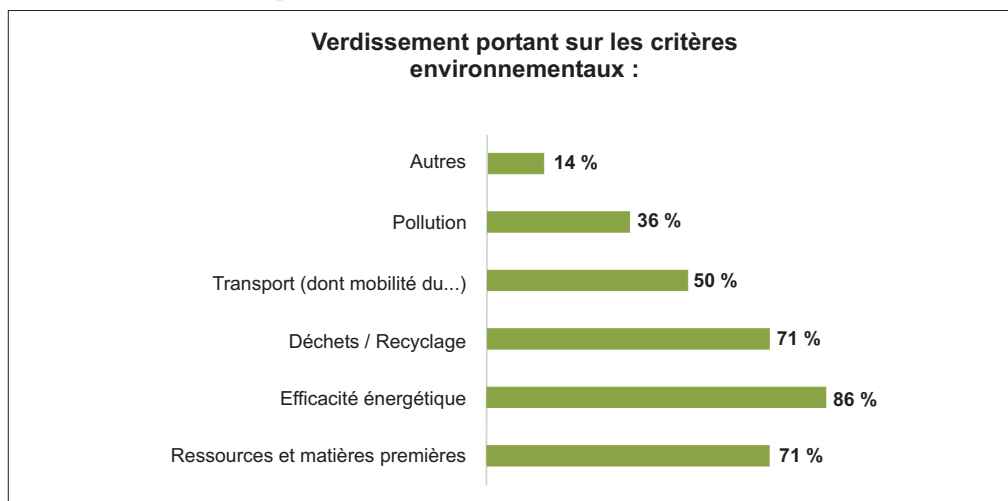
Pour toutes les entreprises répondantes l'économie verte repose sur une stratégie globale et cohérente de « verdissement » de toutes les activités de l'entreprise. Pour les deux tiers, cette stratégie implique également l'investissement dans certaines activités spécifiques, et pour un peu moins d'un quart d'entre elles, le verdissement se traduit aussi par l'arrêt ou la réduction de certaines activités.

Figure 13. Les dimensions du verdissement



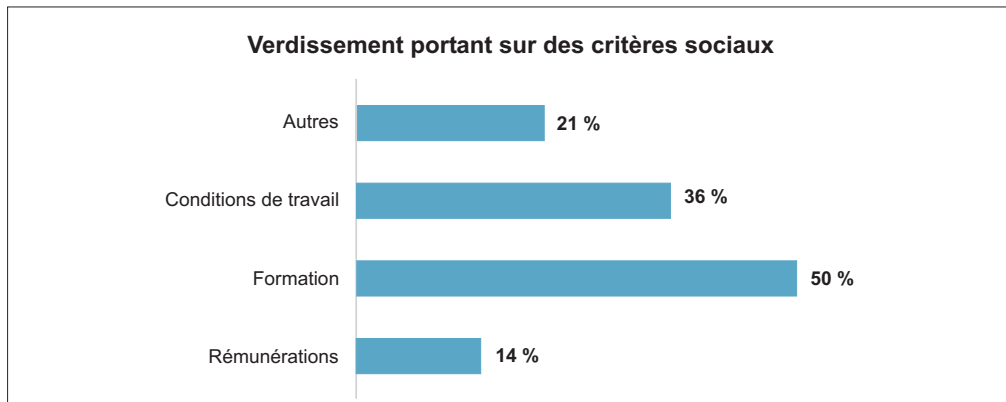
Remarque : plusieurs réponses possibles

Figure 14. Les critères environnementaux



Le verdissement des activités existantes de l'entreprise porte principalement sur les critères environnementaux (figure 13), en particulier en matière d'efficacité énergétique, ressources et matières premières et déchets/recyclage (figure 14).

Figure 15. Les critères sociaux



De manière intéressante, bien que les enjeux de gouvernance ne soient pas considérés comme partie intégrante de l'économie verte ou durable (voir figure 10), le choix stratégique de verdir les activités existantes concerne néanmoins l'organisation de la gouvernance dans l'entreprise (figure 13).

Les aspects sociaux interviennent dans une faible proportion dans le verdissement des activités, et les principales dimensions concernées sont la formation et les conditions de travail (figure 15).

Figure 16. Mesurer ses progrès

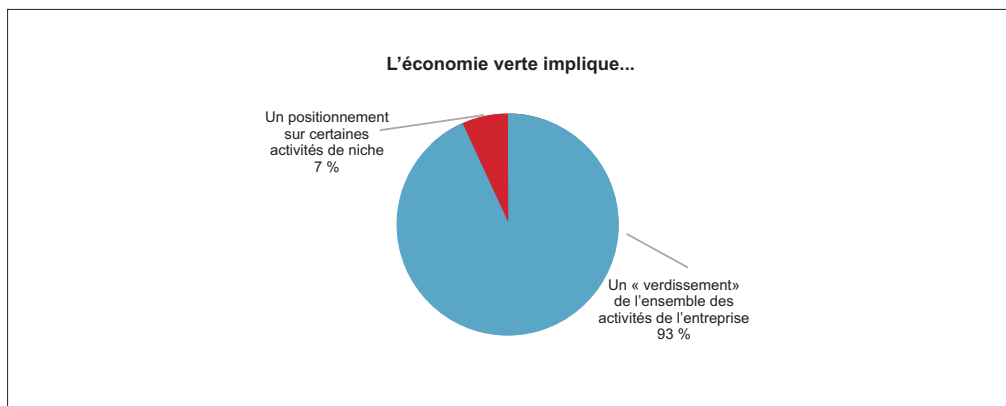
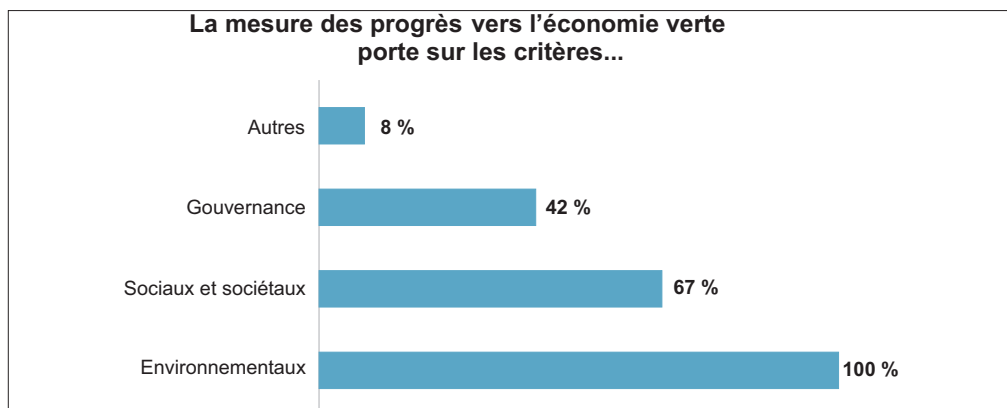
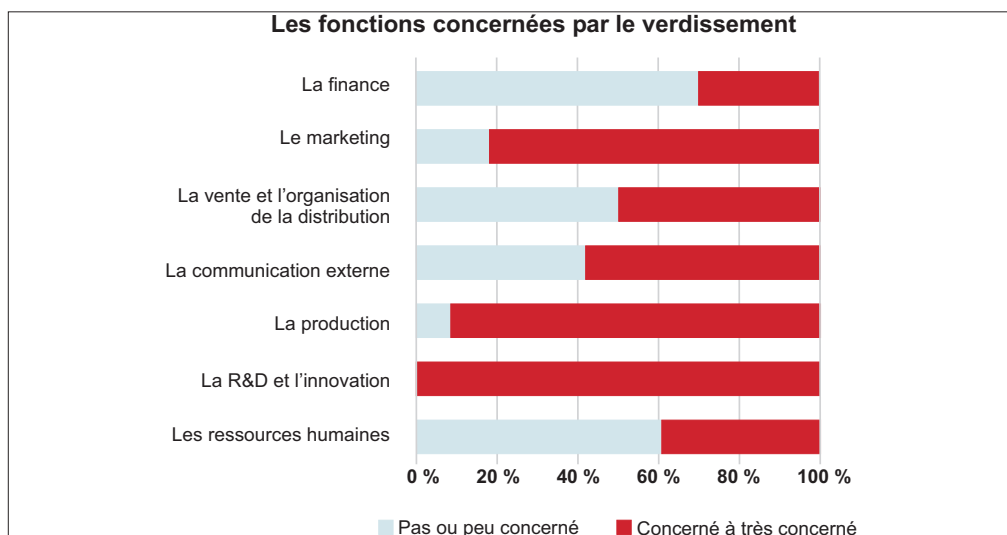


Figure 17. La mesure des progrès

Une très forte majorité des entreprises répondantes mesurent leur progrès vers l'économie verte (figure 16), toutes le font sur des critères environnementaux, les deux tiers sur des critères sociaux, et un peu moins de la moitié sur des critères de gouvernance (figure 17).

Figure 18. Les fonctions concernées par l'économie verte dans l'entreprise

Les principales fonctions dans l'entreprise concernées par le verdissement des activités existantes sont la R&D et l'innovation (100 % des répondants), la production, puis le marketing. Ces résultats illustrent la prépondérance de l'innovation tant technique qu'organisationnelle, mais également l'importance des enjeux de communication interne et externe.

Annexe 2 : Références

Académie des technologies (2006), « Dix questions à Jean Dhers sur le stockage de l'énergie électrique », Commission énergie et environnement.

Ademe et Alcimed (2011), « Usage des résines biosourcées : quel développement en France, dans l'UE et dans le monde ? », étude réalisée pour la compte de l'Ademe par le cabinet Alcimed (105p.).

Alcimed (2007), « Marché actuel des bioproduits industriels et des biocarburants et évolutions prévisibles à échéance 2015-2030 », étude réalisée pour le compte de l'Ademe par le cabinet Alcimed.

Anastas P. et Warner J. (1998), *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press, New York.

Buclet N. (2005), « Concevoir une nouvelle relation à la consommation : l'économie de la fonctionnalité », *Les Annales des Mines*, « Responsabilité et environnement », juillet, pp. 57-66.

Carmée (2009), « La chimie verte : enjeux et positionnement de la Picardie ».

Colonna P. (2005), *La chimie verte*, Éditions Lavoisier.

Commission européenne (2007), « Accelerating the Development of the Market for Bio-based Products in Europe ». Report of the task force on bio-based products.

Commission européenne (2009), « Taking Bio-Based from Promise to Market. Measures to Promote the Market Introduction of Innovative Bio-Based Products », report of the ad-hoc advisory group for bio-based products.

Enea (2011), « Le stockage d'énergie. Enjeux et solutions techniques », Enea Consulting, janvier.

Folz J.-M. (2008), rapport final du groupe d'étude Économie de la fonctionnalité (chantier n° 31 du Grenelle de l'environnement), octobre.

Fondation Concorde (2011), « L'économie de la fonctionnalité : vers un nouveau modèle économique durable », janvier.

Frost et Sullivan (2007), « World Rechargeable Battery Industry: Present and Future Markets ».

Hockerts K., Weaver N. (2002), « Towards a Theory of Sustainable Product Service Systems: Ecological and Economic Basis ».

IAE (2008), « Energy Technology Perspectives ».

IAE (2010), « Carbon Capture and Storage: Technology Roadmap ».

IEA (2010), « Coûts prévisionnels de génération d'électricité ».

Imauven C. (2011), « L'efficacité énergétique : un moteur de croissance », présentation à la journée des investisseurs de Saint-Gobain.

Le Blanc G. (2005), « L'industrie dans l'économie française (1978-2003) : une étude comparée », note de benchmarking, Cercle de l'Industrie - Institut de l'entreprise, Paris.

Le Blanc G. (2009), « Eco-Innovation Case Study Carbon Capture and Storage (CCS) », étude pour l'OCDE.

Liebert M.-A. (2010), Biobased Chemicals and Products : A New Driver of US Economic Development and Green Jobs. *Industrial Biotechnology*, vol. 6, n° 2, pp. 95-99.

McKinsey (2008), « Carbon Capture and Storage: Assessing the Economics ».

McKinsey & Öko Institut for ICCA (2009), « Innovations for Greenhouse Gas Reductions. A life cycle quantification of carbon abatement solutions enabled by the chemical industry », juillet.

MEEDM (2010), Étude filières vertes.

Multon B. & Ben Ahmed H. (2007), « Le stockage stationnaire d'énergie électrique : pourquoi et comment ? » *Revue 3E.I*, n° 48, pp. 18-29.

National Research Council, Committee on Biobased Industrial Products (2000), *Biobased Industrial Products: Priorities for Research and Commercialisation*, National Academy Press.

Neely A. (2009), « Exploring the Financial Consequences of the Servitization of Manufacturing », *Operations Management Research*, vol. 1, n° 2, pp. 103-118.

Opticsvalley (2010), Note de marché Eco-activités.

Piot D. et Tonnelier A. (2010), « La France ne peut pas avoir une industrie forte si elle n'a pas de chimie forte », entretien avec Thierry Le Hénaff, *La Tribune*, 1^{er} février.

Report of the task force on bio-based products.

Sessi (2008), « Les grandes entreprises externalisent une gamme de services plus diverse que les PME », Le 4 pages des statistiques industrielles, n° 242, mars.

Shen, Haufe et Patel (2009), « Product Overview and Market Projection of Emerging Bio-Based Plastics », PRO-BIP 2009 final report, Utrecht University.

Xerfi (2010), « Piles, batteries et accumulateurs (marché) ».

Sites web

<http://www.zeroemissionsplatform.eu/>

<http://www.smartgrids.eu/>

<http://www.smartgrids-cre.fr>

Annexe 3. Liste des personnes rencontrées

Pierre Albano (Air France)

Marc David (Air Liquide)

Corinne Sandell (Alcatel-Lucent)

Philippe Paelinck et **Laurent Schmitt** (Alstom)

Nicolas de Warren (Arkema) et **Daniel Marini** (UIC)

Nicolas Naudin (EADS)

François Giger (EDF)

Denis Guibard (France Telecom)

Rose Delannoy, Jean-Paul Reich, Hélène Valade et **Capucine Journet** (GDF Suez)

Antonio Crespo (Michelin)

Hubert de l'Hermitte (Rhodia)

Roger Maquaire (Saint-Gobain)

Philippe Marchand et **Gérard Moutet** (Total)

Geneviève Ferone (Veolia Environnement)

Annexe 4. Biographies des auteurs

Patricia Crifo

Ancienne élève de l'Ecole normale supérieure de Cachan, lauréate du concours de chargé de recherches au CNRS, puis de l'agrégation pour le recrutement des professeurs d'universités, Patricia Crifo est professeur à Paris Ouest, enseignant chercheur à l'Ecole polytechnique, chercheur associé externe de Cirano (Montréal) et membre du Conseil économique du développement durable et de la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement.

En 2010 elle a été nominée au prix du Meilleur jeune économiste (Le Monde-Cercle des économistes).

Ses recherches portent sur la croissance verte, la responsabilité sociale et environnementale des entreprises, le progrès technique, l'organisation du travail et les inégalités. Elle a coédité récemment un ouvrage sur la Responsabilité sociale et environnementale des entreprises, et a coécrit plusieurs rapports sur l'économie et la croissance vertes.

Ses articles ont été publiés dans les revues *Annals of Economics and Statistics*, *Macroeconomic Dynamics*, *Economic Modelling*, *Labour Economics*, *Review of Economic Dynamics*.

Matthieu Glachant

Professeur d'économie de l'environnement à Mines ParisTech (l'ex-école des Mines de Paris) et directeur du Cerna, le centre d'économie industrielle dans cette école. Il travaille notamment sur les politiques de lutte contre l'effet de serre, l'innovation verte, la tarification routière, les politiques déchets et sur l'économie de la responsabilité sociétale de l'entreprise. Il a publié de nombreux articles dans des revues internationales comme

le *Journal of Environmental Economics and Management*, *Environmental and Resource Economics*, *The Review of Environmental Economics and Policy*, *Energy Policy*, *Transportation Research*, etc.

Comme consultant, il a réalisé ou dirigé de nombreuses études économiques sur la politique de gestion des déchets, les liens entre emploi et environnement, les accords volontaires avec l'industrie pour l'OCDE, la Commission européenne, l'Ademe, le ministère de l'Écologie et du Développement Durable, l'UFC Que Choisir?, etc. Il a été membre de deux instances nationales d'évaluation de politiques publiques (le service public des déchets ménagers, la politique française de l'eau). Il est aujourd'hui membre de la Commission nationale des aides « Investissements d'avenir ».

Manuel Flam

Membre de la Délégation au développement durable du MEEDEM, spécialiste de l'économie verte.

Diplômé de l'Essec, de l'IEP de Paris, ancien élève de l'ENA, il est administrateur civil au ministère de l'Économie et des Finances (DLF) à sa sortie de l'École. Adjoint au chef du département de la stratégie à la DGFIP, puis rapporteur de la Commission sur le prélèvement à la source de l'impôt sur le revenu, il occupe ensuite la fonction de chef du Bureau des affaires communautaires et multilatérales à la Direction de la législation fiscale pendant la présidence française de l'Union européenne.

Il travaille désormais au ministère du Développement durable, en qualité de chargé de mission stratégique sur les enjeux liés au développement de l'économie verte. Il est l'auteur du rapport sur « Les stratégies économiques vertes des États dans le monde » (décembre 2009) et a été le rapporteur principal de l'étude sur les filières industrielles de l'économie verte, publiée en avril 2010 par le Commissariat général au développement durable.

Annexe 5. Présentation du cercle de l'industrie

- **UN LIEU D'ÉCHANGES AUTOUR DES GRANDES ENTREPRISES INDUSTRIELLES**

Basé à Paris et à Bruxelles, le Cercle de l'Industrie est un lieu de dialogue et d'échanges destiné aux grandes entreprises industrielles. Il rassemble les présidents de grandes entreprises intervenant dans tous les secteurs industriels ainsi que des hommes politiques. En 2009, les entreprises membres du Cercle de l'Industrie ont réalisé un chiffre d'affaires d'environ 800 milliards d'euros. Elles emploient près de 3 millions de personnes.

Le Cercle de l'Industrie a été créé en 1993 à l'initiative de Dominique Strauss-Kahn, après qu'il ait été ministre de l'Industrie, et de Raymond H. Lévy, alors président de Renault.

- **LA PROMOTION DES PRÉOCCUPATIONS ET DE L'IMAGE DE L'INDUSTRIE**

Le Cercle de l'Industrie se distingue par sa spécificité industrielle, son engagement pour la construction européenne et son bipartisme politique. Il a pour vocation de participer à la réflexion sur la définition et la mise en œuvre d'une vraie politique industrielle. Il plaide pour une amélioration de la gouvernance économique et financière en Europe.

Le Cercle de l'Industrie se mobilise sur des sujets horizontaux, en exerçant une vigilance particulière sur les questions de concurrence, de commerce international, de recherche, d'innovation et d'infrastructures de transport terrestre, d'environnement et d'énergie. Il publie des positions et des études sur ces sujets.

- **LES RENCONTRES DE HAUT NIVEAU**

Le Cercle de l'Industrie organise régulièrement, pour ses membres, un dialogue sous la forme de dîners autour d'une personnalité, responsable politique ou syndical français ou européen (chefs d'État ou de gouvernement, président de la Commission européenne, commissaires européens, ministres).

- **LES FORUMS ÉTUDIANTS**

Le Cercle de l'Industrie invite régulièrement une centaine d'étudiants de grandes écoles d'ingénieurs et de commerce à échanger avec un dirigeant d'un groupe industriel français à l'occasion d'un petit-déjeuner débat. L'objectif de ces rencontres est de rapprocher entreprises et étudiants : les étudiants peuvent ainsi découvrir le quotidien, les stratégies et les enjeux économiques des entreprises industrielles françaises et mieux se situer sur le marché du travail de demain.

- **L'INSTITUT DES HAUTES ÉTUDES DE L'ENTREPRISE (IHEE)**

En partenariat avec l'Institut de l'entreprise, le Cercle de l'Industrie participe à la conception du séminaire « Compétitivité et innovation dans l'industrie » de l'IHEE. Le Cercle de l'Industrie est membre fondateur de l'IHEE, programme destiné à celles et ceux qui sont ou seront demain à des positions de haute responsabilité et qui vise à les sensibiliser au fonctionnement de l'entreprise dans un contexte d'échanges mondiaux intenses.

- **LA PUBLICATION D'INFORMATIONS EUROPÉENNES**

Un suivi rigoureux de l'information est la clé pour appréhender les évolutions européennes, agir et convaincre au bon moment. Le Cercle de l'Industrie diffuse chaque mois à ses membres un dossier d'actualités européennes qui met en perspective les développements relatifs au marché intérieur, au contrôle de la concurrence, au commerce international, aux transports et à l'environnement.

Notes

A series of horizontal dotted lines for writing notes.

L'industrie française face à l'économie verte : l'exemple de sept filières

» Cette étude vise à fournir une vision circonstanciée des réalités que recouvre l'économie verte dans de grandes entreprises industrielles françaises : l'émergence de l'économie verte transforme-t-elle ces entreprises, leurs produits, les marchés dans lesquels elles opèrent ? Aujourd'hui ou demain ? Est-ce un passage obligé pour tous ou une stratégie de différenciation assurant le succès économique de quelques leaders ? Quels en sont les déterminants ? En particulier, quel est le rôle des politiques publiques ? Le travail repose sur l'analyse de sept filières vertes : les biocarburants, le captage et le stockage du carbone, l'efficacité énergétique des bâtiments, les smart grids, la chimie verte, le stockage de l'énergie et les services d'économie de la fonctionnalité. Il repose également sur les réflexions stratégiques de quinze entreprises industrielles membres du Cercle de l'Industrie, recueillies au cours d'une vingtaine d'entretiens, complétées par le dépouillement d'un questionnaire transversal. Il s'agit d'Air France, Air Liquide, Alcatel-Lucent, Alstom, Arkema, EADS, EDF, France Telecom, GDF Suez, Lafarge, Michelin, Rhodia, Saint-Gobain, Total et Veolia Environnement.

L'étude de ces filières permet de dégager quelques messages généraux :

- Si toutes les entreprises en ont une vision très positive, l'économie verte n'est pas encore une réalité économique majeure dans la majorité des entreprises rencontrées. Mais elles anticipent pour les années à venir une très forte croissance des marchés.
- En cohérence avec cette vision, les entreprises investissent aujourd'hui surtout dans de l'innovation, de la R&D et de l'expérimentation.
- L'économie verte est déterminée avant tout par les politiques environnementales et le prix des ressources énergétiques et des matières premières. En revanche, l'expression directe d'une préférence environnementale par les ménages sur le marché des produits, par les investisseurs sur le marché du capital ou par les ONG ne semble pas être un moteur important.
- L'économie verte de demain ne sera pas différente de l'économie traditionnelle d'aujourd'hui. Elle sera mondiale, concurrentielle et risquée.
- Enfin, compte tenu du rôle central des politiques environnementales dans son émergence, l'économie verte crée des obligations particulières à la puissance publique. À cet égard, il semble primordial de parvenir à un accord international dans la lutte contre le changement climatique assurant un prix du carbone prévisible, de développer des politiques industrielles de soutien à l'innovation verte, de verdir les formations pour donner aux entreprises le capital humain nécessaire et de s'impliquer dans les processus internationaux de normalisation qui peuvent fortement influencer la compétitivité de technologies développées par nos entreprises.

Cercle de l'Industrie,
5, rue Tronchet

75008 PARIS

Tél.: +33 (0)1 53 05 10 90

Fax : +33 (0)1 42 66 00 20