

# Technologies clés **2015**



<b>Préface du ministre</b>	<b>6</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>8</b>
<b>Introduction</b>	<b>10</b>
<b>Contexte</b>	<b>12</b>
<b>Méthodologie</b>	<b>17</b>

## Les technologies clés 2015

<b>Chimie - Matériaux - Procédés</b>	<b>23</b>
1. Nanomatériaux	32
2. Simulation moléculaire	34
3. Biotechnologies blanches	36
4. Microstructuration	38
5. Catalyse	40
6. Dépôt de couche mince	42
7. Matériaux fonctionnels, intelligents et de performance	44
8. Capteurs	46
9. Procédés membranaires	48
10. Fabrication rapide	50
11. Élaboration de composites - Assemblages multimatériaux	52
12. Contrôle non destructif	54
<b>Technologies de l'information et de la communication</b>	<b>59</b>
13. Robotique	74
14. Technologies réseaux sans fil	76
15. Réseaux haut débit optiques	78
16. Objets communicants	80
17. Technologies 3D	82
18. Interfaces homme-machine	84
19. Ingénierie de systèmes complexes et systèmes de systèmes	86
20. Calcul intensif	88
21. Progressive/Intelligent Manufacturing	90
22. Optoélectronique	92
23. Nanoélectronique	94
24. Technologies de numérisation de contenus	96
25. Sécurité holistique	98
26. Virtualisation et informatique en nuages	100
27. Logiciel embarqué et processeurs associés	102
28. Valorisation et intelligence des données	104
29. Portail, collaboration et communications unifiées	106

## **Environnement** **111**

30. Technologies pour la captation maîtrisée et le traitement des sédiments pollués	122
31. Capteurs pour l'acquisition de données	124
32. Technologies pour le dessalement de l'eau à faible charge énergétique	126
33. Technologies pour le traitement des polluants émergents de l'eau	128
34. Technologies pour le traitement de l'air	130
35. Technologies pour la dépollution <i>in situ</i> des sols et des sites pollués	132
36. Technologies pour la gestion des ressources en eau	134
37. Technologies pour le recyclage des matériaux rares et leur valorisation	136
38. Technologies de tri automatique des déchets	138
39. Valorisation matière des déchets organiques	140
40. Éco-conception	142

## **Énergie** **147**

41. Carburants de synthèse issus de la biomasse	158
42. Solaire thermodynamique	160
43. Énergies marines	162
44. Piles à combustible	164
45. Technologies de l'hydrogène	166
46. Captage, stockage et valorisation du CO <sub>2</sub>	168
47. Énergie nucléaire	170
48. Solaire photovoltaïque	172
49. Énergie éolienne en mer	174
50. Géothermie	176
51. Stockage stationnaire d'électricité	178
52. Réseaux électriques intelligents	180
53. Technologies d'exploration et de production d'hydrocarbures	182
54. Technologies de raffinage des hydrocarbures	184
55. Technologies pour l'exploration, l'extraction et les traitements des ressources minérales	186
56. Carburants de synthèse issus de ressources fossiles	188
57. Biomasse et déchets : valorisation énergétique	190

## **Transports** **195**

58. Moteurs à combustion interne	206
59. Moteurs électrique	208
60. Nouvelles technologies de turbomachine	210
61. Interaction homme-machine, ergonomie	212
62. Optimisation de la chaîne logistique	214
63. Technologies de stockage et de gestion à bord de l'énergie électrique	216
64. Électronique de puissance	218
65. Mécatronique	220
66. Communications et données	222
67. Démarche d'optimisation de l'ingénierie et de la production	224
68. Matériaux et technologie d'assemblage pour l'allègement	226
69. Outils et méthode de conception et de validation	228

<b>Bâtiment</b>	<b>233</b>
70. Systèmes d'enveloppe du bâtiment	244
71. Systèmes constructifs	246
72. Matériaux biosourcés, composites et recyclés	248
73. Maquette numérique	250
74. Comptage intelligent	252
75. Technologies d'intégration et de mutualisation des ENR dans le bâtiment	254
<b>Santé, Agriculture et Agroalimentaire</b>	<b>259</b>
76. Ingénierie cellulaire et tissulaire	272
77. Ingénierie génomique	274
78. Ingénierie du système immunitaire	276
79. Technologies pour la biologie de synthèse	278
80. Systèmes bio-embarqués	280
81. Technologies pour la maîtrise des écosystèmes microbiens	282
82. Capteurs pour le suivi en temps réel	284
83. Technologies de diagnostic rapide	286
84. Technologies pour l'imagerie du vivant	288
85. Technologies douces d'assainissement	290
<b>Conclusion</b>	<b>294</b>
<b>Annexes</b>	
Quelques explications sur l'échelle des TRL	296
Liste des technologies candidates	300
Liste des participants à l'étude	305

## *Les technologies clés : une prospective et un éclairage pour des décisions*

**D**ans un monde où les technologies évoluent de plus en plus vite, et où le choix parmi des alternatives technologiques peut s'avérer décisif, il est important de nourrir et structurer une réflexion nationale sur les orientations les plus prometteuses et créatrices de valeur et d'emplois. C'est ainsi que depuis 1995, le ministère chargé de l'Industrie réalise tous les cinq ans une étude destinée à identifier et caractériser les technologies « clés » qui contribuent au développement économique de la France sur un horizon à moyen terme de cinq à dix ans.

L'étude *Technologies clés 2015* que nous publions aujourd'hui en constitue la quatrième édition. Elle a mobilisé, sous la supervision d'un comité stratégique présidé par Denis RANQUE, président du Cercle de l'industrie, plus de 250 experts que je tiens à remercier pour leur contribution, et a pris en compte les résultats de plusieurs travaux, comme notamment l'exercice de prospective « France 2025 » conduit sous l'égide du Centre d'analyse stratégique, ou encore la stratégie nationale de recherche et d'innovation.

Cette étude, menée à intervalles réguliers, est ainsi devenue une référence dans la « boîte à outils » des politiques publiques nationales en faveur de l'innovation et de la compétitivité des entreprises. Elle remplit plusieurs missions :

- en premier, elle constitue un **formidable instrument de sensibilisation au développement technologique**, et de valorisation des filières scientifiques et techniques. En mettant à l'honneur l'innovation technologique, elle souligne le rôle essentiel de l'industrie dans la construction de notre avenir ;
- ensuite, elle permet d'**évaluer la capacité de notre tissu industriel à investir le champ des opportunités** générées par les 85 technologies clés en 2015, qu'il s'agisse des technologies diffusantes susceptibles de générer des gains de productivité, ou des technologies d'avenir, ouvrant la voie au développement de nouveaux marchés. Cette analyse stratégique des forces et des faiblesses de la France dans plusieurs domaines technologiques a été complétée cette année par la formulation de recommandations susceptibles de favoriser leur déploiement. Une attention particulière a aussi été portée à la dimension sociale des différentes technologies ainsi qu'aux services qui leur sont associés ;

• enfin, elle constitue **un outil structurant d'aide à la décision pour les entreprises comme pour les pouvoirs publics**. Les entreprises souhaitant élaborer leur stratégie de R&D ou engager une démarche d'innovation pourront trouver dans cet ouvrage des éclairages utiles sur les applications et les enjeux technologiques, ainsi que sur les principaux acteurs et centres de compétences vers lesquels se tourner. Il en va de même pour l'État, les collectivités territoriales et les principales structures au service de l'innovation et de la compétitivité, comme par exemple Oséo ou l'Agence nationale de la recherche, qui pourront s'appuyer sur cette étude pour définir l'orientation de leur politique de soutien aux projets d'entreprise ou l'organisation d'actions collectives en direction des acteurs économiques.

La diffusion en matière d'innovation et de technologie étant tout aussi importante que les progrès technologiques eux-mêmes, les résultats de l'étude *Technologies clés 2015* seront diffusés le plus largement possible auprès des chefs d'entreprise et des décideurs en région, à travers le réseau territorial des Direccte ou par le biais d'Internet.

Je souhaite que le lecteur de l'étude, chef d'entreprise, ingénieur, chercheur, membre d'un pôle de compétitivité ou d'une grande filière industrielle, puisse y trouver les informations qui contribueront à éclairer sa compréhension des enjeux ou ses choix, à mieux orienter son action et à identifier ses partenaires. Et que ce travail contribuera ainsi à la nécessaire amélioration du potentiel industriel de notre pays, et par là, à sa prospérité et à ses emplois.

## **Éric BESSON**

Ministre de l'Industrie, de l'Énergie  
et de l'Économie numérique

**D**es technologies clés, pour quoi faire ? L'objectif fondamental de ce travail de prospective technologique consiste, après avoir positionné la France dans son environnement international, à procurer des gains d'efficacité dans le monde de l'entreprise comme dans la gestion publique. Il est voisin dans son esprit d'autres exercices menés concurremment par de grands pays industrialisés.

L'étude sur les technologies clés à horizon 2015 est un document attendu : pour mémoire, l'étude précédente, qui visait l'horizon 2010, a donné lieu à environ un million de pages lues sur Internet.

Luc ROUSSEAU, directeur général de la Compétitivité, de l'industrie et des services m'a proposé de prendre la présidence du comité stratégique de l'étude en me demandant de veiller à la bonne orientation des dimensions scientifique, technique et industrielle de l'exercice, et de m'assurer de la collégialité du travail à accomplir.

Pour cela j'ai réuni, dans ce comité, un certain nombre de personnalités qui toutes ensemble permettaient de dégager une vision partagée des enjeux pour notre pays.

Les échanges réguliers avec les acteurs opérationnels de l'étude ont permis de définir parmi sept secteurs les 85 technologies clés qui devront faire l'objet d'une attention soutenue de la part des chefs d'entreprises, des cadres, des décideurs publics, car leur maîtrise permettra de mieux relever les défis qui se posent à notre société et de donner à nos entreprises de meilleurs avantages compétitifs.

Que dit-elle de neuf par rapport aux exercices précédents ? Si les trois quarts environ des technologies déjà repérées en 2005 comme cruciales restent présentes, leurs contenus détaillés, leurs marchés de débouchés, leur champ concurrentiel, la quantification de leurs importances relatives, ont évolué. D'autre part, la présente étude s'est attachée à fournir des clés aux chefs d'entreprises à la recherche de nouveaux vecteurs pour innover comme aux décideurs publics qui vont devoir arbitrer avec des budgets contraints. Enfin, une analyse sur les technologies diffusantes, importantes pour l'économie, a été conduite.

Ce sont environ 250 experts qui ont été consultés pour collecter les informations permettant un diagnostic sur le contexte et les enjeux des différents secteurs, relever les grandes tendances d'évolution qui leurs sont associées, identifier les évolutions technologiques majeures et les acteurs de la R&D qui les conduisent. De plus les feuilles de route stratégiques des pôles de compétitivité à vocation mondiale ont été intégrées dans les analyses.

Je tiens à les remercier tous pour leur précieuse contribution,

Cet exercice a été conduit pour déterminer sur chacune des technologies les principales forces et faiblesses, atouts et menaces des compétences françaises.

Les développements d'innovations technologiques doivent répondre simultanément à deux types d'attentes sociétales ; d'une part, le besoin de progrès, de création de valeur, d'emplois, de bien-être, de sécurité ; d'autre part, la prise en compte des risques, réels ou perçus, inhérents à toute innovation. L'étude a donc aussi mentionné, pour chacune des technologies, les facteurs qui pouvaient en freiner le déploiement.

Enfin, en vue d'augmenter la création de valeur sur le territoire national, les différents aspects liés à l'identification et au développement de nouveaux types de services concourant à la compétitivité et à l'amélioration de notre balance commerciale ont été examinés sous l'angle des opportunités offertes par les différentes technologies et marchés.

Les différentes monographies et fiches technologies clés constituant le document final s'accompagnent de propositions de recommandations formulées par les différents groupes de travail et validées par le comité stratégique. Ces recommandations proposent aux lecteurs, à différents niveaux de mise en œuvre (investissements, partenariats, formation, réglementation, normalisation...), des pistes pour créer un environnement favorable au déploiement de ces technologies.

L'étude *Technologies clés 2015* sera rapidement utilisée puisqu'elle fait partie, au même titre que la stratégie nationale de recherche et d'innovation et la stratégie nationale sur l'énergie, et en cohérence avec ces dernières, des documents de référence qui vont permettre de guider les choix à retenir dans le cadre des investissements d'avenir notamment en ce qui concerne les instituts de recherche technologique et les instituts thématiques d'excellence en matière d'énergie décarbonée.

Je forme le vœu que les résultats de *Technologies clés 2015* se déclinent en de multiples actions en faveur du développement de nos industries, et du succès de nos chercheurs, ingénieurs et techniciens, et qu'ainsi ils contribuent à offrir à notre pays les meilleures conditions de son développement dans la compétition mondiale.

**Denis RANQUE**

Président du comité stratégique

## *L'exercice technologies clés : une réflexion prospective à court-moyen terme*

**S**ortir de la crise par le haut : telle est la volonté qui anime l'industrie et les services exposés à la concurrence extérieure en France. Ce défi de la compétitivité, ardente obligation pour les entreprises comme pour les acteurs publics, s'appuie aujourd'hui sur plusieurs outils : la politique des pôles de compétitivité, pour renforcer sur les territoires l'émergence de projets collaboratifs à fortes retombées, qu'il s'agisse de projets de R&D ou de projets d'équipements structurants ; des politiques de filières et de métiers, pour redensifier le tissu industriel, ainsi que les États généraux de l'industrie en ont montré le besoin ; et des stratégies d'innovation pour les investissements d'avenir, financés par l'emprunt national, qui supposent connues les technologies les plus porteuses qui ont des chances de prospérer sur le territoire. Des analyses stratégiques et prospectives qui anticipent les tendances, décrivent les opportunités et les menaces, analysent les forces et faiblesses du tissu industriel et des services liés, permettent de repérer à grands traits ces technologies. Grâce à ces réflexions, les forces vives de l'économie et de la recherche disposent d'éclairages et d'outils d'aide à la décision pour focaliser leurs efforts sur les innovations qui feront la richesse de demain, et qui permettront à l'économie nationale de valoriser pleinement ses atouts, en Europe et dans le monde.

L'innovation, facteur clé de développement économique, repose sur un ensemble de démarches scientifiques, technologiques, organisationnelles, financières et commerciales qui aboutissent à la réalisation et à la vente de services, produits ou procédés nouveaux ou améliorés. Concernant le volet technologique, la France, à l'instar de plusieurs pays développés ou émergents, réalise périodiquement une étude visant à identifier et caractériser les technologies « clés » pour son développement économique. Cette étude est conduite sous l'égide du ministère de l'Industrie tous les cinq ans depuis 1995.

La présente étude, qui identifie les technologies clés à l'horizon 2015-2020, a été menée au cours de l'année 2010. Pour la première fois une distinction est opérée entre les **technologies diffusantes**, souvent existantes, dont la diffusion se révèle stratégique pour la compétitivité d'un secteur d'activité donné, et les **technologies d'avenir**, souvent émergentes, présentant un potentiel de développement en France et dans le monde. La cohérence avec les réflexions stratégiques menées au plan national a par ailleurs été un point d'attention du comité stratégique : ainsi l'étude a tenu compte de la stratégie nationale de recherche et d'innovation définie fin 2009 sous l'égide du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, des réflexions menées en 2009-2010 dans le cadre des États généraux de l'industrie, des travaux en cours sur la stratégie nationale de recherche sur l'énergie (SNRE), et de la prospective de défense pour ses impacts sur les activités civiles. De même les feuilles de route stratégiques des pôles de compétitivité ont été exploitées.

Sur la base d'une analyse de type atouts-attraits, l'étude a permis d'identifier 85 technologies : 23 sont des technologies diffusantes et 21 ont été caractérisées comme technologies d'avenir. Près de la moitié, 41, ont été considérées comme appartenant aux deux catégories. Cette particularité s'explique par deux raisons : d'une part, ces technologies sont très diffusantes car elles concernent un large panel de secteurs

ou d'applications potentiels ; d'autre part, pour ces technologies, des développements sont encore nécessaires pour aboutir à un niveau d'excellence mondial ou le conforter.

Le lecteur prendra connaissance des sept monographies\* et des fiches correspondantes en gardant trois points à l'esprit :

- un effort de synthèse a été nécessaire pour mettre en exergue les messages clés et ne pas noyer le lecteur sous un trop grand nombre de considérations. Nombre des 85 technologies clés sont en fait des familles de technologies qui permettent de répondre à un besoin, ou de réaliser une fonction. Le lecteur expert aura légitimement envie d'aller plus loin que la description, volontairement limitée à deux pages, de chaque technologie ; la consultation de la bibliographie figurant à la fin de chacune des sept parties thématiques de l'ouvrage peut contribuer à de tels approfondissements ;
- les considérations économiques liées à chaque technologie clé (enjeux, taille des marchés, état de la concurrence, stratégies d'autres pays, stratégies résultant d'orientations au sein de l'Union européenne...) ne doivent être considérées que comme des points de repère. Une entreprise qui souhaiterait saisir les opportunités décrites, et se positionner sur les marchés correspondants, devra naturellement approfondir l'analyse de ces marchés et bâtir une stratégie de conquête adaptée. En effet, les technologies comme la taille des marchés accessibles peuvent évoluer. De même, le caractère clé des technologies est lié au potentiel industriel et économique français, qui est lui-même évolutif : il s'agit donc d'une photographie au moment où l'étude est élaborée ;
- les horizons de temps donnés à l'étude sont relativement courts – cinq ans – tout en s'inscrivant, pour de nombreux métiers, dans des perspectives plus longues jusqu'à dix ans. Dans ce cas la prospective suppose des scénarios alternatifs : ce sont des scénarios médians, aussi cohérents que possible, qui ont été en général retenus.

(\*) Chimie-Matériaux-Procédés, TIC, Environnement, Énergie, Transports, Bâtiment, Santé, Agriculture et Agroalimentaire

Les principaux éléments de contexte socio-économique international, synthétisés ci-dessous, permettent de mettre en perspective les analyses sectorielles objets des monographies des chapitres suivants, et les choix des technologies clés des secteurs économiques correspondants. Ils représentent autant de facteurs externes, d'opportunités ou de menaces, qui influenceront l'économie française dans les prochaines années.

Les travaux « France 2025 » conduits par le Centre d'analyse stratégique [1], ainsi que les analyses menées à l'occasion de l'élaboration de la stratégie nationale de recherche et d'innovation [2] et des États généraux de l'industrie [3], fournissent des ressources documentaires de premier plan, dont les pages suivantes proposent une synthèse. Nous renvoyons le lecteur qui souhaite approfondir l'analyse aux rapports en références.

## Le contexte international

### Mondialisation et déplacement du centre de gravité économique du monde

Sur le plan géopolitique, on retiendra évidemment comme élément de contexte primordial la mondialisation. Selon l'OCDE, elle comporte trois dimensions :

- l'internationalisation, c'est-à-dire le développement des flux d'importation/exportation ;
- la trans-nationalisation, qui est l'essor des flux d'investissement et des implantations à l'étranger ;
- la globalisation, avec la mise en place de réseaux mondiaux de production et d'information.

Selon que l'on s'y prépare activement ou qu'on la subisse passivement, la mondialisation représente une formidable opportunité de développement économique, ou une menace pour notre prospérité.

Dans ce contexte, les quatre pays émergents rassemblés sous les initiales « BRIC » (Brésil, Russie, Inde, Chine) sont vus comme des géants à l'influence croissante sur plusieurs points :

- leur population, qui représente 40 % de la population mondiale ;
- leur croissance économique, qui compte pour 50 % de la croissance économique actuelle, leur PIB représentant 15 % du PIB mondial ;
- leur superficie (28 % des terres émergées hors Antarctique).

En particulier, la Chine, qui a été longtemps la première puissance économique mondiale, aspire à retrouver ce rang, et est en passe d'atteindre son objectif, tout au moins en termes de PIB.

En outre, l'Afrique a une population qui dépasse désormais en 2010 le milliard d'habitants (16 % de la population mondiale) et figure parmi celles qui croissent le plus rapidement sur la planète. Si son PIB n'atteignait encore que 2,6 % du PIB mondial en 2008, avec de fortes disparités entre les pays, ses taux de croissance ont été régulièrement au-dessus de 5 % depuis 2005. Elle présente, pour ces raisons et beaucoup d'autres, un intérêt majeur qu'il convient de prendre en compte dans les stratégies de développement des entreprises.

### Démographie

Dans une tendance globale de l'accroissement de la population mondiale jusqu'à 9 milliards d'individus à l'horizon 2050, l'âge moyen ou le pourcentage de personnes âgées dans la population augmente. Le phénomène du vieillissement ne touche pas seulement les pays développés mais, sous l'effet de l'allongement de l'espérance de vie et/ou d'une diminution de la fécondité, presque tous les pays sont concernés.

Le taux d'urbanisation au niveau mondial passera de 47 % en 2000 à 65 % en 2030 et 75 % en 2100. Les évolutions les plus importantes auront lieu en Asie et en Afrique. Même les zones déjà très urbanisées verront ce taux progresser (de 79 à 85 % d'ici à 2100 pour les pays Asie-Pacifique de l'OCDE). En outre, la

population mondiale devrait se concentrer sur le littoral, les experts estimant que 75 % de la population mondiale vivra à moins de 50 km d'une côte à l'horizon 2050.

### **Crises et instabilité financière et monétaire**

Du fait de la mondialisation, les conséquences des crises, quelles qu'elles soient (financières, militaires...), ne restent désormais plus cantonnées à une région, leurs effets se propagent désormais dans le monde à la vitesse des réseaux de communication. Leur fréquence d'occurrence augmente également, et elles sont de plus en plus souvent communes à plusieurs secteurs industriels. La crise que nous traversons depuis 2008 a pris naissance dans la sphère financière et s'est propagée à plusieurs secteurs. Les marchés de commodités comme l'automobile et le bâtiment ont été particulièrement touchés.

Les finances publiques des États sont notées par les agences de notation (Standard & Poors, Moody's, Fitch), ce qui, dans un contexte de libre circulation des capitaux, permet aux investisseurs une lecture du climat économique et du risque (et donc sa rémunération en termes de taux d'intérêt). Les crises de finances publiques des années quatre-vingt-dix et début 2000 étaient perçues comme lointaines par les Européens (Argentine, par exemple). La situation grecque au printemps 2010, irlandaise à l'automne de la même année, et la garantie apportée par ces États à des banques en situation critique, mais aussi la dégradation brutale des taux d'endettement des pays plus prospères sous l'effet de la crise sont venus rappeler qu'au-delà de certains taux d'endettement il n'est plus de croissance soutenable. Ces données impliquent des évolutions qui modifient sensiblement diverses perspectives de marchés et des priorités d'investissements.

La variabilité des taux de change affecte fortement les entreprises. La parité euro/dollar était de 1,17 dollar pour 1 euro lors de sa première cotation en 1999. Après un plus bas en 2000 (0,82 dollar), l'euro a atteint en 2008 un sommet proche de 1,60 dollar, pour revenir en quelques mois à 1,35 dollar. Plus que les écarts, c'est la volatilité qui pose des problèmes aux entreprises, notamment aux PME exportatrices ou importatrices qui n'ont pas à leur disposition des outils sophistiqués de couverture de change. Lors des périodes d'euro fort, les entreprises sont tentées par des localisations pluri-régionales (Asie, Amériques, UE) pour atténuer les effets.

### **Raréfaction et hausse de prix des matières premières**

Les cours des matières premières connaissent également des fluctuations importantes, de fréquences et d'amplitudes élevées, ces fluctuations parfois violentes s'inscrivent dans une tendance haussière générale, due d'une part, à une forte augmentation de la demande en provenance notamment des pays émergents, et d'autre part, au caractère limité des ressources de la Terre, notion désormais intégrée par les opérateurs. Les spéculations viennent en outre alimenter la virulence des fluctuations.

Le renchérissement des ressources, pour pénalisant qu'il soit à court terme, tend à orienter les entreprises vers une meilleure gestion : l'optimisation des consommations d'énergie, le recyclage et le changement de matières premières via des technologies alternatives, sont rendus attractifs et économiquement rentables par les hausses de prix des ressources «traditionnelles».

### **Réchauffement climatique et prise de conscience environnementale**

Les effets tangibles du réchauffement climatique ne sont plus guère contestés aujourd'hui, plusieurs indices en attestent :

- augmentation lente, supérieure à 0,6° C en un siècle, des températures moyennes enregistrées par les stations météorologiques du monde entier ;
- diminution de l'étendue et de l'épaisseur de la banquise arctique ;
- recul des glaciers continentaux.

Au sein des pays développés, les disparités de comportement vis-à-vis de l'écologie sont importantes, les couches les plus aisées de la population étant souvent les plus à même de payer plus cher un produit

ou service, ou de procéder à un investissement « écologiquement responsable » (énergies renouvelables, produits de l'agriculture biologique...). Surtout, l'échec de Copenhague a, au moins provisoirement, laissé la seule Union européenne avec des engagements quantitatifs majeurs à long terme de réduction des gaz à effet de serre et d'évolution de ses consommation et production d'énergie.

## Le contexte européen et national

### Développement durable

Le « développement durable », qui, outre cette composante écologique, se préoccupe des aspects sociaux et économiques (durabilité des modèles, équité des échanges), influence de plus en plus les comportements des consommateurs et des entreprises. Depuis quelques années, après une phase de *green washing* (qui tentait de simplement donner une teinte écologique à des produits existants), un véritable marché du développement durable a émergé, créant une véritable économie et de la valeur :

- marchés des crédits carbone, monétarisation du droit à polluer ;
- nouvelles filières dans les énergies renouvelables ;
- gestion des ressources ;
- directives REACH dans le domaine de la chimie.

Les gouvernants et législateurs se sont pour la plupart saisis des enjeux environnementaux. Désormais, pour de nombreux produits, la mise sur le marché nécessite l'engagement de maîtriser la filière de fin de vie, et donc d'être en capacité de structurer la collecte, identifier les composants, en tracer les filières... Basée sur des raisonnements prenant en compte l'impact environnemental évité, la fiscalité permet d'assurer le respect des objectifs par les producteurs. La conséquence en est l'émergence de filières favorisées par la législation qui peuvent être différentes d'un pays à l'autre : combustion, recyclage...

De nouveaux schémas de collecte, de valorisation et de contrôle se mettent en place et génèrent un surcoût pour le consommateur final. De nouvelles recettes dans les filières font évoluer le modèle économique du producteur de « déchets ».

Composants du développement durable, la consommation et l'achat « responsables » se développent, et revêtent des formes diverses, de la part des particuliers comme des entreprises :

- pour les marchés des particuliers, on notera : les achats de produits élaborés selon les principes du « bio », la réduction de la consommation, la prise en compte des allégations de bénéfice pour l'environnement, les achats en cycles courts (proximité), le souci du commerce équitable ;
- concernant les entreprises, les engagements en termes d'éthique, les partenariats avec les fournisseurs, la communication institutionnelle... sont autant de signaux forts anticipateurs d'une évolution à venir des comportements.

### Santé, sécurité et principe de précaution

Phénomène mondial à moyen terme, le vieillissement de la population est particulièrement sensible à court terme dans les pays développés, dont la France. Grâce au progrès de l'hygiène, de la médecine, de la pharmacologie, de l'alimentation, de la maîtrise des risques, l'allongement de la durée de vie est considéré comme un véritable progrès pour la société. Il doit s'accompagner d'une qualité de vie qui ne se réduise pas avec les années. Or, malgré les avancées, il apparaît que de nouvelles pathologies, souvent liées à l'âge, se développent rapidement, à l'instar des maladies neuro-dégénératives. Il y a là des enjeux majeurs en termes de santé publique, ainsi que des défis pour les scientifiques.

L'économie des troisième et quatrième âges se développera dans les prochaines années, notamment à travers les services. En France, à l'âge de la retraite, on constate des départs massifs des grands centres urbains (en particulier l'Île-de-France), puis un retour vers les villes, où la densité de services est plus forte. Selon l'Insee, les personnes âgées de 80 ans et plus constitueront une part croissante de la population métropolitaine en 2030 (7,2 % contre 4,5 % actuellement).

Par ailleurs, la société réclame plus de contrôle et de sécurité :

- le principe de précaution inscrit dans la constitution française et issu des problématiques liées à l'environnement s'applique à de multiples secteurs ;
- la gestion des risques : devenue une activité à part entière dans les entreprises ;
- la traçabilité ;
- la gestion des crises : ESB, grippe A.

Cette attitude impose une évaluation systématique des risques en regard des bénéfices attendus d'une action ou d'un produit.

### **Les technologies de l'information et de la communication (TIC) jouent un rôle essentiel dans la société**

Incontournables pour le fonctionnement et la compétitivité des entreprises, de plus en plus omniprésentes dans la plupart des objets courants, enfouies dans les véhicules et tous les systèmes techniques complexes, les technologies de l'information et de la communication se diffusent dans toutes les composantes de l'économie et dans chaque recoin de notre vie quotidienne. Elles contribuent de façon majeure aux gains de productivité comme à l'innovation, et comme telles, sont une composante essentielle de la croissance. Elles sont aussi le vecteur principal de l'évolution vers la société de la connaissance.

Traitées en tant que secteur économique et par le prisme des technologies clés, les TIC font également partie de notre environnement. Leurs évolutions font naître des espoirs de progrès, tout en soulevant des questions de société fondamentales s'agissant par exemple du respect de la vie privée.

## **Les marchés et les modèles économiques**

### **Des cycles économiques de plus en plus rapides**

Conséquence de la mise en réseau des acteurs économiques mondiaux, et de la circulation accélérée de l'information, les cycles économiques s'enchaînent de plus en plus rapidement :

- les crises et les revirements de situation sont brutaux et fréquents ;
- la morphologie des chaînes de valeur est susceptible d'évoluer rapidement ;
- les entreprises s'adaptent en accélérant le rythme de renouvellement des produits dans tous les secteurs d'activité : électronique grand public, mais aussi automobile, biens d'équipements, pharmacie, agroalimentaire...

Les cycles économiques imposent à l'entreprise de réduire ses temps de développement et de se réorganiser, en interne ou en externalisant certains développements.

### **Des structures de marchés en évolution**

La structuration même des marchés évolue, avec deux tendances, le dédoublement des marchés, et la théorie du *long tail* (longue traîne).

Certains marchés, après s'être essouffés, ont retrouvé un dynamisme en segmentant leur offre en deux axes opposés, le luxe et le *low-cost*. Dans le transport aérien par exemple, le développement fort des compagnies d'avions-taxis est concomitant avec la croissance exceptionnelle de compagnies aériennes à bas coûts qui couvrent de nombreuses destinations, avec des prix très réduits. Certaines entreprises créent des enseignes *low-cost* en leur sein, avec une marque dédiée.

Par ailleurs, les marchés de « niches », longtemps délaissés par les acteurs majeurs, se révèlent comme potentiellement créateurs de valeur, même si les quantités individuelles de chaque produit vendu restent modestes. C'est la théorie *long tail* (longue traîne, d'après l'expression utilisée dans le langage statistique). Grâce à Internet notamment, des modèles diversifiés émergent au rebours de tendances antérieures d'offres uniformisées. Un exemple d'entreprise qui a réussi à s'imposer sur ce marché est le distributeur en ligne Amazon. Grâce notamment aux nouveaux modèles de vente (en ligne) et de stockage (dans des entrepôts peu coûteux loin des centres-ville), le coût d'accès aux niches est parfois très faible. Ainsi les marchés de niches peuvent-ils être très rentables, et une offre abondante de produits uniques ou de petites séries, peut générer autant de chiffre d'affaires qu'un marché de produits populaires ou de commodités.

### Une imbrication de plus en plus forte avec les services

Outre la dynamique des marchés de services qui ne se dément pas, les marchés de produits évoluent aussi, avec des dynamiques propres, vers une offre de services associés. Lorsqu'il achète un produit, le client, qu'il soit particulier, administration ou entreprise, attend un service après vente, une offre de maintenance, un service de mise à jour. Il peut également être attiré par toute offre de services lui « facilitant la vie » et lui permettant de se concentrer sur ses préoccupations essentielles ou son « cœur de métier » pour les entreprises. Les services accompagnant l'offre produit principale sont une source de revenus complémentaires, parfois plus importante que la vente du produit et qui fait la rentabilité. Tous les secteurs économiques sont concernés, les monographies sectorielles du présent ouvrage approfondissent ces aspects.

### L'entreprise s'ouvre et travaille en réseau

De plus en plus, le client participe à l'élaboration du produit et fournit du travail. Cette tendance est particulièrement visible dans le domaine des technologies de l'information et de la communication. Des versions « bêta » des logiciels sont mises en circulation pour que les utilisateurs les testent et signalent à l'éditeur les bugs, le modèle de l'*open source* met à contribution des communautés de développeurs... Loin de ces contributions de personnes éclairées ou de spécialistes, le consommateur fournit aussi un travail, traditionnellement fourni par l'entreprise dans de nombreux cas : les caisses automatiques, l'enregistrement en bornes libre service dans les aéroports, les services bancaires en ligne...

Les démarches d'*open innovation* conduisent les entreprises à aller plus loin que leurs partenariats industriels classiques, et à chercher leurs idées et projets, et plus globalement la valeur, dans l'ensemble de l'environnement qui leur est accessible : clients, fournisseurs, laboratoires... Potentiellement porteuses d'avancées majeures, ces méthodes ont des impacts significatifs sur les modes d'organisation, les processus et les modèles économiques des entreprises.

## Références

- [1] [http://www.strategie.gouv.fr/article.php3?id\\_article=949](http://www.strategie.gouv.fr/article.php3?id_article=949)
- [2] <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/pid20797/la-strategie-nationale-de-recherche-et-d-innovation.html>
- [3] <http://www.etatsgeneraux.industrie.gouv.fr/>

## Méthodologie de réalisation de l'étude

L'étude a été menée de janvier à octobre 2010, par un consortium d'experts et consultants, sous l'égide :

- d'un comité stratégique (composition en annexe), présidé par Denis Ranque, président du Cercle de l'industrie, président de Technicolor, composé de personnalités de l'industrie, de la recherche et de représentants de plusieurs ministères ; ce comité stratégique s'est réuni à trois reprises durant l'étude, respectivement trois, cinq et neuf mois après son démarrage ;
- d'un comité de pilotage (composition en annexe), constitué de représentants des ministères concernés (Industrie, Recherche, Défense, Écologie), de l'Agence nationale de la recherche et d'Oséo ; ce comité de pilotage s'est réuni toutes les six semaines pendant la durée de l'étude ;
- d'une équipe opérationnelle de la DGCIS, qui a assuré le suivi au quotidien de l'avancement des travaux.

Elle s'est déroulée en quatre phases :



### Phase 1 Cadrage

Cette première phase a permis de délimiter le cadre de l'étude, de concevoir et développer les outils et les méthodes mis en œuvre par la suite.

Une série d'entretiens avec les responsables sectoriels de la DGCIS a permis de construire un premier panorama de l'industrie française, tous secteurs d'activité confondus, d'identifier les enjeux et les thématiques prioritaires et de constituer une première liste de technologies à « surveiller ».

### Phase 2 Identification des technologies « candidates »

L'analyse bibliographique et une première série d'entretiens avec des experts ont été au cœur de cette partie des travaux.

Les informations recueillies lors de la première phase ont été complétées grâce à un travail d'analyse documentaire. Les documents recueillis ont été indexés et archivés sur un site intranet dédié à l'étude. Chacun des chapitres de ce document comporte une sélection des références bibliographiques les plus utiles.

Une première série d'entretiens avec des experts reconnus des sciences, des technologies et du développement des entreprises ont permis de mettre en perspective les résultats de cette analyse bibliographique, et de déterminer les technologies « candidates », *i.e.* susceptibles d'être retenues *in fine* comme technologies clés.

### **Phase 3 Détermination et caractérisation des technologies clés**

Sur la base de ces listes de technologies candidates, sept groupes de travail sectoriels, animés par les consultants, et composés des responsables sectoriels de la DGClS et d'experts de l'industrie ou de la recherche académique (composition des groupes en annexe) se sont réunis pour **sélectionner** les technologies clés (diffusantes et d'avenir).

Des entretiens experts complémentaires ont été réalisés, et les pôles de compétitivité consultés.

Une première version des fiches technologies clés et du livrable a été rédigée.

En fin de phase, sept autres groupes de travail se sont réunis, avec pour objectif de **proposer des actions** concrètes à même de favoriser le développement des technologies d'avenir et la diffusion des technologies diffusantes.

### **Phase 4 Formulation des recommandations, finalisation du livrable**

Initiée par la troisième réunion du comité stratégique, cette phase a permis d'enrichir chaque monographie et chaque fiche technologie clé par des recommandations ; ces recommandations sont exprimées par les experts consultés et les consultants qui ont animé les travaux.

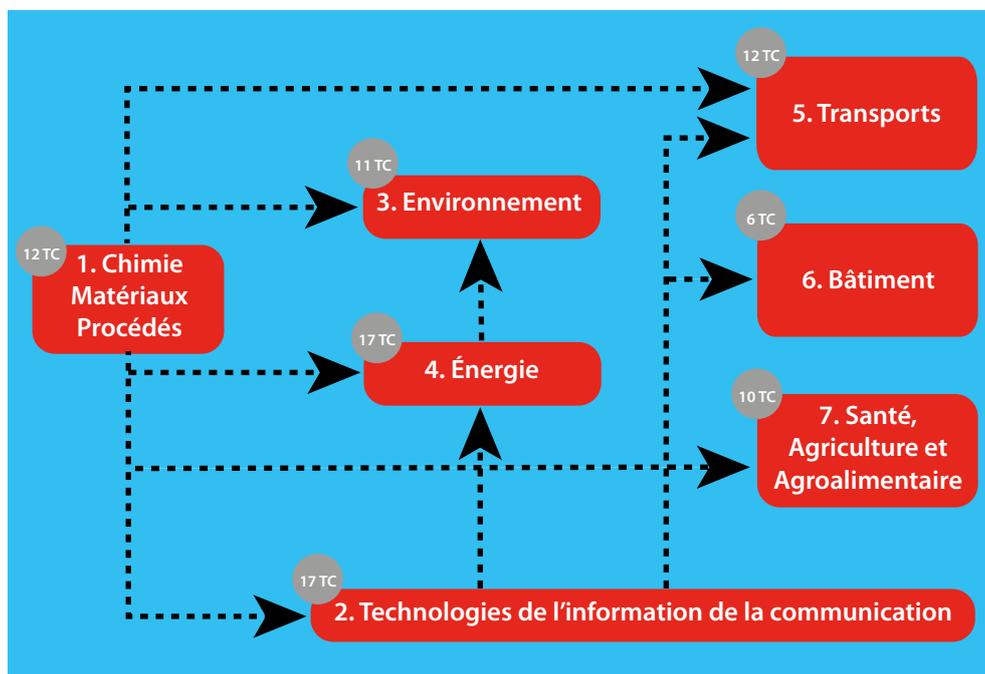
L'ensemble du livrable a été revu, notamment par les membres du comité de pilotage et du comité stratégique, pour en assurer la cohérence et la complétude.

## **Présentation des résultats et utilisation de l'étude**

L'étude couvre tous les secteurs économiques (hors banques et assurances, sauf pour certains aspects liés aux TIC, en particulier). Pour guider la lecture par les utilisateurs de l'étude, une structuration par grands secteurs « technico-économiques » a été opérée :

- Chimie - Matériaux - Procédés.
- TIC (Technologies de l'information et de la communication).
- Environnement.
- Énergie.
- Transports.
- Bâtiment.
- Santé, Agriculture et Agroalimentaire.

Cet ordre de présentation reflète la proximité croissante avec le consommateur final, ainsi que le représente le schéma ci-dessous ; le schéma illustre également le fait que certains secteurs (chimie-matériaux, technologies de l'information et de la communication) irriguent la plupart des autres. En pratique, cet ensemble « fait système », en ce sens que l'innovation naît souvent aux interfaces d'usages simultanés de nombreuses technologies, dont les maîtrises sont conjointement nécessaires.



Chacun de ces secteurs est présenté selon la même structure.

- Une monographie de quelques pages développant une réflexion stratégique sur le secteur considéré :
  - le contexte et les enjeux ;
  - les grandes tendances d'évolution du secteur, et les produits et services qui les desservent ;
  - les tendances technologiques, qui sous-tendent ces produits et services ;
  - une analyse de la position de la France ;
  - des recommandations de portée générale, pour favoriser la diffusion des technologies diffusantes et le développement des technologies d'avenir.
- En tête de chaque monographie figure un schéma :
  - chaque cercle représente une technologie identifiée par son numéro ;
  - le rayon du cercle (trois rayons possibles) donne une indication de l'attrait du marché de la technologie considérée (taille, taux de croissance). **Attention** : les comparaisons entre deux monographies ne sont pas pertinentes sur ce critère d'attrait ;
  - les couleurs renvoient aux enjeux auxquels répond la technologie ;
  - chaque technologie est positionnée horizontalement et verticalement dans le schéma :
    - l'axe horizontal indique l'horizon temporel d'accès au marché pour la technologie ;
    - l'axe vertical précise la position de la France dans la compétition internationale.

# Une collection de fiches technologies clés, chaque fiche ayant la même structure :

Caractère diffusant ou d'avenir de la technologie



Applications de la technologie et éclairages sur les marchés correspondants

## 77. Ingénierie génomique

### Définitions

L'ingénierie génomique repose sur des disciplines fondamentales abordant les problèmes de base de l'organisation, de la stabilité et de la variation du matériel génétique, de la réplication et de la réparation de l'ADN, ainsi que de la régulation de l'expression et de l'évolution des génomes et enfin la génomique des populations. L'étude de la régulation de l'expression des gènes et des contrôles épigénétiques, omniprésents dans le monde du vivant, représente un enjeu important pour comprendre les fonctions moléculaires de la physiologie cellulaire, la relation génotype-phénotype et les liens entre gènes, environnement et santé.

L'ingénierie génomique trouve de multiples applications, fait appel à des technologies de vectorisation et requiert la présence d'outils puissants d'acquisition et de traitement des données. Elle doit également pouvoir bénéficier du développement des nouvelles techniques d'imagerie.

### Description

Le génome peut être manipulé afin de faire pénétrer un ou plusieurs gènes d'intérêt dans les cellules ou les tissus d'un organisme vivant. Le gène peut être introduit selon deux méthodes : *in vivo* et *ex vivo*. Dans la méthode *in vivo*, le gène est directement introduit. Dans la méthode *ex vivo*, les cellules ciblées sont d'abord prélevées puis modifiées génétiquement par l'introduction du gène avant d'être ré-administrées au sein de l'organisme.

De nouvelles recherches sont aujourd'hui développées et reposent, en plus de l'ADN, sur des petits ARN interférents (ARNi). Cette technique de ciblage cellulaire des ARNi permet le blocage des ARN messagers (ARNm) par les ARNi et ainsi la correction du dysfonctionnement d'une protéine.

La transgénèse correspond à la modification du génome d'un organisme par génie génétique. Elle peut être réalisée au niveau de micro-organismes, de cellules de plantes ou d'animaux et résulte en un organisme génétiquement modifié.

Le transfert de gènes et la vectorisation sont clés dans la maîtrise de l'ingénierie génomique. Les gènes sont introduits au moyen de vecteurs viraux – vecteurs rétroviraux, adénoviraux ou issus de virus associés aux adénovirus (AAV) par exemple – ou non viraux – plasmides ou vecteurs lipidiques par exemple.

Des verrous technologiques subsistent. Ainsi, malgré les récentes avancées scientifiques, l'insertion du gène n'est pas encore complètement maîtrisée ; pour cela, une meilleure connaissance des voies d'insertion des vecteurs et de la localisation dans le génome du gène introduit est indispensable. Le transfert de gènes doit également être assuré de manière sûre et efficace et garantir la stabilité de l'expression du gène introduit. Par ailleurs, la transgénèse était réalisée jusqu'à présent de manière aléatoire ; l'enjeu est de cibler des modifications très précises. Les nouvelles générations de séquenceurs constituent des outils précieux pour cela.

### Applications

L'ingénierie génomique trouve de nombreuses applications en agronomie et agroalimentaire. L'enjeu est de répondre aux besoins en termes d'agriculture durable, en développant des variétés requérant moins d'eau et de pesticides, et davantage résistants aux conditions de culture. Il s'agit d'organismes génétiquement modifiés (OGM). La superficie mondiale des cultures génétiquement modifiées est de 134 millions d'hectares en 2009 et devrait croître à 200 millions d'hectares d'ici à 2015 (sur 40 pays) [38].

Sans aller jusqu'aux OGM, l'ingénierie génomique permet également de sélectionner des variétés animales ou végétales présentant des caractéristiques agronomiques d'intérêt. Elle permet également de combiner dans une même souche de bactéries ou de levures les gènes permettant de produire les enzymes capables de transformer la cellulose en éthanol, pour la production de bio-carburants à partir des restes des cultures.

En santé, les pathologies concernées par l'ingénierie génomique sont nombreuses. Les avancées en ingénierie génomique permettent notamment le développement de la thérapie génique. En juin 2010, 1 644 essais cliniques sont en cours dans le monde. La grande majorité de ces essais est en phase I (60,5 %) ; seuls 3,5 % sont en phase III [36]. Le marché mondial de la thérapie génique est estimé à 484 M\$ en 2015 [37]. En avril 2010, aucun produit de thérapie génique n'a encore été approuvé par la Food and Drug Administration (FDA).

En modifiant le génome de certaines espèces animales, il est également possible de produire des biothérapies (par exemple à partir de lapins génétiquement modifiés). Enfin, l'ingénierie génomique est porteuse de services à très haute valeur ajoutée, notamment au travers du séquençage du génome basé sur les nouvelles générations de séquenceurs, mais aussi de services de caractérisation de l'impact et de contrôle qualité de la chirurgie génomique (à l'image des sociétés de service de type immunomonitoring).

### Enjeux et impacts

Les enjeux sont tout d'abord médicaux. Le spectre des maladies concernées par la thérapie génique est très large et la thérapie génique favorise le développement de nouveaux traitements médicaux et en particulier de solutions pour certaines maladies incurables à l'heure actuelle (telles que des maladies orphelines). En revanche, si les essais sur les animaux sont porteurs d'espoir, le passage de l'animal à l'homme demande des financements importants et une organisation adaptée.

Il faut également noter des enjeux de durabilité, soit par l'obtention de variétés adaptées aux conditions climatiques et nécessitant moins d'intrants, soit l'obtention de produits autrement qu'à partir de pétrole.

Enfin, les questions éthiques et sociales sont très importantes. Le Comité consultatif national d'éthique (CCNE) s'est exprimé à plusieurs reprises sur la thérapie génique et préconise de limiter les recherches aux seules cellules somatiques et d'exclure les cellules germinales. La société française est également très réfractaire à l'idée de consommer des produits issus d'OGM.

Indicateurs sur la diffusion et la maturité de la technologie

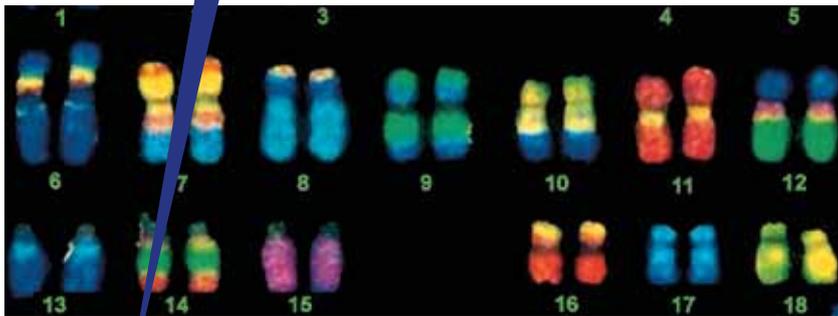
Degré de diffusion dans l'absolu	
<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

Degré de diffusion en France	
<input checked="" type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

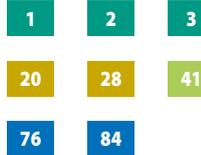
Enjeux et impacts attendus de la technologie

## Santé, Agriculture et Agroalimentaire

Les principaux acteurs français et étrangers (R&D, intégrateurs, industriels, utilisateurs, structures relais)



Liens avec d'autres technologies clés



Liens vers les autres technologies clés reliées

### Acteurs

#### Principaux acteurs français

- **R&D** : Généthon, Inserm (LTG, UTGC Nantes), Institut Pasteur Université Paris Descartes (Département de biothérapie), Transgene
- **Industriels** : Cayla, Collectis, Clean Cells, Genopoiétic, Genosafe, In-Cell-Art, PrimeBiotech
- **Utilisateurs** : Hôpital Necker, Sanofi-Aventis, Limagrain
- **Structures relais** : AFM, Alsace BioValley, Lyonbiopôle, Medicen

#### Principaux acteurs étrangers

- Avigen, Cell Genesys, Introgen Therapeutics, Genvec, Genzyme Corporation, Pioneer HiBred International, Targeted Genetics Corp, Urogen Pharmaceuticals Inc., Vical (Etats-Unis), Gene Signal (Suisse), AnGes MG (Japon), Oxford BioMedica (Royaume-Uni), Shenzhen SiBiono GeneTech Co., Ltd (China)

### Position relative de la France

La France possède une bonne position en recherche avec la présence de plusieurs centres de recherche de pointe en génétique et génomique. En 1999, la France a d'ailleurs été le premier pays à tenter de soigner des bébés privés de défenses immunitaires, dits « bébés-bulles » grâce à la thérapie génique. Des entreprises telles que Transgene ou Collectis se distinguent à un niveau international.

Au niveau des essais cliniques, les États-Unis sont le pays leader et réalisent 62,9 % des essais cliniques en thérapie génique dans le monde. La France, avec 44 essais cliniques en cours – soit 2,7 % – se situe en cinquième position, derrière le Royaume-Uni (11,9 %), l'Allemagne (4,8 %) et la Suisse (2,9 %) [36]. Concernant les applications environnementales et agroalimentaires, la France

est en retard, tant sur la production de biocarburants que sur le recours aux OGM. Ce retard est en grande partie dû aux véritables difficultés d'acceptabilité sociétale.

### Analyse AFOM

#### Atouts

Compétences présentes (centres de recherche de pointe); des industriels de niveau international; force de l'AFM.

#### Faiblesses

Règlementation; faibles investissements; dimensions sociales et éthique; peu de centres de production de vecteurs significatifs.

#### Opportunités

Large spectre d'applications; résultats positifs de certains essais cliniques.

#### Menaces

Forte concurrence internationale, notamment des États-Unis; éthique.

### Recommandations

- Poursuivre les réflexions réglementaires et éthiques.
- Soutenir la mise en place de centres de production de vecteurs de deuxième génération, tout en favorisant la mutualisation de la demande (engager pour cela un grand programme avec des industriels impliqués).
- Soutenir le développement d'infrastructures type P3, avec des salles blanches et un confinement de grade industriel, accessibles aux PME.
- Soutenir les développements en bio-informatique et la mise en place de formations permettant de posséder le potentiel humain (en bioinformatique et en bioproduction). Adéquation avec les investissements d'avenir.

Conditions de développement ou de diffusion et recommandations aux pouvoirs publics

#### Maturité (échelle TRL)

● Émergence (TRL : 1-4)
● Développement (TRL : 5-7)
● Maturité (TRL : 8-9)

#### Position de la France

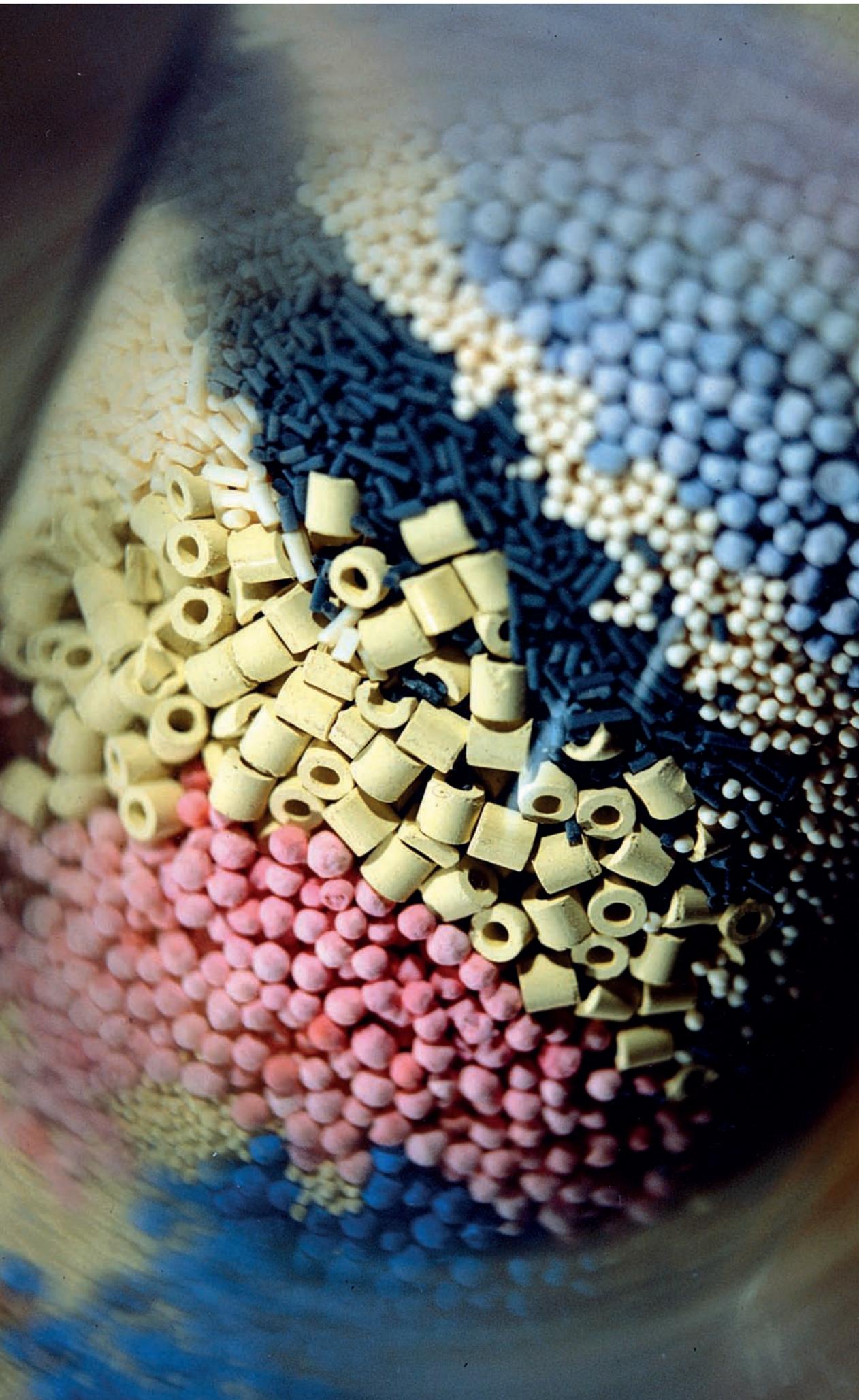
● Leader ou Co-Leader
● Dans le peloton
● En retard

#### Potentiel d'acteurs en France

● Faible
● Moyen
● Fort

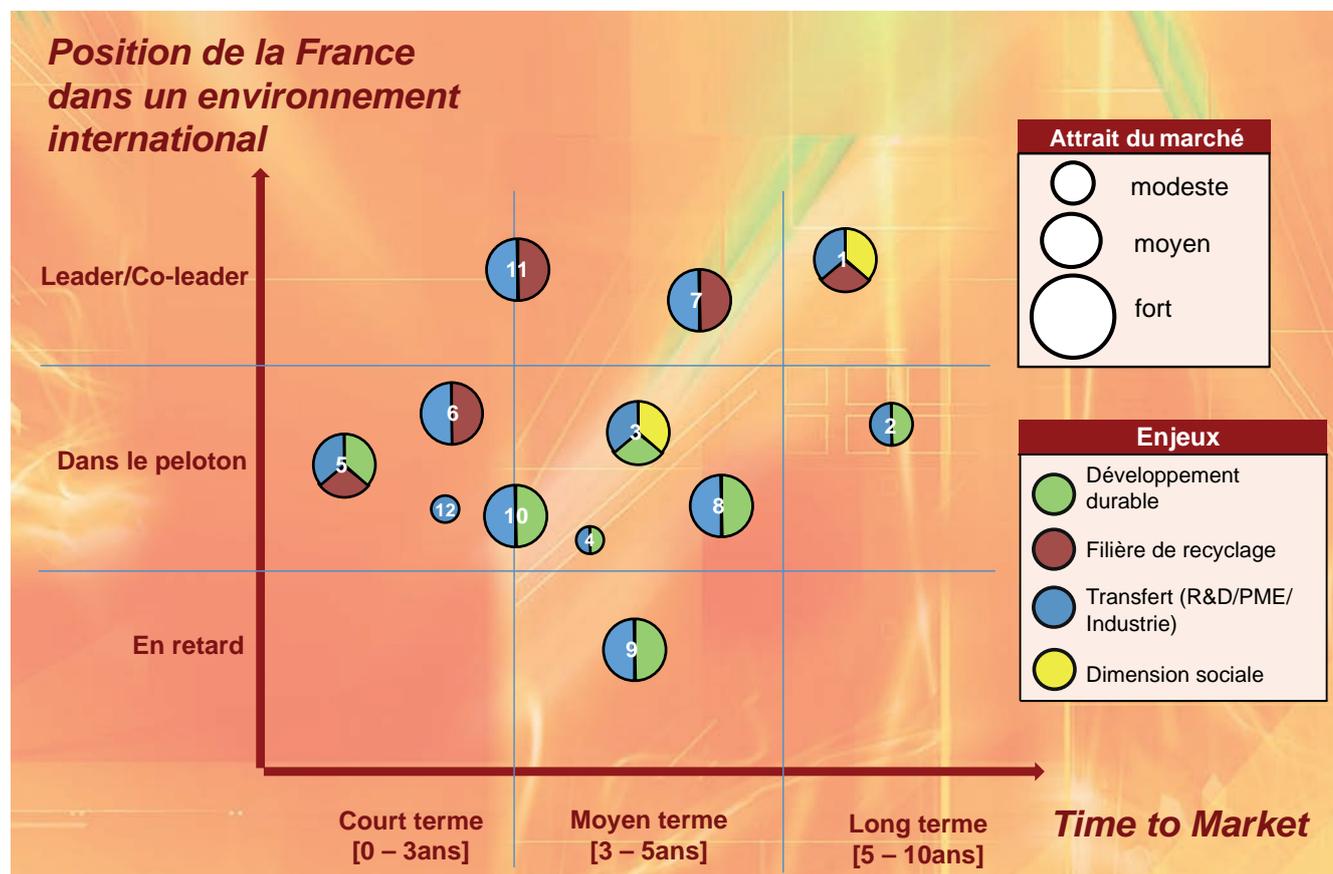
Analyse de la position de la France sur le développement et la diffusion de la technologie

# Chimie - Matériaux - Procédés



# Chimie - Matériaux - Procédés

1. Nanomatériaux
2. Simulation moléculaire
3. Biotechnologies blanches
4. Microstructuration
5. Catalyse
6. Dépôt de couche mince
7. Matériaux fonctionnels, intelligents et de performance
8. Capteurs
9. Procédés membranaires
10. Fabrication rapide
11. Élaboration de composites - Assemblages multimatériaux
12. Contrôle non destructif



## Contexte et enjeux

La chimie, les matériaux, et les procédés qui leur sont associés, sont un champ vaste et hétérogène se positionnant entre matières premières et marchés d'applications industriels. Jusqu'à présent, ce positionnement « intermédiaire » a conduit à un déficit d'image fort dans la mesure où les produits associés sont rarement visibles du grand public. Pourtant ce secteur alimente les développements et les innovations du monde qui nous entoure que ce soit dans le domaine du transport ou médical, de l'énergie ou de l'environnement...

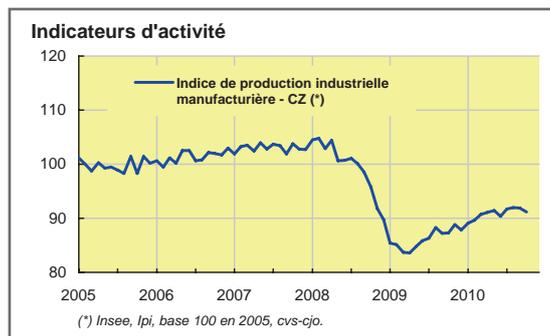
Ce secteur rassemble quatre familles principales : matériaux métalliques et transformation des métaux ; produits minéraux non métalliques ; chimie, caoutchouc et plastiques ; papier et bois. Remarque : seules les familles des biens intermédiaires sont prises en compte (nomenclature statistique). Les biens de consommations, eux, ne le sont pas.

## Une place prépondérante dans notre économie

En 2010 (selon Tableau de bord mensuel de l'activité industrielle, décembre 2010, DGCI), ces industries représentaient un chiffre d'affaires de 241 milliards d'euros.

Sur la scène internationale, la chimie est en 2009 le premier secteur exportateur avec 13,4 % des exportations de l'industrie manufacturière. Par son excédent commercial de 5,1 milliards d'euros, elle est positionnée au troisième rang des secteurs industriels derrière l'industrie aéronautique et spatiale et la fabrication de médicaments.

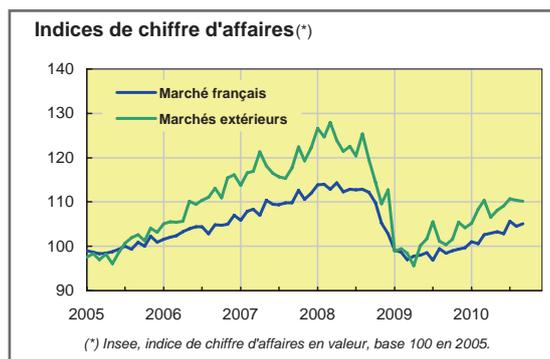
En 2009* En 2010**	CA* HT Md€	Salariés** milliers
Matériaux métalliques et transformation des métaux	78,1	387,2
Matériaux minéraux, caoutchouc, plastiques	58,9	292,7
Chimie	63,8	149,5
Bois et papier	39,8	251,3
<b>Total</b>	<b>240,6</b>	<b>1 044,7</b>



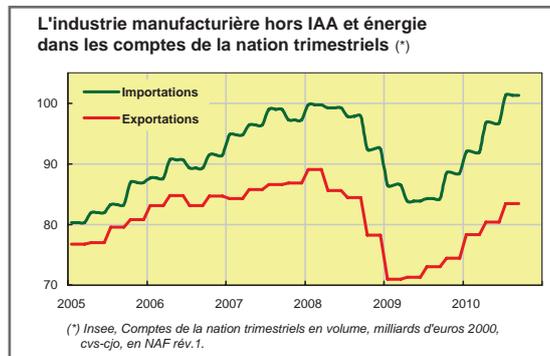
## Un secteur qui souffre économiquement...

De 2008 à 2009, on note une forte baisse de la production des biens intermédiaires avec une diminution de 15,7 %. L'année 2010 fera apparaître malgré tout une reprise sensible.

Sur la dernière décennie, la production 2009 de l'industrie chimique a reculé de 0,2 % par rapport à 1999 et de 7,3 % si on ajoute la chimie fine pharmaceutique.



Ces faibles performances masquent de nombreuses restructurations et cessations d'activités dans le domaine de la chimie de base et de la chimie fine pharmaceutique. Par ailleurs, d'importants efforts de productivité ont conduit à une perte d'emploi de 2,4 % par an sur cette période.



## ... et qui doit faire face à des pressions réglementaires de plus en plus fortes

Depuis une dizaine d'années maintenant la pression réglementaire sur le secteur de la chimie et des matériaux s'est fortement accrue (directive biocide, règlement REACH, système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques...). Cette pression est d'autant plus forte que l'application de ces réglementations en France est parfois plus exigeante que les réglementations européennes. Il n'est pas question de remettre en cause ces démarches qui vont dans le sens d'un plus grand respect de l'environnement et d'une plus grande sécurité, mais il faut tout particulièrement veiller à ce que l'ensemble de ces réglementations ne soit pas un frein au maintien de la compétitivité de notre tissu industriel dans un environnement international très compétitif.

En particulier, l'entrée en vigueur de REACH aura des répercussions fortes sur le secteur de la chimie et des matériaux et sur ses marchés d'applications en introduisant des logiques de substitution de substances. En effet, dans le cadre de REACH, les producteurs ou importateurs de substances devront procéder à des enregistrements. Sans enregistrement, ils ne pourront plus mettre leurs substances sur le marché impliquant, pour l'aval du marché, des recherches de substituts. Cette démarche de substitution sera directement mise en place pour les substances chimiques les plus dangereuses (en particulier les substances CMR).

## Une nécessité d'innover pour rester dans la course

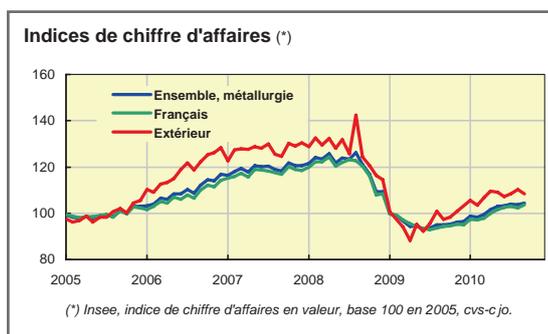
Par sa position « intermédiaire », le secteur de la chimie et des matériaux se doit d'innover fortement pour continuer à soutenir ses secteurs d'applications qui sont aujourd'hui en pleine mutation (allègement dans l'automobile, efficacité énergétique dans le bâtiment, nouveaux matériaux pour les énergies renouvelables...). Cette course à l'innovation est également une condition *sine qua non* pour rester en pointe dans un secteur où la concurrence internationale est très forte.

Enfin, même si ce secteur est source d'une partie des atteintes environnementales de l'industrie, c'est aussi en son sein que sont et seront développées la plupart des solutions technologiques amont (notamment par l'innovation sur des produits et procédés plus respectueux de l'environnement et plus sobres en matières premières et en énergie, par l'intégration du recyclage) permettant un développement durable des filières aval.

### Matériaux métalliques et transformation des métaux

En 2009* En 2010**	CA* HT Md€	Salariés** milliers
Sidérurgie	17,8	-
Métaux non ferreux	8,5	-
Fonderie	4,0	-
Travail des métaux	36,7	-
Produits métalliques	11,2	-
<b>Total</b>	<b>78,1</b>	<b>387,2</b>

(\*) Insee, estimations DGCS (\*\*) Insee, Dares



Ce secteur rassemble les entreprises de la sidérurgie, de la fonderie, du travail des métaux ferreux et non ferreux et de la production de produits métalliques.

En 2009, le secteur des matériaux métalliques et de transformation des métaux réalise un chiffre d'affaires de 78,1 milliards d'euros et emploie un total de 387 200 personnes.

L'ensemble des productions françaises d'acier, des métaux non ferreux et des produits métalliques, en forte baisse sur l'année 2008 repart à la hausse en 2010. Ce recul de la production est dû notamment aux difficultés rencontrées par les secteurs de l'automobile et du BTP. Concernant la sidérurgie en particulier, la chute de la production provient également des choix d'Arcelor-Mittal le leader mondial. En effet, celui-ci a décidé de réduire sa production mondiale de 30 à 35 % afin d'éviter la constitution de stocks et une chute trop forte des prix de l'acier (- 12 % fin 2008).

### Les enjeux de ce secteur

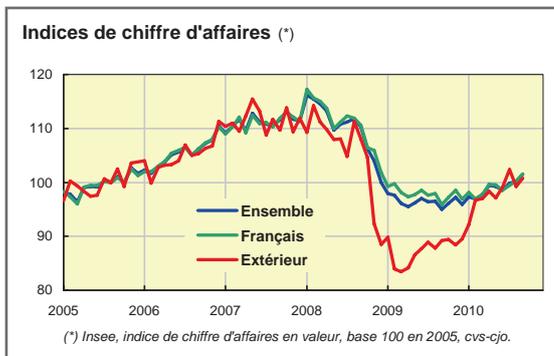
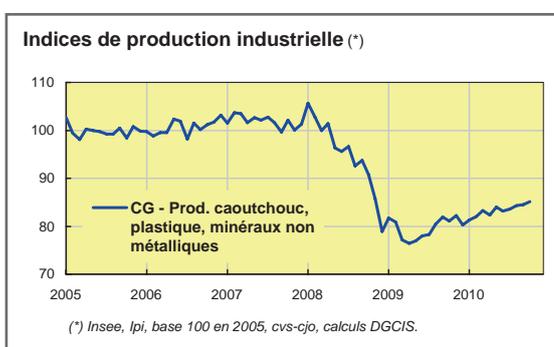
**Diminution des dépenses énergétiques :** les métaux sont bien évidemment concernés par la problématique développement durable. Sur ce dernier point, les aspects liés aux réductions de consommations énergétiques et aux émissions de gaz à effet de serre concernent aussi bien la production des métaux et des produits métalliques que leurs usages (notamment dans les moyens de transport).

**Augmentation de la performance et nouvelles fonctionnalités :** ce secteur doit faire face à la fois à des exigences toujours plus élevées en matière de coût/performance et à des besoins de nouvelles fonctionnalités (antibactérien, légèreté, résistance à la corrosion...).

**Gestion de la ressource :** le secteur des métaux est confronté à de très importantes variations au niveau de la demande créant de fortes tensions sur les marchés (acier, cuivre, métaux nobles). Cela favorise le développement de nouvelles solutions moins consommatrices en matières premières (couches minces, alliages...).

### Produits en caoutchouc et en plastique, produits minéraux non métalliques

En 2009* En 2010**	CA* HT Md€	Salariés** milliers
Produits en caoutchouc et en plastique, produits minéraux non métalliques		292,7
Fabrication de produits en caoutchouc	8,6	-
Fabrication de produits en plastique	24,4	-
Fabrication de verre et d'articles en verre	6,2	-
Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques hors verre	19,6	-
<b>Total</b>	<b>58,9</b>	<b>292,7</b>



Les industries du secteur produits en caoutchouc et en plastique, produits minéraux non métalliques emploient en 2009 292 700 personnes pour un chiffre d'affaires de 58,9 milliards d'euros.

On retrouve dans les matériaux minéraux non métalliques l'ensemble des produits de carrières, des produits en verre et en céramique, et les matériaux de construction.

Sur l'année 2008, les industries du verre, des céramiques et matériaux de construction sont en net recul. La production industrielle diminue effectivement de 12,4 % pour le verre et de 14,5 % pour les matériaux de construction et les céramiques. Ce repli provient essentiellement du fléchissement des secteurs du bâtiment, des travaux publics et de la construction automobile. Un facteur supplémentaire de difficulté pour les matériaux de construction est la hausse des prix de l'énergie et du métal. Pour les céramiques en particulier, le déficit commercial s'est creusé en raison d'une forte concurrence des pays asiatiques. Les industries du caoutchouc et du plastique n'ont pas échappé à la crise avec une forte baisse de leur activité. La parachimie et l'industrie du caoutchouc ont pâti du ralentissement de l'industrie automobile et de l'industrie manufacturière. Quand aux plasturgistes, l'augmentation en 2008 des coûts des matières premières pétrochimiques a réduit leur marge.

#### Les enjeux de ce secteur

Les principaux enjeux de ce secteur consistent à développer une approche durable reposant sur :

- l'anticipation des impacts environnementaux et sanitaires de ces produits ;
- la limitation de l'empreinte environnementale des procédés (diminution de la facture énergétique, recyclage, utilisation de ressources renouvelables) ;
- l'anticipation des innovations en proposant des matériaux hautes performances pour faire face à la montée en puissance d'une concurrence étrangère omniprésente.

**Amélioration des performances / matériaux intelligents et performants :** les minéraux non métalliques participent aujourd'hui à deux grandes tendances du marché :

- par le développement de nouvelles solutions techniques (béton, verre, isolant), ces matériaux participent directement à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments comme imposé par le Grenelle de l'environnement ;
- par ailleurs, les matériaux minéraux non métalliques doivent faire face aux exigences techniques de durabilité, de performances améliorées et de recherche de nouvelles fonctionnalités imposées par les secteurs utilisateurs.

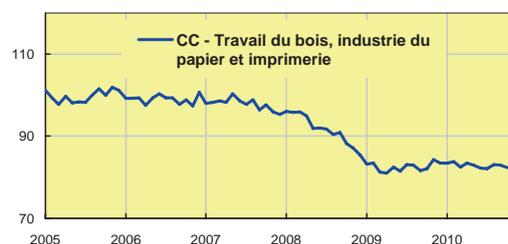
**Diminution des dépenses énergétiques :** cette industrie de transformation des minéraux nécessite un apport énergétique conséquent (cimenterie, verrerie). Un effort important est engagé à la fois sur la réduction de la facture énergétique et sur la valorisation des émissions de CO<sub>2</sub>.



## Industrie chimique

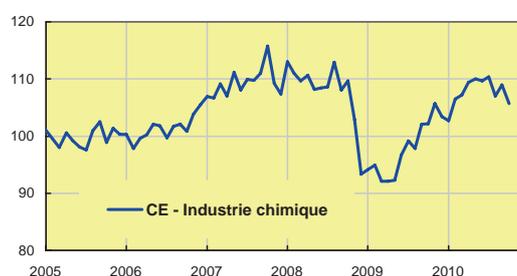
En 2009*	CA*	Salariés**
En 2010**	HT Md€	milliers
Produits chimiques, parfums et cosmétiques		149,5
Produits chimiques de base, azotés et d'engrais, de matières plastiques de base et de caoutchouc synthétique	32,3	-
Savons, produits d'entretien et parfums	17,4	-
Autres produits chimiques et fibres artificielles ou synthétiques	14,0	-
<b>Total</b>	<b>63,8</b>	<b>149,5</b>

## Indices de production industrielle (\*)



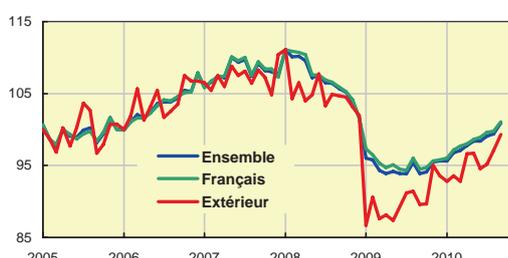
(\*) Insee, Ipi, base 100 en 2005, cvs-cjo, calculs DGCIS.

## Indices de production industrielle (\*)



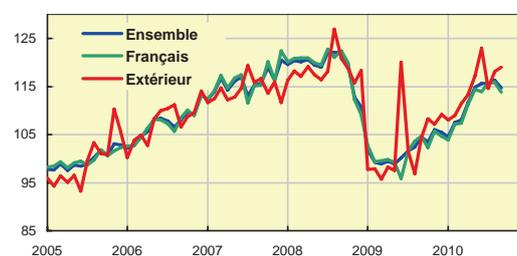
(\*) Insee, Ipi, base 100 en 2005, cvs-cjo, calculs DGCIS.

## Indices de chiffre d'affaires (\*)



(\*) Insee, indice de chiffre d'affaires en valeur, base 100 en 2005, cvs-cjo.

## Indices de chiffre d'affaires (\*)



(\*) Insee, indice de chiffre d'affaires en valeur, base 100 en 2005, cvs-cjo.

Cette partie rassemble les produits de la chimie de base, produits chimiques, parfums et cosmétiques. Ces secteurs ont un chiffre d'affaires total de 63,8 milliards d'euros (2009) et emploient près de 149 500 salariés en 2010.

## Travail du bois, industries du papier et imprimerie

En 2009*	CA*	Salariés**
En 2010**	HT Md€	milliers
Travail du bois, industries du papier et imprimerie		215,3
Articles en bois et en liège, sauf meubles ; articles en vannerie et sparterie	10,5	-
Pâte à papier, de papier et de carton	6,8	-
Articles en papier ou en carton	10,7	-
Imprimerie et reproduction d'enreg.	11,8	-
<b>Total</b>	<b>39,8</b>	<b>215,3</b>

Ce secteur rassemble les industries produisant des articles en papier, bois et le secteur imprimerie. Les activités principales effectuées par ces entreprises sont la fabrication de charpentes et de menuiseries, la production de panneaux et la réalisation d'emballages.

La plupart des installations industrielles de production de pâte et de papier appartiennent à des groupes internationaux étrangers. Le secteur travail du bois, industries du papier et imprimeries emploie 215 300 salariés en 2010 et réalise un chiffre d'affaires de 39,8 Md€. Le secteur a été victime (entre 2007 et 2010) du repli de la consommation et de la hausse des coûts de production. Des diminutions de production entre 20 % et 12 % selon les sous-secteurs, ont été enregistrées avant de se stabiliser.

### Les enjeux de ce secteur

Dans un marché du papier mondial concentré et fortement concurrentiel, l'objectif principal est de maintenir sa compétitivité. Cela passe en partie aujourd'hui par deux axes :

- **amélioration des procédés** : l'objectif est de développer des procédés plus économes en eau et en énergie ;
- **optimisation et diversification de l'usage de la ressource bois** : cela passe par un élargissement de la ressource utilisable (utilisation des déchets, recyclage).

## Les grandes tendances d'évolution du secteur

Comme on a pu le voir dans les paragraphes précédents, le secteur de la chimie et des matériaux représente un ensemble de produits et de marchés d'applications très différents, chacun fonctionnant avec ses propres règles et contraintes. Pourtant, il est important de souligner ici que ce secteur connaît aujourd'hui une véritable mutation qui conduit à trois grandes tendances d'évolution :

- se préparer à la raréfaction des ressources : ce premier enjeu passe à la fois par le développement de procédés économes en énergie et par l'intégration des bioressources ;
- améliorer et sécuriser ses procédés : ce deuxième enjeu passe aussi bien par l'optimisation et le développement de procédés plus propres et sécurisés que par la prise en compte de la notion du recyclage ;
- s'affirmer comme un interlocuteur clé : ce dernier enjeu nécessite à la fois d'identifier les « filières aval » prometteuses et de mieux comprendre leurs besoins afin de s'intégrer dans les développements de rupture de ses clients.

### Se préparer à la raréfaction des ressources

L'industrie chimique reste fortement dépendante des ressources non renouvelables.

L'industrie chimique en France consomme environ 40 % du gaz naturel de l'industrie et 25 % de l'énergie électrique. Ces produits chimiques sont issus à 60 % de ressources fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon).

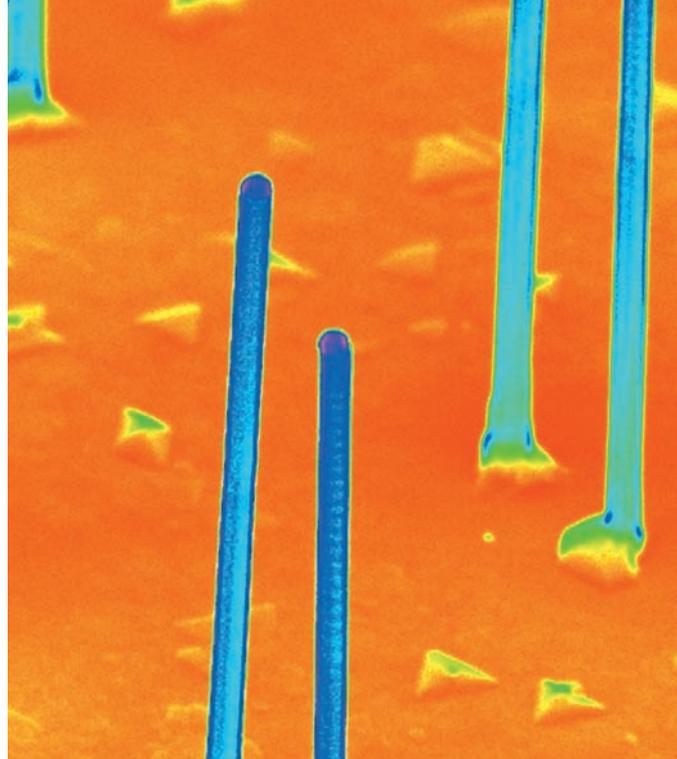
Actuellement, les préoccupations socio-économiques et écologiques poussent au développement de solutions alternatives pour limiter cette dépendance aux ressources fossiles.

Cette tendance se traduit par une volonté déjà bien engagée des industriels de la chimie et des matériaux à promouvoir des procédés de production plus économes en énergie en intégrant très en amont ce critère dans le cahier des charges des développements produits.

Ce mouvement se transpose également par la volonté de promouvoir des ressources en matières premières alternatives (bioressources). Ce mouvement est d'ailleurs particulièrement marqué au niveau européen puisque l'Union européenne fixe à horizon 2020 un objectif de 15 % de toutes les productions chimiques à partir de procédés biotechnologiques (ressource biomasse).

### Améliorer et sécuriser ses procédés

Le secteur de la chimie et des matériaux souffre d'un déficit global de visibilité au niveau de la société française (image négative liée aux incidents industriels, mauvaise image environnementale, intérêt peu marqué des jeunes diplômés). Cependant, dans le contexte actuel du développement durable, cette industrie peut contribuer significativement à améliorer son empreinte « envi-



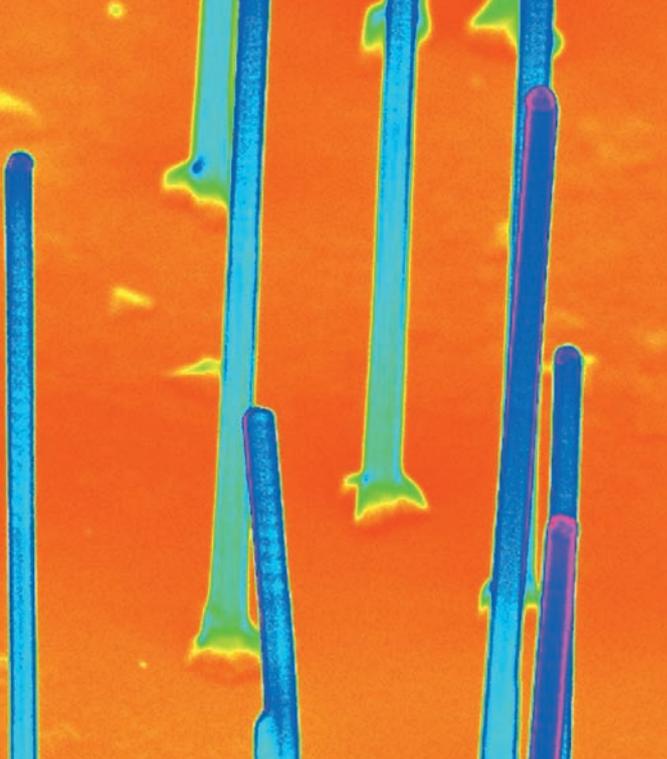
ronnementale » en jouant notamment sur trois leviers principaux. Le premier levier concerne l'amélioration et l'optimisation des procédés existants. Dans ce domaine, les évolutions attendues concernent la mise en place de procédés plus efficaces (meilleur rendement, sélectivité...) permettant une réduction de la taille des installations, une diminution des quantités de réactifs, de solvants ou d'eau utilisée ainsi qu'une réduction des rejets (gazeux, solides, liquides) dans l'écosystème. Cela passe aussi par un meilleur contrôle des conditions de réactions (abaissement des conditions réactionnelles, réduction des volumes de réacteurs) ouvrant des perspectives de procédés plus sûrs.

Le deuxième levier aborde l'intégration de nouvelles technologies de dépollution et/ou le développement de nouveaux procédés plus respectueux de l'environnement. Ces développements présentent le double avantage d'apporter des réponses pertinentes aux exigences réglementaires environnementales toujours plus contraignantes tout en conservant une compétitivité économique.

Le troisième levier est la prise en compte du recyclage. Ce thème est l'une des priorités du Grenelle de l'environnement. Au-delà des développements de nouvelles filières (recyclage des plastiques, recyclage des métaux...) et de nouvelles voies de recyclage, le secteur de la chimie et des matériaux peut intervenir également à différents niveaux en :

- développant une offre complète de produits « biodégradables » (matières premières, additifs, solvants...);
- réalisant des procédés de recyclage permettant une meilleure réutilisation des matériaux ;
- en participant et/ou en développant des outils d'éco-conception ;
- en prenant en compte, dès la conception des produits, la composante recyclage au même titre que les performances des matériaux.

Si l'on peut considérer que les deux premiers leviers s'inscrivent dans une évolution continue du secteur de la chimie et des matériaux, il apparaît clairement que le troisième levier est une rupture. Ce sujet complexe nécessite une approche globale de la production jusqu'à la fin de vie du matériau. Cette démarche est encore aujourd'hui complexe à mettre en place car impliquant à la fois les acteurs de la chimie mais aussi d'autres acteurs comme ceux notamment de la filière environnement.



## S'affirmer comme un interlocuteur clé : développer la dimension service

Depuis toujours, le secteur de la chimie et des matériaux est intimement lié aux développements de ses marchés d'applications. Jusqu'à présent fournisseur de produits intermédiaires, son enjeu aujourd'hui est de travailler sur l'intégration « aval » pour passer progressivement de ce statut de fournisseur à un statut de développeur de solutions.

Cette tendance doit permettre de mieux capter la valeur en comprenant mieux les besoins des clients. Cette évolution ouvre de profondes modifications au niveau de l'offre que pourront proposer les industriels de la chimie et des matériaux :

- soit en proposant directement de nouveaux produits de hautes performances à l'origine de rupture ;
- soit en travaillant sur la conception même d'une solution en partenariat avec le client. En travaillant sur la conception, ce n'est plus un produit qui est proposé mais une fonctionnalité. De « fournisseur de produits », le chimiste passe à « fournisseur de solution globale », associant produit et service (conception de produits sur mesure, logistique, ingénierie, etc.).

Dans ce contexte, l'offre de service va se développer plus fortement dans ce secteur où elle est encore très limitée. En particulier, les technologies d'aide à la conception (prototypage rapide, simulation moléculaire, contrôle non destructif), de développement de solutions « sur mesure » (dépôt de couche mince, catalyse) vont prendre de plus en plus d'importance dans les prochaines années car pour le client final, elles sont la garantie de performance et de gain en productivité.

## Les tendances technologiques et les technologies clés

Dans le travail d'identification des technologies clés, l'accent a été mis sur le croisement toujours plus important des différentes disciplines, avec la mise en avant des synergies porteuses entre la chimie, les matériaux et les procédés.

Tout naturellement, des technologies transversales comme les nanotechnologies ont pris une place de choix dans cette démarche. Il est cependant important de préciser ici que le fait qu'elles soient traitées dans cette partie ne doit pas minimiser les apports des nanotechnologies dans d'autres secteurs comme les sciences de la vie et l'électronique. L'atteinte des promesses liées aux nanotechnologies passera inévitablement par la convergence de différentes disciplines qui jusqu'à présent n'ont pas été naturellement associées (chimie, physique, biologie, ingénierie). En ce sens, les nanotechnologies sont véritablement une technologie clé transversale.

Au-delà des nanotechnologies, les tendances technologiques qui sous-tendent le développement de la chimie, des matériaux et des procédés ne sont plus nécessairement liées à la nature des matériaux mais aux fonctions et aux solutions que ces technologies apportent. En conséquence, on ne parlera pas directement de matériaux céramiques, de métaux ou de verres mais de matériaux fonctionnels et intelligents, de fonctionnalisation par dépôt de couche mince, etc.

L'ensemble des enjeux de la chimie, des matériaux et des procédés peuvent être regroupés en trois grandes tendances technologiques :

- les technologies « durables » : il s'agit de technologies permettant soit une maîtrise de sa propre empreinte environnementale conduisant à une amélioration de la durabilité intrinsèque de l'industrie chimique et de la production de matériaux, soit à une réduction de l'empreinte environnementale des industries « aval » ;
- les technologies « de performance » : il s'agit de technologies basées sur le développement de solutions multifonctionnelles capables de répondre aux nouvelles exigences des secteurs d'applications en aval ;
- les technologies « alternatives » : elles reposent sur l'utilisation et la transformation de produits issus de la biomasse ou de ressources végétales renouvelables.

Le schéma ci-dessous explicite les technologies clés retenues en fonction de leurs réponses aux enjeux ci-dessus :

Nanomatériaux	• Technologie durable • Technologie de performance
Simulation moléculaire	• Technologie de performance • Service (accompagnement des clients dans leur développement)
Biotechnologies blanches	• Technologie alternative
Microstructuration	• Technologie durable
Catalyse	• Technologie durable
Dépôt de couche mince	• Technologie de performance • Service (accompagnement des clients dans leur développement)
Matériaux fonctionnels, intelligents et de performance	• Technologie de performance
Capteurs	• Technologie de performance
Procédés membranaires	• Technologie durable
Fabrication rapide	• Technologie de performance
Elaboration de composites / Assemblages multimatériaux	• Technologie de performance
Contrôle Non Destructif (CND)	• Technologie de performance • Service (accompagnement des clients dans leur développement)

## Analyse de la position de la France

### Compétences et positionnement

Le secteur de la chimie, des matériaux et des procédés est un secteur historique de l'économie française. Il est aujourd'hui organisé autour de grands champions mondiaux (Rhodia, Air Liquide, Arkema, Saint-Gobain, Lafarge, Essilor, etc.) et de nombreuses PME-PMI dans les domaines de la chimie et des matériaux de spécialités (les PME-PMI représentent 80 % du paysage industriel français).

La France dispose d'atouts scientifiques indéniables qui lui ont permis de jouer les premiers rôles mondiaux dans ces domaines. Cependant, la France voit ses positions s'éroder notamment par un transfert R&D-industrie encore trop faible. Aujourd'hui, le problème de ce secteur est plus sur la mise en place d'une masse critique que d'un véritable retard technologique. Par ailleurs, l'évolution démographique des effectifs dans l'industrie fait peser une menace réversible sur l'avenir du secteur, due à la fois aux départs à la retraite et à un manque de qualifications reconnues. L'effort global de formation professionnelle régresse depuis plus de dix ans relativement au PIB.

Au niveau des efforts de R&D, on dénombre près de 13 500 chercheurs et enseignants-chercheurs directement en prise sur ces secteurs (effectifs associés aux domaines chimie et physique) soit environ 15 % des effectifs totaux de la recherche publique [1].

### Production scientifique

L'analyse des indicateurs établis par l'Observatoire des sciences et techniques (OST) montre que la production scientifique dans les domaines chimie et physique (recouvrant des problématiques chimie, matériaux) est en diminution en terme de contribution au niveau mondial.

Entre 2001 et 2006, cette baisse est constatée dans toutes les sous-disciplines liées à la chimie et aux matériaux (jusqu'à -20 % pour les matériaux polymères et la chimie analytique). Cependant, la bonne performance de la sous-discipline énergie-génie chimique et industriel (+20 %) doit être soulignée.

Par ailleurs, l'indice d'impact de la France est légèrement supérieur à la moyenne mondiale, ce qui traduit une augmentation de notre visibilité au niveau international malgré la diminution de notre contribution. Cette visibilité s'est accrue grâce à des publications dans des journaux à forte visibilité internationale (indice d'impact espéré immédiat de 1,15 en chimie et de 1,06 en physique). Toutefois, notre ratio de citations est légèrement inférieur à 1, ce qui signifie que les publications françaises sur ces sujets sont moins citées que la moyenne au sein des journaux.

### Analyse des brevets

En 2006, dans le système américain de brevets, la France (septième rang global) rassemble 2 % des brevets et est spécia-



lisée en pharmacie-biotechnologie et chimie-matériaux.

Au niveau du système de brevets européen, la France ne présente pas de spécialisation particulière au niveau des domaines de la chimie et des matériaux (pour l'ensemble des sous-disciplines la France représente environ 5 % des brevets européens). À noter cependant une sous-spécialisation dans le domaine des traitements de surface (3,6 % des brevets).

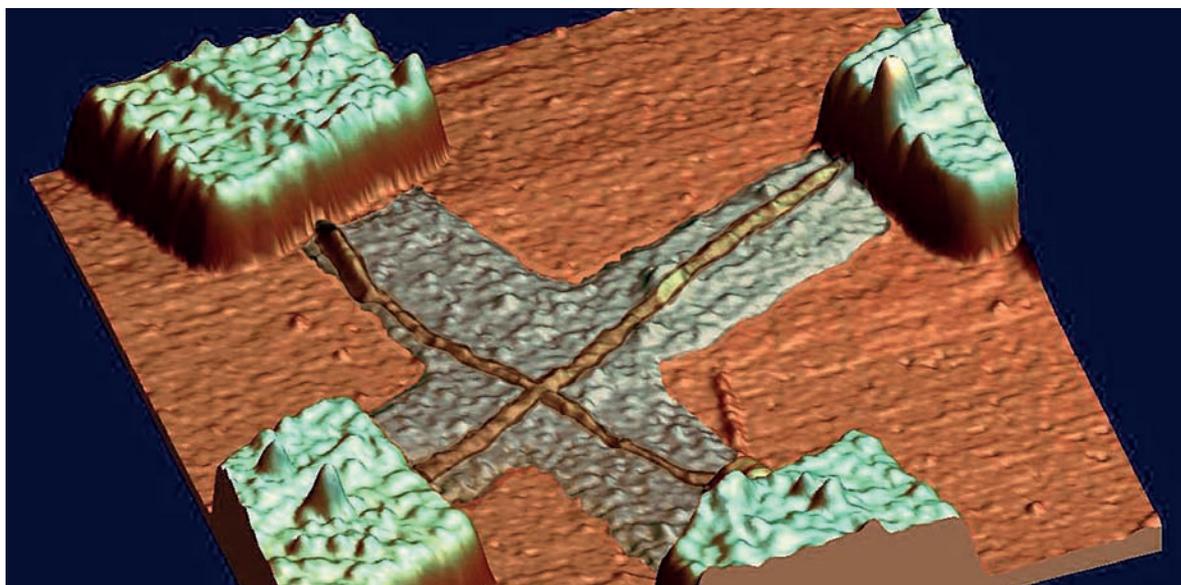
Cas particulier des nanotechnologies : l'analyse de la contribution française aux nanotechnologies est intéressante puisqu'elle montre clairement une contribution importante dans le domaine de la recherche académique (depuis le début des années 1990, la France fait partie des cinq pays majeurs en terme de contribution) mais une position faible dans le dépôt des brevets (moins de 5 % des brevets nanotechnologies déposés au niveau mondial). Ces résultats reflètent l'importance d'améliorer encore le transfert entre monde académique et monde industriel.

### Dispositifs d'accompagnement

Comme cela a été mentionné à plusieurs reprises, un des principaux enjeux du secteur de la chimie et des matériaux est d'accompagner les ruptures et les mutations de ses secteurs d'applications. En conséquence, les soutiens financiers actuellement mis en place, notamment dans le cadre du programme investissements d'avenir (grand emprunt), n'apparaissent pas directement sous la dénomination « chimie-matériaux ». Mais les soutiens aux nanotechnologies, aux biotechnologies, aux filières industriels et PME... sont autant de soutiens à la filière « chimie, matériaux et procédés ». Néanmoins, dans ce cadre, encore une fois, l'enjeu des « chimistes » sera de s'associer en amont à ces programmes de développement pour jouer pleinement leur rôle.

Bien que la France dispose d'un dispositif de soutien à l'innovation performant, notamment avec Oséo, il existe peu de création d'entreprises dans le domaine de la chimie et des matériaux. Se pose en particulier pour ces métiers le problème du financement d'activités généralement très capitalistiques.

Au-delà des dispositifs de soutien financier, le secteur de la chimie, des matériaux et des procédés bénéficie de nombreux dispositifs d'accompagnement à la recherche et notamment la recherche collaborative : les pôles de compétitivité (dix pôles de compétitivité à vocation mondiale ou plus spécifiques sur la chimie, les matériaux, les procédés), les instituts Carnot (transfert de technologies), les appels à projets (ANR, PCRDT, etc.).



## Recommandations

Le cadre réglementaire dans le secteur « chimie, matériaux et procédés » est très présent. Il est indéniable que ces multiples réglementations ont permis de structurer et d'améliorer l'image de ce secteur, mais d'un autre côté, elles peuvent être un véritable frein au développement de notre tissu industriel (majoritairement composé de PME) dans un contexte de concurrence mondiale. Il convient donc de s'assurer d'une mise en cohérence du cadre réglementaire et de ses évolutions pour éviter une paralysie de la filière, et *a contrario*, faire de la réglementation un outil contribuant à la compétitivité des entreprises françaises.

Dans les années à venir, le secteur « chimie, matériaux et procédés » aura à faire face à la gestion de la ressource pétrolière. L'approche « chimie du végétal » est une opportunité pour répondre à la fois à cet enjeu et pour répondre aux attentes du marché pour des produits « verts ». Cependant cette nouvelle approche transversale nécessite de créer des passerelles entre différentes filières (agricole, chimique, matériaux). Afin d'obtenir de véritables synergies, il est important de développer une coordination autour de la chimie du végétal en anticipant dès à présent les questions de la formation spécifique et des investissements nécessaires pour la mise en place d'unités de production compatibles avec les besoins des marchés en aval.

L'analyse transversale des technologies clés « chimie, matériaux et procédés » fait clairement ressortir que la France souffre d'une part, d'une capacité de transfert réduite entre sa recherche académique et son industrie et d'autre part, d'un éloignement entre PME et grands groupes. En conséquence, la France, qui est généralement positionnée dans les pays leaders au niveau de sa recherche académique, se retrouve distancée lors de la phase d'industrialisation. Il est donc important de travailler aujourd'hui à la mise en place et au renforcement d'outils facilitant à la fois les transferts technologiques entre R&D et industrie et le rapprochement des PME et des grands groupes. Ceci pourrait être facilité par le développement de plates-formes

technologiques ou de démonstrateurs autour des technologies clés retenues. Cependant une réflexion doit être menée pour identifier les modes de fonctionnement les plus adéquats de ces outils pour réellement favoriser la mise en place de véritables filières technologiques. À titre d'exemple, en Allemagne, la filière des nanotechnologies s'est développée avec la mise à disposition de moyens financiers pour des projets d'innovations industrielles prenant en compte toute la chaîne de valeur (collaboration entre entreprises, universités et organismes de R&D extra-universitaires).

La prise en compte du devenir du matériau en fin de vie, dès sa conception, devient un élément majeur pour répondre aux attentes environnementales de notre société. Ce point soulève la question de la mise en place de filières de recyclage adaptées aux nouveaux matériaux (matériaux multifonctionnels, assemblage multimatériaux). Cycle de vie et éco-conception sont des notions qui devront être encore plus fortement intégrées dans les développements amont.

Le succès du développement de certaines technologies clés passe par une étape de normalisation (nanotechnologie, prototypage rapide, capteur, catalyse). Il se pose alors la question de l'accès des PME à la normalisation et d'un soutien à mettre en place pour ne pas faire de ce paramètre un frein mais un facteur clé de succès pour l'ensemble de notre tissu industriel.

D'un point de vue technologique, il est important de souligner qu'on assiste aujourd'hui à une très forte augmentation des approches multidisciplinaires qui vont nécessiter de plus en plus des profils « particuliers » capables de faire le lien et d'assurer une synergie entre les différents domaines. À titre d'exemple, ces éléments sont déjà pris en compte aux États-Unis dans le cadre des développements des nanotechnologies avec la mise en place de la *Nanotechnology Education Act*. Une réflexion sur la formation doit donc être lancée notamment au niveau des nanotechnologies et de la chimie du végétal afin de s'assurer du développement de notre propre savoir-faire sur ces thématiques.



# 1. Nanomatériaux

## Définitions

Au-delà des applications actuelles connues des nanotechnologies touchant un grand nombre de secteurs d'applications industrielles, il est important de souligner que le réel potentiel de rupture des nanotechnologies repose sur la mise en convergence de nombreuses disciplines telles que la chimie, la physique, la biologie ou l'ingénierie. En ce sens, les nanotechnologies se positionnent comme une technologie clé transversale. Les nanotechnologies rassemblent à la fois les nanomatériaux, les nano-produits, les procédés de fabrication, de manipulation, de caractérisation et les outils de modélisation-simulation travaillant à des échelles de l'ordre de la centaine de nanomètres. A ces échelles, la matière présente de nouveaux comportements, de nouvelles propriétés à exploiter.

## Description

Dans la famille des nanoproduits, deux catégories principales peuvent être considérées :

- Les nanomatériaux : ils présentent des propriétés inédites en raison de leur structuration à l'échelle nanométrique. Ils existent sous la forme de nanoparticules (nanotubes, nanofils, nanocristaux...). Ils peuvent également se présenter sous la forme de dépôts en surface ou bien dispersés dans le volume des matériaux traditionnels ; on parle alors de nanocomposites. Jusqu'à présent les nanotubes de carbone ont été la figure emblématique des nanomatériaux. Il existe actuellement un fort engouement pour les graphènes (cristal plan) en raison de leurs formidables propriétés de conductivité.
- Les nanosystèmes : ils concernent des unités fonctionnelles à l'échelle nanométrique. Différents nanosystèmes peuvent être considérés de conception « simple » comme les systèmes de délivrance de principes actifs jusqu'à des systèmes complexes futuristes comme les nano-robots.

Deux voies principales de production accompagnent le développement des nanomatériaux : la voie *top-down* ou miniaturisation qui consiste en une optimisation des procédés classiques de production (gravure en électronique, broyage pour la production de matériaux) et la voie *bottom-up* qui consiste à créer les molécules ou systèmes ayant la fonction désirée à partir d'assemblage d'atomes. Cette deuxième voie encore au stade de recherche amont est très intéressante car elle ouvre des perspectives de nouveaux procédés de production propres et économes en énergie.

## Applications

Les nanomatériaux ont des applications dans tous les secteurs industriels. Historiquement, le marché de la micro-électronique a été le premier à bénéficier des effets de la miniaturisation offerts par les nanotechnologies. À la suite de cela, de nombreux secteurs se sont intéressés aux nanotechnologies, soit dans une logique de recherche d'amélioration incrémentale de la performance, soit dans une logique de rupture. On peut citer en particulier : les transports (automobile, aéronautique...), le textile, la cosmétique, l'alimentaire, la pharmacie, le bâtiment...

En 2007, le marché mondial des nanotechnologies était estimé à 135 milliards de dollars. En 2010, le marché des nanomatériaux seuls est estimé entre 2 et 3 milliards d'euros [2]. Ces valeurs sont encore loin des promesses d'un marché des nanotechnologies estimé au début des années 2000 à 1 000 milliards de dollars [3] mais la course est lancée. Le nombre de produits incorporant des

nanotechnologies est en progression constante (400 % de croissance sur la période 2005-2009) [4].

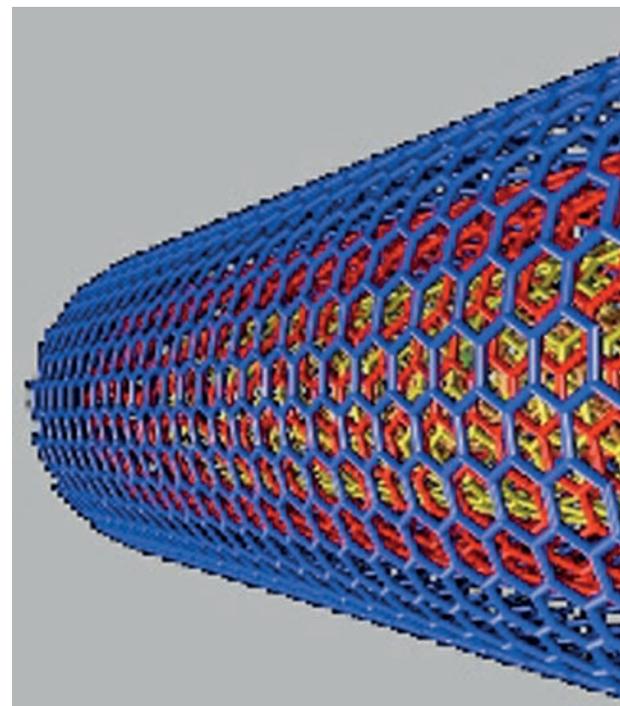
## Enjeux et impacts

Au-delà des améliorations incrémentales, les nanomatériaux permettent d'envisager des solutions originales aux défis que sont l'énergie (stockage de l'énergie, photovoltaïque souple, piézo-électricité), la lutte contre la pollution (nanomatériaux pour la réduction de la consommation de carburants, la dépollution des sols, le traitement des eaux), la prévention des maladies infectieuses (système de délivrance de principes actifs, nanosystèmes médicaux) ou le développement de nouvelles architectures en électronique (nanoélectronique).

L'ensemble des innovations accessibles aux nanomatériaux, et plus largement aux nanotechnologies, place ces technologies comme la quatrième révolution industrielle. En ce sens, elles apparaissent comme un véritable levier pour maintenir la compétitivité des industries françaises.

L'impact des nanotechnologies se mesurerait par la création de 400 000 emplois en Europe et de plusieurs centaines de milliers d'emplois indirects. Ainsi, il est prévu que 10 % des emplois manufacturiers seront liés aux nanotechnologies d'ici à 2015 avec notamment la création d'entreprises liées à cette thématique.

Cependant, au-delà des verrous technologiques associés aux nanomatériaux, les principales barrières actuelles se situent au niveau sociétal, en particulier, l'acceptation par les populations n'est pas acquise. Il se pose notamment des questions sur le ratio performance/risque lié à l'introduction de ces technologies et plus généralement des questions « hygiène-sécurité-environnement »



### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

pour l'ensemble des personnes qui auront un contact direct avec des nanomatériaux (production, consommation, recyclage).

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : CEA (Minatec, Leti, etc.), Fédération C'Nano, Ineris, Inserm, CNRS (IEMN, LPN, IEF, LAAS)
- **Intégrateurs/Utilisateurs** : Arkema, Marion Technologies, EADS, Mecachrome, Nanoceram, Olmix, Rhodia, STMicroelectronics, Saint-Gobain
- **Centres de compétences** : Pôle Axelera, Aerospace Valley, Cancer-Bio-Santé, Lyon-Biopôle, Medicen, Minalogic, System@tic

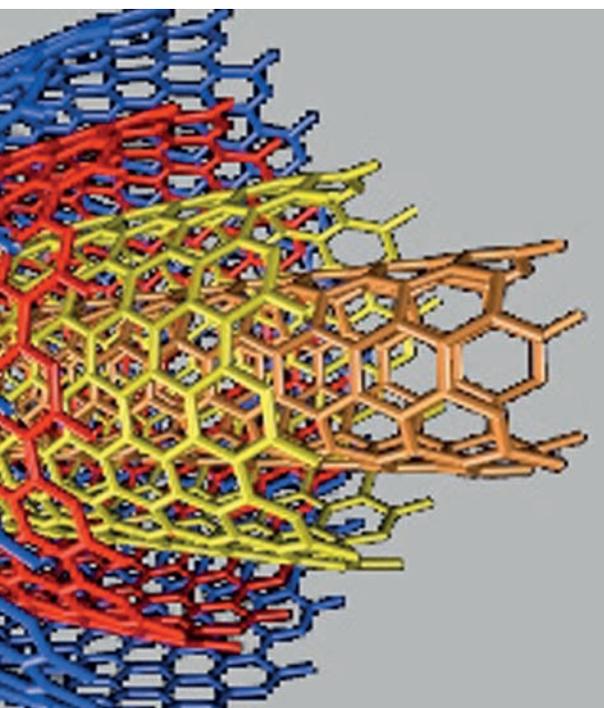
## Position de la France

La France a depuis le départ une position de leader au niveau de la recherche, engagée dans les nanotechnologies, avec notamment plus de 220 laboratoires rassemblant quelques 7000 personnes. Néanmoins, la France accuse aujourd'hui un retard par rapport à l'Allemagne, aux USA et au Japon sur le plan de l'industrialisation.

À noter cependant quelques réussites tant au niveau de la production de nanomatériaux (Arkema - nanotube, Rhodia - silice) qu'au niveau des centres de compétences d'envergure mondiale (Minatec).

Par ailleurs, la mise en place de Nano-Innov est une avancée majeure pour la mise en place de centres d'intégration autour des nanotechnologies.

Sur les questions HSE, la France se positionne aujourd'hui dans les pays de tête (avec l'Europe du Nord).



## Analyse AFOM

### Atouts

Dynamiques fédératives visibles et efficaces: C'Nano, Instituts Carnot, Minatéc, Nano-Innov; croissance continue du financement public de la recherche (+10 % /280 M€ en 2007)

### Faiblesses

Transfert industriel limité, la France détient moins d'un tiers des brevets européens; peu de producteurs sont présents.

### Opportunités

Quatrième révolution industrielle, de nombreux secteurs industriels concernés; développement des techniques d'analyses à l'échelle nanométrique et de nouveaux matériaux de rupture tel que le graphène.

### Menaces

Impacts HSE inconnus, appréhension sociétale grandissante; montée industrielle en puissance des USA, Japon, Allemagne, Chine.

## Recommandations

Les nanomatériaux constituent un axe stratégique à ne pas négliger au niveau national en favorisant en particulier le croisement des technologies afin de créer des matériaux inédits (nanomatériaux et technologies membranaires par exemple, ...).

Par ailleurs, il est nécessaire de promouvoir les échanges entre les différents secteurs, les disciplines scientifiques et l'ensemble des acteurs impliqués. Cela passera en particulier par :

- le renfort des transferts des laboratoires vers les industries;
- l'intégration des nanotechnologies au sein des PME, notamment grâce au plan Nano-Innov.

L'élaboration de méthodes permettant d'évaluer la valeur ajoutée strictement attribuable aux nanomatériaux permettrait d'objectiver et de dépassionner le débat qui se développe actuellement sur le ratio performance/risque de ces matériaux.

Il est également nécessaire de maintenir une position de leadership sur les questions HSE autour du développement des nanomatériaux.

Enfin, il est important d'intensifier la recherche prénormative, afin d'assurer plus de standardisation en la matière, ce qui permettra de ne pas subir des normes étrangères qui pourraient avoir un impact négatif sur les entreprises françaises ayant développé les technologies.

## Liens avec d'autres technologies clés



### Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



## 2. Simulation moléculaire

### Description

La simulation numérique du comportement des systèmes permet de réaliser des interprétations mécanistiques aux niveaux moléculaire et atomique souvent inaccessibles par l'expérience. Elle permet d'accéder de manière détaillée au comportement du système étudié.

La simulation moléculaire englobe toutes les méthodes théoriques et toutes les techniques de calcul utilisées pour modéliser ou simuler le comportement des molécules.

Profitant de la disponibilité d'ordinateurs puissants à un coût modéré, la simulation moléculaire offre maintenant des prédictions fiables dans de nombreux cas où les méthodes classiques, telles que les équations d'état, ont des capacités de prédiction limitées. Ceci est particulièrement utile pour la conception de processus impliquant des éléments toxiques ou des conditions extrêmes de pression et/ou de température.

L'évolution de cette technologie se place dans un cadre plus global que le seul aspect réactionnel et moléculaire. En effet, un développement majeur en simulation concerne la prise en compte de toutes les échelles qui constituent un procédé. C'est-à-dire que la modélisation devra associer les échelles nano, micro et macro dans des notions d'espace et de temps afin d'assurer la création de l'usine de demain (propre, adaptative, compétitive).

### Applications

De nombreux acteurs sont intéressés par les applications de la modélisation moléculaire, en particulier l'industrie pharmaceutique ainsi que tous les secteurs de la chimie (lourde, fine, durable). La simulation moléculaire est également de plus en plus utilisée dans le domaine de l'élaboration de matériaux, notamment pour apporter une meilleure compréhension de leurs comportements (élasticité, déformation plastique...).

Il est possible de concevoir par ordinateur de nouvelles molécules actives basées sur la structure d'un récepteur et/ou sur des ligands ainsi que de développer des médicaments.

Pour les matériaux, il est possible de réaliser un polymère en fonction de l'usage désiré, par exemple un polymère pour lentilles de contact avec les propriétés adéquates. D'après le cabinet Fuji-Keizai, le marché direct de la modélisation moléculaire dépasserait les 2 Md\$ chaque année.

### Jeux et impacts

En permettant de visualiser, en trois dimensions, les molécules et leurs interactions, de calculer et prédire la plupart de leurs propriétés, et donc d'éliminer toutes celles dont



la géométrie ou les propriétés sont incompatibles avec l'action recherchée, la modélisation moléculaire réduit le temps nécessaire pour la recherche et la conception de nouvelles molécules chimiques ou biologiques. Il est également possible de prédire la toxicité d'une molécule et d'évaluer les meilleures conditions de réactions afin de limiter l'utilisation de solvants.

Dans un contexte où le développement durable devient un enjeu majeur pour les économies et pour la planète, le calcul intensif est un des outils les plus prometteurs. Par sa capacité à simuler et à optimiser les phénomènes les plus complexes, il va accélérer la recherche, le développement et la production de nouveaux produits et de nouveaux services, dans des conditions environnementales optimales. Il permettra, par exemple, d'accélérer la recherche sur les nouvelles énergies, d'introduire de nouvelles molécules et de nouveaux composants pour les industries chimique et pharmaceutique, ou encore d'améliorer la compréhension des impacts sur les écosystèmes de nouveaux produits agricoles. La simulation numérique à très grande échelle devient ainsi un outil fondamental pour associer développement durable et développement industriel.

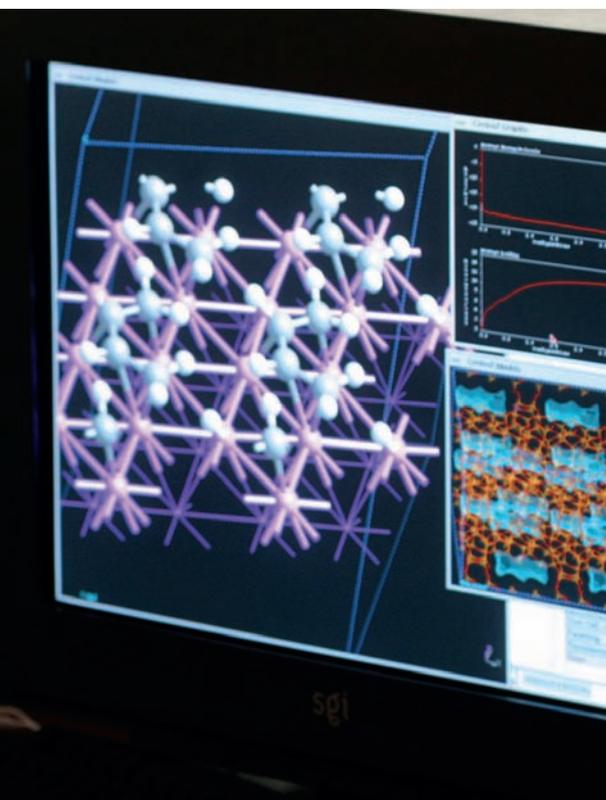
Cependant, le développement de la simulation moléculaire passera par une acceptation au niveau industriel. S'il est indéniable qu'il y a une évolution naturelle vers

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input checked="" type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



l'utilisation de telles approches, la modélisation ne saurait remplacer l'expérience et le savoir-faire dans la mise au point d'un nouveau composé ou produit. Il faut donc s'attacher à créer des synergies entre ces deux approches. En effet, la simulation moléculaire joue un rôle clé pour corroborer et expliquer les travaux expérimentaux, et ensuite prédire et proposer des nouveaux composés adaptés pour une tâche ou des nouvelles expériences à effectuer.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : CNRS LCPO, LAAS, PBIL, IBCP, Société Française de Biophysique, Inserm, CEA (Le Ripault Tours, Grenoble et Saclay), École des mines, Chimie ParisTech, Cermics, Micmac, Groupe de Graphisme et de Modélisation Moléculaire
- **Intégrateurs-utilisateurs** : Air Liquide, Dassault Systèmes, IFP Énergies Nouvelles, Sanofi Aventis, Total
- **Centres de compétences** : Pôles RNMM (Réseau Normand de Modélisation Moléculaire), Alliance française Simbio-sys

## Position de la France

La France a une tradition mathématique importante et une forte connaissance en modélisation numérique, en particulier, dans les secteurs automobile et aéronautique où les compétences françaises en la matière ont permis de pousser les modélisations des appareils à un niveau élevé de précision. De même, la recherche française est historiquement bien positionnée en chimie computationnelle.

Au niveau européen, la France participe à différents groupes de recherche tels que le COSTD37 (*Grid Computing in Chemistry*) ou DIRAC (*Program for Atomic and Molecular Direct Iterative Relativistic All-electron Calculations*).

## Analyse AFOM

### Atouts

De nombreux acteurs et des connaissances françaises poussées en modélisation.

### Faiblesses

Un manque de coordination avec les industriels ; des laboratoires de recherche dispersés donc pas de synergie ; un déficit important de formation théorique.

### Opportunités

Des applications très variées ; une demande croissante pour une connaissance poussée à l'échelle moléculaire ; la diminution des coûts de développement pour les utilisateurs.

### Menaces

Le développement d'une solution logicielle non française avec des standards différents.

## Recommandations

Le soutien au développement de la simulation numérique passe par :

- le rapprochement des compétences au sein d'un même pôle. La modélisation des systèmes chimiques et des matériaux pourrait être une nouvelle compétence du pôle System@tic. Ce rapprochement est d'autant plus important que la simulation numérique, bien qu'elle soit transversale, ne bénéficie pas de programmes ANR dédiés, ce qui limite son développement ;
- la création de formations académiques alliant l'informatique aux sciences de la chimie et des matériaux, à l'image du master de biologie moléculaire et cellulaire mis en place à l'université de Jussieu (Paris) ;
- la démocratisation de l'accès au calcul numérique pour accélérer l'innovation et en faire un moteur de développement économique ;
- le développement de ressources logicielles gratuites.

## Liens avec d'autres technologies clés

20

21

### Maturité (échelle TRL)

● Émergence (TRL : 1-4)
● Développement (TRL : 5-7)
● Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

● Leader ou Co-Leader
● Dans le peloton
● En retard

### Potentiel d'acteurs en France

● Faible
● Moyen
● Fort



## 3. Biotechnologies blanches

### Définitions

Les biotechnologies blanches (ou biotechnologies industrielles) consistent en l'emploi de systèmes biologiques (bactéries/enzymes) pour la fabrication, la transformation ou la dégradation de molécules ou de bio-systèmes grâce à des procédés enzymatiques ou de fermentation dans un but industriel. Elles ont pour objet la fabrication de produits chimiques et de bioénergie.

Les biotechnologies blanches reposent sur deux savoir-faire :

- Les biotechnologies enzymatiques : exploitation de biocatalyseurs ayant la capacité de reconnaître les formes énantiomériques de molécules complexes.
- L'ingénierie métabolique : utilisation de micro-organismes capables de transformer directement la biomasse (amidon, cellulose, oléagineux, protéines, saccharose, résidus organiques) ou des minerais (accumulation de métaux, production de sulfure métallique, volatilisation de métaux par méthylation).

### Description

Les biotechnologies blanches sont considérées comme un secteur en croissance. Cette évolution est portée par des premières générations d'enzymes et de micro-organismes issus du vivant. À plus long terme, cette croissance sera également portée par de nombreux développements effectués en amont. En particulier, l'essor de la génomique, de la protéomique, de la bio-informatique et de la biologie de synthèse donneront accès à des micro-organismes encore plus performants.

### Applications

Dans le domaine de l'énergie, les biotechnologies blanches sont aujourd'hui considérées comme matures avec en particulier la production de bioéthanol et autres biocarburants.

Limitées au début des années 2000 à des applications pharmaceutiques ou agroalimentaires, elles se développent de plus en plus vers les secteurs de la chimie, de la cosmétique, des emballages ou des secteurs intermédiaires tels que les fibres ou les plastiques.

Au-delà de ces marchés, les biotechnologies blanches sont en émergence sur d'autres industries comme le textile, le papier, les arômes et parfums ou encore le traitement des minerais.

Initialement positionnées sur des produits à haute valeur ajoutée, les biotechnologies blanches permettent maintenant la production d'intermédiaires réactionnels (acides acétique, lactique, succinique, fumarique, citrique, etc.), des produits chimiques (pesticides, tensioactifs, lubrifiants, etc.) et des polymères (PLA, PHA, etc.).

Actuellement, deux produits issus des biotechnologies blanches dépassent le million de tonnes par an : l'éthanol et l'isoglucose.

L'Union européenne a fixé un taux de pénétration des biotechnologies blanches de l'ordre de 15 % de l'ensemble de la production de l'industrie chimique d'ici à 2020. Il se situe en 2010 aux alentours de 10 %.

Le marché mondial des produits issus des biotechnologies blanches a été estimé à 125 Md\$ en 2010 [5], soit 160 % d'augmentation en 5 ans.

### Jeux et impacts

Les biotechnologies blanches ouvrent la voie à des améliorations réactionnelles par l'augmentation de la sélectivité, de la spécificité, de la cinétique et des rendements. En outre, elles présentent l'avantage de pouvoir réaliser les réactions à température ambiante et en milieu aqueux.

Concernant les matières premières, l'utilisation des enzymes et micro-organismes, au-delà des ressources fossi-

les classiques, permet l'emploi de matières premières renouvelables et la valorisation de la biomasse non alimentaire. Les biotechnologies blanches accompagnent, en particulier, le développement des filières de la chimie des agroressources et du bois.

En permettant une production dans des conditions plus douces, notamment de température, et à partir de ressources renouvelables, les biotechnologies blanches apparaissent comme une des réponses à plusieurs grands enjeux socio-économiques : indépendance vis-à-vis des ressources fossiles, impact carbone positif (réduction de l'utilisation de solvants pétrochimiques jusqu'à 90 %, voire totale suppression), diminution de la consommation en énergie (la consommation d'énergie et d'eau peut être abaissée de 10 à 80 %). Les biotechnologies blanches répondent aussi aux enjeux sociétaux en matière de produits verts à faible impact environnemental (émissions carbone faibles, produits biodégradables).

Même si l'aspect développement durable rend les biotechnologies acceptables par la population, les aspects d'organismes génétiquement modifiés restent un frein en général. Toutefois, les oppositions, dans les industries autres qu'agroalimentaires, devraient être moins importantes. En effet, les applications industrielles sont confinées dans les entreprises-bioraffineries, il n'y a pas de relargage dans la nature (risque industriel classique).

La mise en œuvre de nouveaux procédés liés à l'utilisation des biotechnologies nécessite des investissements importants, ce qui favorise l'utilisation actuelle de procédés traditionnels sur des unités déjà existantes, en particulier du fait d'un contexte économique difficile.

Des verrous techniques subsistent en particulier pour la gestion de la survie, de la pérennité et du maintien des performances des micro-organismes et des enzymes utilisés.

### Acteurs

#### Principaux acteurs français

- **R&D** : LISBP (Insa Toulouse), ICSN, IFP, Inra, Genoscope
- **Utilisateurs** : Arkema, Aventis, Bioattitude, Biométhodes, BMSsystems, Caspeo, Chamtor, Deinove, Lesaffre, Libragen, Metabolic Explorer, Proteus, Roquette, SNF, Sofiprotéol
- **Centre de Compétences** : ARD, Industries Agro-Ressources (IAR), Axelera

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

## Position de la France

La France présente un fort potentiel d'utilisateurs de la technologie avec des leaders de l'industrie chimique mais manque d'un grand producteur d'enzymes, ce qui oblige les utilisateurs à se fournir à l'étranger.

En comparaison, les États-Unis affichent le même nombre de sociétés qu'en Europe, mais emploient deux fois et demie plus de personnes et dépensent trois fois plus en R&D que l'Europe.

## Analyse AFOM

### Atouts

Deuxième puissance agricole mondiale, deuxième producteur chimique européen, pôles de compétitivité à vocation mondiale, nouveaux investissements du grand emprunt (bioraffineries, autres...).

### Faiblesses

Faible transcription des recherches en développements technologiques, manque d'intégration interdisciplinaire et de coordination, peu de producteurs d'enzymes français.

### Opportunités

Répondre aux enjeux de la chimie verte, en misant sur des innovations concernant les produits et les procédés, assurer la compétitivité de l'industrie chimique française et européenne.

### Menaces

Demandes sociétales contradictoires, fort développement des biotechnologies dans les pays asiatiques (Chine, Inde). Manque de formation spécifique biotechnologies et bioproduits dans le système d'enseignement français actuel. Absence d'articulation à l'échelle européenne.

## Recommandations

Les biotechnologies industrielles rassemblent, par nature, des technologies qui font appel à des compétences pluridisciplinaires (besoin en techniques de séparation, en capteurs et en automates, en technologies d'extraction et en purification, ainsi qu'en informatique de gestion des procédés). Afin de soutenir le développement de cette filière, la question de la formation de nouveaux profils multidisciplinaires doit être étudiée.

Le développement des biotechnologies blanches dans le secteur de la chimie peut être assuré par la création de véritables bioraffineries ayant d'importantes capacités de production. Cependant, les molécules biosourcées réalisées dans ces plates-formes restent encore peu connues. Des efforts importants sont à mener pour prendre en compte ces nouvelles molécules dans les normes afin de faciliter leur production.

La France devrait rassembler ses compétences sur le domaine précis et porteur qu'est la production de sucres fermentescibles à bas coûts à partir de la lignocellulose. Par ailleurs, il y a nécessité de développer des recherches en ligne avec le *strategic research agenda* de la plate-forme SUSCHEM en prenant le leadership sur des projets européens.

## Liens avec d'autres technologies clés

5

39

41

57

72

### Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input checked="" type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input checked="" type="radio"/>	Moyen
<input type="radio"/>	Fort



## 4. Microstructuration

### Définitions

Les technologies microstructurées constituent une classe innovante d'équipements de synthèse et de production de composés chimiques. Ces outils s'intègrent dans une approche nouvelle (liée à la microfluidique) s'appuyant notamment sur l'utilisation d'unités réactionnelles élémentaires associées en parallèle pour obtenir des unités de production de forte capacité.

Ces technologies reposent sur une structuration des outils de production à l'échelle de la centaine de microns. Elles permettent de tirer profit des comportements fluidiques et réactionnels originaux qui apparaissent à ces échelles. Elles permettent de favoriser un meilleur contrôle des conditions de réactions, une diminution de la taille des équipements, une amélioration des conditions de sécurité et des économies d'énergie. Elles apportent aussi une grande flexibilité lors des augmentations de capacité de production et facilitent les étapes de *scale-up* des procédés.

### Description

Il existe deux grandes familles de technologies :

- les micro-outils : microréacteurs, micromélangeurs, microéchangeurs ;
- les outils microstructurés (microstructuration d'une partie d'un outil macroscopique) : échangeurs thermiques compacts, réacteurs chimiques microstructurés de taille macroscopique.

Les microréacteurs fonctionnent sur le principe d'un procédé en continu et se différencient fortement des réacteurs de synthèse traditionnels par plusieurs caractéristiques clés comme un plus haut gradient de température et de pression, un transfert thermique plus élevé et une augmentation de la surface d'échange surface/volume. L'évolution de ces technologies se place dans le cadre de l'intensification des procédés. Intensification réalisable aussi par l'association des technologies de miniaturisation et des technologies multifonctionnelles avec hybridation des opérations unitaires dans le même équipement (distillation catalytique, couplage réaction-cristallisation, cristallisation-distillation, réacteurs chromatographiques, etc.).

### Applications

Le principal marché de ces technologies est celui de l'industrie chimique notamment pour des réactions difficiles à mettre en œuvre au niveau industriel (sulfonation, nitration, hydrogénation, méthylation...). Cependant les développements restent encore ponctuels, limités principalement aux acteurs de la pharmacie, de la chimie fine et de la chimie de spécialités. En 2006, les micro-réacteurs représentaient un marché de l'ordre de 100 millions de dollars [6] mais les opportunités de développement sont importantes. Le groupe suisse Lonza [7] a d'ailleurs à ce sujet réalisé une étude se basant sur leurs vingt-deux plus grands *process* :

50 % des réactions en chimie fine et pharmacie pourraient bénéficier d'une production en mode continu grâce à la technologie microstructurée.

Au-delà de ces premiers secteurs d'applications, des opportunités sont également pressenties dans les secteurs des gaz industriels, de la chimie de base et des produits pétroliers (raffinage). En effet, il a été démontré par le Centre de la technologie de l'énergie de CANMET-Varenes au Canada (CTEC Varenes) qu'adopter de nouveaux échangeurs de chaleur ou augmenter la surface d'échange thermique engendre des économies d'énergie de 15 % à 35 % dans les raffineries ou les usines pétrochimiques. On imagine ainsi très bien les bénéfices dans le secteur des gaz industriels où les coûts énergétiques représentent près de 40 % des coûts de production.

### Enjeux et impacts

Il s'agit clairement d'un sujet à fort enjeu pour la compétitivité industrielle de la France dans la mesure où les technologies microstructurées :

- représentent une opportunité de maintien des activités industrielles et des compétences scientifiques liées à la chimie en France
- permettent de s'intégrer de façon significative dans des programmes d'innovation ou de recherche liés à la chimie verte et aux problématiques environnementales et de sécurité.

L'enjeu pour les années à venir ne se situe pas tant dans le développement toujours plus évolué de nouveaux dispositifs intensifiés, que dans l'intégration de ces nouveaux dispositifs dans des procédés de production déjà existants (procédé multi-échelle, passage *batch/continu*). Il s'agit aussi d'intégrer la microfluidique dans le développement des méthodes de conception de procédés à la place des procédés classiques.

En effet, les économies réalisables grâce aux technologies de miniaturisation peuvent être associées à la réduction des dépenses énergétiques, des coûts d'investissements et de fonctionnements réalisables avec les technologies multifonctionnelles (hybridation des opérations unitaires), les économies étant de l'ordre de 20 % aujourd'hui.

Cependant, un des verrous pour une plus grande implémentation des technologies intensifiées en France concerne leurs coûts de production. Ce coût peut rester prohibitif face aux bénéfices qu'apporte cette technologie.

### Acteurs

#### Principaux acteurs français

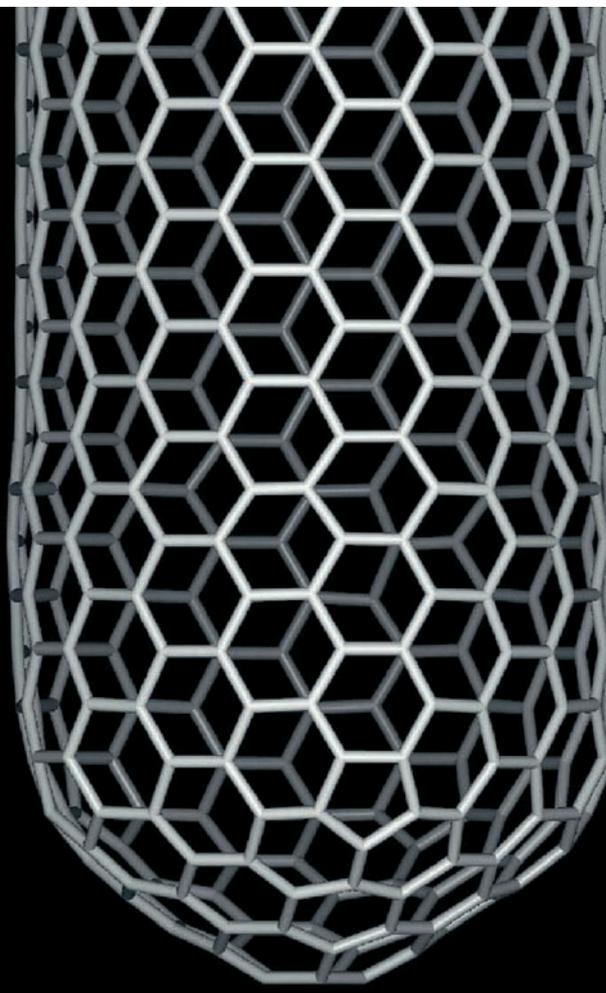
- **R&D** : LRGP, LGC-INPT, LGPC, CEA (GRETh-LETH), CNRS (LAAS)
- **Intégrateurs** : AETGroup, Alfa Laval, Boostec, Corning, Fives Cryogénie, Fluidgent, STMicroelectronics
- **Utilisateurs** : Pierre Fabre, Rhodia, Sanofi
- **Centres de compétences** : Pôle Axelera, IFP Energies Nouvelles, MEPI, PASS et à l'échelle européenne Gasmems et Suschem

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



## Position de la France

La France se situe plutôt en retrait par rapport aux pays moteurs que sont l'Allemagne, le Japon, la Grande-Bretagne, les Pays-Bas et les États-Unis.

Toutefois, la France bénéficie de nombreux acteurs en chimie et chimie fine ainsi que d'une force académique présente avec une volonté de structurer des actions impliquant à la fois la recherche publique et les industriels.

## Analyse AFOM

### Atouts

Recherche académique de pointe en matière de réacteurs microstructurés avec de nombreux centres de compétence ; forte industrie chimique en France avec une bonne renommée internationale et une volonté forte de structurer des actions entre recherche publique et entreprises.

### Faiblesses

Financements faibles comparés aux autres pays ; filière des technologies microstructurées peu développée.

### Opportunités

Utilisation des micro-outils dans les secteurs de la pharmacie, de la chimie fine, de la chimie de spécialité et des biotechnologies. Développement des outils microstructurés pour les industries des gaz, de la chimie organique et des produits pétroliers. Enfin, cette technologie fait partie des procédés liés au développement durable.

### Menaces

Capacité de production limitée et manque d'acceptation dans l'industrie, notamment pour des problèmes de connectiques entre réacteurs microstructurés ; cinq pays ont déjà développé la technologie de première génération (Allemagne, USA, Grande-Bretagne, Pays-Bas, Japon). Développement limité en raison de la lourdeur des investissements nécessaires.

## Recommandations

La microstructuration est une rupture technologique qui nécessite de mettre en place une filière organisée autour des laboratoires, centres de recherche, intégrateurs et utilisateurs finaux.

Il est nécessaire de tirer parti du potentiel de la mise en œuvre conjointe des technologies membranaires et des nanomatériaux dans le domaine des microréacteurs pour la chimie.

Le développement des technologies microstructurées pourrait passer par le lancement d'une deuxième génération de micro-outils (microréacteurs catalytiques, microréacteurs multiphasiques, microréacteurs composites, à surface fonctionnalisée) en réalisant la promotion et la diffusion de l'information entre la recherche et les industriels.

Cela devra aussi passer par un soutien à l'innovation industrielle (programmes partenariaux) en impliquant les grands groupes utilisateurs que sont les leaders mondiaux Air Liquide et Total dans le but de créer une filière autour des technologies microstructurées. Il sera également nécessaire de fédérer par des collaborations les compétences déjà existantes au sein des différents réseaux en France et en Europe.

La performance des microréacteurs a été démontrée. Cependant, il reste à démontrer la rentabilité de ces technologies afin de permettre leur diffusion dans le tissu industriel français.

### Liens avec d'autres technologies clés

1

5

9

83

### Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



## 5. Catalyse

### Description

Dans un contexte industriel tourné vers l'optimisation des procédés (améliorations environnementales, intensification des procédés de production), la catalyse apparaît comme une technologie clé dans la mesure où elle permet une amélioration de la cinétique et de la sélectivité des réactions chimiques. Le catalyseur participe à la réaction mais est régénéré à la fin de celle-ci. Les réactions catalysées sont réalisées dans des conditions optimisées (solvant, température, pression...).

La catalyse rassemble un ensemble de voies technologiques diverses : catalyse hétérogène, catalyse homogène, photocatalyse, biocatalyse, électrocatalyse... La catalyse hétérogène représente 95 % des réactions catalytiques industrielles.

Globalement matures, les technologies et les applications de la catalyse ont cependant atteint des degrés de développement divers : exploitée depuis plusieurs décennies dans l'industrie du raffinage, la catalyse est en émergence dans le domaine de la production d'hydrogène et de la production de carburants issus de la biomasse.

Ainsi, la catalyse reste un domaine encore en plein développement car la mise au point de nouveaux catalyseurs ouvre de nouvelles opportunités dans :

- l'accès à de nouvelles applications : polymérisation, réactions stéréospécifiques, reconversion de polymères (exemple du recyclage chimique des plastiques), traitement des gaz (procédé Fischer Tropsch) ou de la biomasse (lignocellulose en particulier) ;
- l'accès à de nouvelles matières premières (matière première renouvelable avec la biocatalyse) ;
- l'accès à de nouveaux procédés (intensification des procédés).

### Applications

Les applications de la catalyse sont très diverses. Mais on peut considérer que le marché de la catalyse se répartit sur trois principaux secteurs :

- les polymères et produits chimiques : la fabrication de plus de 80 % des produits chimiques dépend de réactions catalytiques ;
- la protection de l'environnement : traitement des émissions gazeuses des sources fixes (industrie) et des véhicules (pots catalytiques), traitement des eaux ;
- l'énergie : utilisation de catalyseurs dans de nombreuses étapes du raffinage.

Plus récemment d'importants développements ont été réalisés dans le domaine de l'environnement avec notamment l'intégration des catalyseurs dans le matériau pour la réalisation de surfaces photocatalytiques autonettoyantes.

Le marché mondial de la catalyse a été estimé à 15 Md\$ en 2007 avec pour principal secteur d'applications l'automobile suivi de la chimie (cette dernière représentant moins de 30 % du marché) [8].

Les prestations de services accompagnant la catalyse sont envisageables dans le cadre du recyclage des matériaux rares utilisés en tant que catalyseurs (solutions de régénération). Par ailleurs, de nombreux développements de catalyseurs nécessitent une approche « sur mesure » pour répondre à des exigences précises nécessitant des relations client-fournisseur étroites.

### Enjeux et impacts

La catalyse permet de trouver des solutions ingénieuses pour élaborer plus efficacement les molécules utilisées par les marchés en aval de l'industrie chimique (économie de matières premières, économie d'énergie, réduction des investissements, réduction du traitement des déchets).

En améliorant les rendements, et en diminuant la consommation énergétique, la catalyse constitue un véritable levier pour maintenir la compétitivité des entreprises françaises.

D'un point de vue réglementaire, la catalyse se présente comme une démarche permettant de faire face aux contraintes environnementales auxquelles sont soumis les industriels, contraintes qui ont été identifiées comme des facteurs pouvant peser sur la compétitivité des entreprises.

Aujourd'hui, l'évolution de la catalyse s'oriente vers la réalisation et la maîtrise de catalyseurs à l'échelle nanométrique afin d'améliorer les vitesses et sélectivités tout en utilisant des métaux peu onéreux à la place de métaux nobles. En effet, les catalyseurs courants sont aujourd'hui, entre autre, à base de platine et de rhodium, coûtant respectivement plus de 40 000 €/kg et 70 000 €/kg [9].

Cette volonté de trouver des alternatives aux métaux nobles s'appuie également sur l'intérêt de limiter notre dépendance à des matériaux dont les conditions d'accès restent difficiles.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

#### Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : IRCELYon, IFP, UCCS (Lille), Lacco, LMCCCO
- **Intégrateurs** : Axens, Eurecat, Sicat
- **Utilisateurs** : Arkema, GDF-Suez, PSA Peugeot Citroën, Renault, Rhodia, Total, Veolia
- **Centres de compétences** : Pôle Axelera, Suschem

## Position de la France

D'un point de vue recherche académique, les acteurs du pôle Axelera et des différents laboratoires sur la catalyse placent la France dans le peloton de tête au niveau mondial.

La France présente un fort potentiel d'utilisateurs de la technologie avec des leaders de l'industrie chimique, de l'environnement et de grands acteurs du secteur du transport (automobile), mais présente des atouts limités pour la production de catalyseurs.

## Analyse AFOM

### Atouts

Fort potentiel scientifique, des groupes industriels leaders sur les marchés utilisateurs. La catalyse est un des trois axes thématiques du pôle Axelera et les laboratoires de recherche IRCELYon et IFP Énergies nouvelles sont des acteurs majeurs au niveau européen.

### Faiblesses

Présence encore limitée d'acteurs français au niveau de la production.

### Opportunités

Marché dynamique apportant une réponse aux exigences sociétales d'optimisation des procédés (diminution de l'impact environnemental, réduction du nombre d'étapes, utilisation de moins de solvants ou de solvants durables).

### Menaces

Les catalyseurs développés par la recherche ne sont pas toujours exploitables au niveau industriel (exemple des organométalliques), utilisation de métaux nobles, parfois toxiques.

## Recommandations

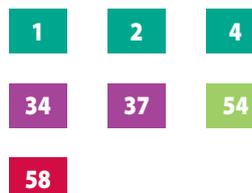
La diffusion des technologies de catalyse dans le tissu industriel français nécessite d'harmoniser les langages de communication scientifique et les normes du secteur. En effet, il est nécessaire de renforcer l'intégration et le rapprochement de la recherche française et européenne avec le monde industriel.

Le développement des moyens de simulation moléculaire est une ressource clé afin de trouver de nouveaux catalyseurs aussi bien pour ceux destinés aux secteurs « normés » (raffinage) que pour des secteurs propriétaires.

La création d'un site non-pétrochimique de validation pour les essais pilotes permettrait d'aider à l'émergence de nouvelles offres, notamment au niveau des PME, tout en favorisant des collaborations entre acteurs public et privé.

La production et la durée de vie des catalyseurs doit faire l'objet de plus de recherche afin d'assurer l'essor de la catalyse. La maîtrise de ces deux paramètres est envisageable par une meilleure connaissance des procédés qui leurs sont associés.

## Liens avec d'autres technologies clés



### Maturité (échelle TRL)

● Émergence (TRL : 1-4)
● Développement (TRL : 5-7)
● Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

● Leader ou Co-Leader
● Dans le peloton
● En retard

### Potentiel d'acteurs en France

● Faible
● Moyen
● Fort



## 6. Dépôt de couche mince

### Définitions

Le traitement de surface et en particulier le dépôt de couche mince sont des techniques développées dans le but de procurer de nouvelles fonctionnalités ou performances aux matériaux.

Les fonctions recherchées sont multiples. En effet, il est possible de gérer la réflectivité optique, de réaliser des surfaces anticorrosion, bactéricides, auto-nettoyantes, adhésives, de mouillage, de frottement, de sensibilité-résistance à des espèces chimiques données, etc.

### Description

Les procédés de dépôt de couche mince utilisés en traitement de surface sont appelés également procédés de «fonctionnalisation de surface». Ils rassemblent de très nombreuses voies technologiques. Parmi les plus utilisées, il peut être cité :

- l'approche « dépôt chimique en phase vapeur ou CVD (Chemical Vapor Deposition). Le substrat est exposé à un ou plusieurs précurseurs en phase gazeuse, qui réagissent et/ou se décomposent à la surface du substrat pour générer le dépôt désiré. La CVD est basée sur un contrôle fin des vitesses d'évaporation et des flux gazeux pour atteindre les épaisseurs recherchées allant jusqu'à des couches ultra-minces utilisés dans l'industrie des semi-conducteurs (Atomic Layer Deposition ou ALD). L'utilisation d'un plasma permet de diminuer les températures de fonctionnement et d'améliorer la qualité du dépôt. Il s'agit dans ce cas des procédés assistés par plasma (Plasma Enhanced CVD et ALD, ou PECVD et PEALD) ;
- l'approche « dépôt physique par phase vapeur ou PVD (Physical Vapor Deposition). Les principales méthodes de PVD sont des méthodes basées sur une pulvérisation cathodique (pulvérisation des atomes d'une cathode sous forme de particules neutres qui se condensent sur le substrat). Ces approches reposent uniquement sur des procédés physiques (évaporation sous vide haute température, bombardement plasma). Contrairement à la CVD, il n'y a pas de réaction chimique à la surface du substrat à revêtir ;
- l'approche « dépôt de couches minces par voie liquide ». Dans ce cas, les techniques les plus fréquentes sont le dépôt chimique en solution, l'électro-dépôt par synthèse électrochimique et la voie sol-gel. Dans ce dernier cas, il est possible d'obtenir « en conditions opératoires douces » des couches de haute performance notamment pour des applications en optique.

### Applications

De manière générale, le dépôt de couche mince adresse de nombreux marchés d'applications. Les principaux sont : la mécanique, l'automobile, le bâtiment, l'électronique, l'optique, la santé, les procédés de nettoyage sans solvant, le textile, la cosmétique et l'énergie.

On distingue de nombreuses applications. En électronique, il est possible de déposer tous types de métaux afin d'assurer une meilleur conductivité ou réaliser des interconnexions entre éléments. Dans le domaine du photovoltaïque, les technologies de CVD permettent de réaliser des couches minces de silicium cristallisé utilisées dans les panneaux solaires. Il est aussi envisageable de réaliser des capteurs chimiques ou physiques par la super-



position de plusieurs types de couches (adhérentes, résistives, actives). En optique, les couches minces sont appliquées sur des verres pour les rendre par exemple antireflet ou anti-UV.

Plus généralement, l'application de couches minces sur des matériaux permet de leur donner de nouvelles propriétés telles que l'anticorrosion, le renforcement de la dureté de surface ou encore la diminution des frottements. Ces trois fonctions constituent les principales préoccupations des industries mécaniques.

Le marché du dépôt de couche mince est un marché dynamique. À titre d'exemple, le marché mondial de la CVD devrait atteindre les 12 Md\$ d'ici à 2013. Il était estimé à 7,3 Md\$ en 2008 [10].

### Enjeux et impacts

Dans tous les secteurs industriels, la maîtrise de la conception et de la caractérisation de nouvelles surfaces est un enjeu majeur dans la mise au point des nouveaux produits.

Le dépôt de couches minces doit permettre d'assurer un accroissement de la compétitivité de l'industrie métallurgique par la production d'éléments avec de meilleu-

#### Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

#### Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

res ou de nouvelles fonctionnalités (propriétés mécaniques, hygiène) répondant aux nouveaux besoins des marchés d'applications.

La diffusion de cette technologie est inhérente à la mise en place d'une offre de services de traitement de surface « à façon » basée sur un savoir-faire de déposition capable de répondre aux exigences des différents secteurs et filières d'applications.

Ces technologies doivent en parallèle intégrer les considérations environnementales. En effet, généralement associée à une image de procédés polluants, la mise au point de dépôts de couche mince dits « propres » répond à des contraintes réglementaires grandissantes et apparaît comme un des enjeux majeurs du secteur. Par ailleurs, en développant des solutions multi-matériaux, la filière « couche mince » devra réfléchir à la prise en compte dès la phase de conception des produits des questions de recyclage.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : CEA-Liten, Cetim, Femto-ST, LSGS, Cirimat
- **Intégrateurs-utilisateurs** : Essilor, Groupe HEF, Groupe Bodycote (HIT), Mecachrome, Saint-Gobain l'Electrolyse SA et plus de 200 entreprises répertoriées sur [www.tris-online.com](http://www.tris-online.com)
- **Centres de compétences** : Pôles Viameca, Matéralia, Electronique (CEA Liten), Céramique, Plasturgie et à l'échelle européenne, Hardecoat

## Position de la France

Dans le domaine du dépôt de couche mince, la France présente deux visages.

Une situation en pointe portée par des acteurs leaders dans leurs domaines et une recherche active sur le sujet.

Mais il existe également un risque de perte de savoir-faire lié à des effectifs en décroissance et un recul au niveau de l'accès aux technologies.

## Analyse AFOM

### Atouts

Présence de leaders internationaux, d'un tissu industriel très dense et d'une dynamique importante des PME/PMI en traitement des surfaces.

### Faiblesses

Manque de moteur national ; diminution de la main d'œuvre (non renouvellement), intégration de compétences difficile pour les PME.

### Opportunités

Réponse technologique des industriels aux contraintes réglementaires ; possibilité de définir une offre de service (externalisation des activités de surface, fonctionnalisation), forte demande des industries clientes sur des niches commerciales ; l'internationalisation des entreprises clientes peut être un levier de développement.

### Menaces

Mondialisation de l'économie et délocalisation des industries clientes (mécanique...) ; forte dépendance de ces entreprises (PME) à quelques donneurs d'ordres.

## Recommandations

Considérés comme une technologie mature, les dépôts de couche mince jouent un rôle capital dans l'élaboration de solutions multi-matériaux de performance. Toutefois, ces technologies doivent prendre en compte :

- le recyclage : enjeu d'importance pour des technologies majoritairement utilisées par des PME. De plus, le recyclage peut être un élément différenciant lorsqu'il est considéré dès la conception. Il sera néanmoins nécessaire de mettre en place des filières de recyclage associées.
- le risque d'une perte de compétences, notamment pour les PME qui seront à terme confrontées aux problèmes de l'accès à ces technologies. Sur ce point se pose la question de notre capacité et de notre volonté à maintenir un minimum de compétences autour de ces technologies.

## Liens avec d'autres technologies clés



### Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input checked="" type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input checked="" type="radio"/>	Fort



## 7. Matériaux fonctionnels, intelligents et de performance

### Définitions

Les matériaux fonctionnels, intelligents et de performance représentent une famille large de matériaux développés pour répondre à l'évolution des cahiers des charges toujours plus complexes des marchés d'applications servis par l'industrie des matériaux. Cette famille couvre à la fois des demandes de performances techniques particulières (matériaux fonctionnels) et des besoins de solutions adaptatives et multifonctionnelles (matériaux intelligents)

### Description

Les matériaux de haute performance présentent des résistances inusuelles (mécanique, feu, corrosion...) ou bien des fonctionnalités particulières (antistatique, antibactérienne, autonettoyante).

Les matériaux dits « intelligents » sont des matériaux capables de réagir et de s'adapter à des modifications de l'environnement extérieur. On retrouve les matériaux à mémoire de forme, les matériaux auto-réparants/cicatrisants, photochromiques, à changement de phase, piézoélectriques, etc.

L'intégration de ces matériaux dans le produit final donne accès à de nouveaux systèmes (nouveaux capteurs de pression ou d'actionneurs tels les injecteurs à commande, les nanomanipulateurs) ou à de nouveaux produits (textiles respirants, communicants, composites conducteurs...).

La maîtrise de l'ensemble des sciences et techniques liées aux matériaux apparaît comme le facteur clé pour atteindre les performances recherchées. Dans ce cadre, la connaissance fine des structures à l'échelle moléculaire nano-, méso- et macroscopique est nécessaire. La maîtrise des procédés de mise en œuvre et de traitement des matériaux, notamment grâce à la modélisation, est également critique.

### Applications

Tous les marchés sont concernés par le développement des matériaux fonctionnels et intelligents. Les marchés les plus porteurs d'innovations technologiques sont historiquement les plus exigeants du point de vue des performances : espace, nucléaire, défense, aéronautique, automobile.

Mais d'autres secteurs apparaissent désormais moteurs pour la mise au point de matériaux plus performants ou multifonctionnels : la santé (biomatériaux), les sports et loisirs, l'emballage... Ces secteurs ont, par ailleurs, un impact important en matière de diffusion des innovations auprès du grand public.

Plus récemment, les suites du Grenelle de l'environnement impliquent le développement de matériaux « super isolants » permettant de faire face aux futures exigences thermiques (réglementations thermiques 2012, 2020).

Le secteur du textile est un exemple intéressant de l'apport de ces familles de matériaux. L'introduction de fibres haute performance a permis l'essor de la filière française textile technique (textile anti-feu, textile balistique, textile antistatique). La nouvelle génération concerne le développement de textile intelligent (communicant, médicalisé). En France, 400 entreprises (pour presque 20 000 salariés) ont été répertoriées comme ayant une



activité textile technique majoritaire et stratégique. Ce sont essentiellement des PME de moins de 50 personnes résolument tournées vers l'international. Leur chiffre d'affaires en 2007 s'est élevé à 3,5 milliards d'euros. Cela représente d'ores et déjà en France 30 % de la production de textile nationale avec 4 Md\$ en 2006 et 3 % de croissance annuelle [11].

### Enjeux et impacts

Les matériaux bénéficiant de nouvelles propriétés revêtent une importance particulière quant à la compétitivité future et au développement durable de l'industrie européenne. En effet, ils constituent la base de progrès techniques dans de nombreux secteurs.

Plusieurs enjeux se posent pour les matériaux fonctionnels et performants. Ils doivent en effet être plus performants, plus durables, avec de multiples fonctionnalités et avec l'aptitude à être transformés et à être recyclés.

Une coopération entre chimistes, physiciens, mécaniciens et formulateurs est nécessaire afin de garantir une adaptation optimale des performances des matériaux à leur usage. Ce besoin de collaboration au niveau scientifique et technique trouve un relais au niveau industriel dans la nécessité de développer les méthodes et outils de co-conception.

Les matériaux fonctionnels et intelligents sont clairement un exemple de solutions « amont » qui permettent de répondre aux nouvelles exigences et mutations des industries en aval, tels que l'allègement pour le transport, l'auto-réparation pour le génie civil. Dans ce cadre, la mise au

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



point de ces fonctionnalités et solutions inédites assure la croissance de la valeur d'usage des matériaux. L'introduction de solutions haute performance et/ou intelligentes permet également de miser sur les marchés de demain et de conserver une avance technologique.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : CEA Leti, Onera, CNRS SIMap
- **Intégrateurs-utilisateurs** : ArcelorMittal, Areva, Arkema, Air Liquide, Dickson Constant, EADS, Imerys, Lafarge, Porcher, Rhodia, Saint-Gobain, Safran, Solvay, Total, autres acteurs de la FFM. Et 300 acteurs recensés sur [http://www.industrie.gouv.fr/observat/innov/materiau/so\\_mate.htm](http://www.industrie.gouv.fr/observat/innov/materiau/so_mate.htm)
- **Centres de compétences** : Pôles Axelera, Aerospace Valley, IAR, IFTH, Matéria, Plasturgie, Techtera, Up-Text et FEMS pour l'Europe

## Position de la France

La France a un positionnement historique sur les matériaux haute performance avec des leaders mondiaux (Saint-Gobain, Essilor, Arkema) et un tissu de PME innovantes notamment dans le domaine du textile. Pour faire face à la concurrence, le développement de centres de ressources techniques (Techtera, Materialia) de renommée européenne ou mondiale a été mis en place.

Par ailleurs, la France possède également les opportunités de développement avec un grand nombre d'acteurs de dimension internationale utilisateurs de ces technologies (secteurs du transport, de l'énergie, ...).

## Analyse AFOM

### Atouts

Potentiels d'acteurs industriels et de centres de ressources importants, tissu industriel important et programme CNRS « matériaux fonctionnels et procédés innovants ».

### Faiblesses

Manque de coopération et de coordination entre les corps scientifiques.

### Opportunités

Apporter des solutions innovantes aux problématiques des secteurs en aval, maintenir l'activité industrielle en misant sur la technicité, la rupture.

### Menaces

Concurrence internationale forte.

## Recommandations

Le développement de ces matériaux est largement conditionné par la demande, et donc par de nouvelles applications et de nouveaux marchés. Ce développement pourrait ainsi être encouragé en facilitant les démonstrations technologiques et la diffusion des innovations auprès des industriels et du grand public.

L'apport de la chimie est fondamental afin d'amener la fonction au cœur même du matériau. Afin d'assurer la création de matériaux fonctionnels adaptés aux besoins de l'industrie il est nécessaire d'intensifier les collaborations entre les différentes filières productrices et utilisatrices.

De plus, la France doit se positionner clairement pour l'éco-conception de ces matériaux dans le but d'assurer leur recyclage. Cette prise en compte du recyclage dès la conception des matériaux doit être accompagnée par la création d'une filière qui sera en mesure de gérer la fin de vie de ces nouveaux produits. En particulier, la prise en compte des problèmes d'assemblage et surtout du désassemblage reste clé dans l'optique d'assurer un recyclage réaliste (assemblage et désassemblage sont des étapes critiques de l'écoconception).

Il convient également de ne pas perdre de vue les potentialités des produits multimatériaux dans la recherche de matériaux performants.

## Liens avec d'autres technologies clés

2

11

47

68

70

72

### Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



## 8. Capteurs

### Définitions

Un capteur est défini comme un système intégré comprenant le moyen de réaliser une mesure. Ce système comprend la détection, la transmission et l'analyse de l'information établie.

Les capteurs ont pour vocation d'être intégrés dans des systèmes complexes tels que les avions, les automobiles, les procédés réactionnels, les chaînes de production, les systèmes de sécurité, la domotique, etc.

### Description

On recense trois types de capteurs :

- les capteurs physiques, mesurent une variation (déplacement, température, lumière, masse...) donnant un renseignement sur l'environnement du capteur. Les technologies de détection associées sont diverses mais la plupart relèvent entre autres des technologies MEMS et NEMS (Micro et Nano *ElectroMechanical System*) ;
- les capteurs chimiques, transforment de l'information chimique en un signal analytique utile. Ils sont composés de deux éléments principaux : un système de reconnaissance et un transducteur de signal ;
- les capteurs biologiques, systèmes de reconnaissance biologique réalisés à l'aide de : biopuces, micro-organismes, ADN... Ils sont perçus comme complémentaires des autres capteurs par leur mesure à l'échelle moléculaire. L'intégration des capteurs dans des matériaux peut être considérée comme une voie technologique pour le développement de matériaux intelligents car ils permettent d'assurer le lien entre le matériau et son monde extérieur et confère ainsi au matériau une capacité d'adaptation.

### Applications

Les capteurs sont nécessaires à tous les marchés industriels : aéronautique, automobile, mécanique, électronique, chimie matériaux, biologie agroalimentaire, construction-BTP, sciences de la vie... Dans ces secteurs, les fonctions associées aux capteurs sont diverses, allant du contrôle de *process* (débit, température, composition), à la sécurité (intrusion-détection) en passant par le suivi des infrastructures et l'environnement (qualité de l'air, économie d'énergie)...

À titre d'exemple, le secteur automobile est fortement consommateur de capteurs (physiques et chimiques). En 2012, le marché des capteurs pour l'automobile est, en effet, estimé de l'ordre de 13,5 Md\$.

Dans le cadre des capteurs physiques, 80 % des capteurs semi-conducteurs dépendaient en 2008 de dispositifs issus des technologies MEMS, en particulier les accéléromètres, les gyroscopes, les capteurs de températures, etc. [12]. Les MEMS constitueront un marché de 19 Md\$ en 2015 selon le cabinet Yole Développement [13]. Ce marché s'ouvre au particulier avec l'intégration de tous types de capteurs dans les objets courants tels que les appareils photographiques ou les téléphones (lumière, son, position, déplacement).

Dans le domaine des capteurs chimiques, au-delà des applications contrôle-sécurité industrielle, d'importants développements ont été effectués pour des applications défense (détection d'explosifs, détection d'armes biologiques ou chimiques). Ce savoir-faire pénètre le secteur

grand public avec le développement de solutions duales comme le « nez électronique ».

### Enjeux et impacts

Les évolutions technologiques s'accompagnent de besoins nouveaux en métrologie. En particulier, les marchés d'application requièrent des capteurs assurant des mesures en continu avec un spectre plus large et une sélectivité plus fine.

En parallèle, il existe un véritable enjeu de miniaturisation et de diminution des coûts de production afin de permettre la diffusion et l'intégration de cette technologie à grande échelle. En particulier, la miniaturisation des capteurs laisse entrevoir la possibilité de réaliser des réseaux de capteurs pour faire de la détection multiparamétrique.

Au-delà du fonctionnement intrinsèque des capteurs, il existe aujourd'hui un véritable enjeu sur la question de l'autonomie en énergie des capteurs. Cette question est cruciale pour des applications de type capteurs déportés. Ces capteurs sont des solutions de choix pour suivre un système à distance, sans le perturber. Cependant, la mesure de tels paramètres exige des temps d'expérimentation longs et en continu. L'autonomie en énergie est également un véritable facteur clé de succès pour une intégration réussie des capteurs dans notre environnement quotidien.

Face à ces différents enjeux, les nanomatériaux apparaissent comme une brique technologique essentielle pour augmenter la sensibilité du dispositif, tout en diminuant la quantité de produits sensibles à mettre en œuvre (réduction des coûts, miniaturisation).

Parallèlement à ces améliorations au niveau des systèmes de détection, il sera également nécessaire, pour obtenir des avancées significatives dans le domaine des capteurs, de travailler sur les systèmes de transduction et de traitement du signal.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input checked="" type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : CEA Leti, Lime, CNRS-LAAS
- **Intégrateurs-utilisateurs** : Alpha-Mos, ArcelorMittal, Auxitrol, EFS, Elta-Areva, Hach Lange, Hemodia-Captomed, Heito, Horiba, Humirel, Neosens, PSA, Renault, Sensor, STMicroelectronics, Tronics, Valeo
- **Centres de compétences** : Pôles Axelera, Elopsys, LyonBiopole, Microtechniques, Minalogic, OpticsValley, System@tic, Canceropole Clara

## Position de la France

Avec une cinquantaine de laboratoires travaillant dans le domaine des capteurs, la France apparaît en pointe sur ce sujet au niveau académique. Par contre, il n'existe pas réellement aujourd'hui de filières industrielles « capteurs ». Le tissu industriel est diffus, témoignant d'un manque réel sur cette thématique au niveau industriel : à titre d'illustration, on ne dénombre qu'une petite dizaine de PME dans le domaine des capteurs chimiques. Le manque de sociétés présentant des compétences d'intégration nous positionne en retrait sur ces marchés.

La France doit actuellement faire face à une concurrence croissante des laboratoires de recherche et des industriels américains qui intensifient leurs efforts sur les capteurs chimiques-biologiques (suite à la reconnaissance de la menace bioterroriste). Par ailleurs, l'Europe est également bien positionnée dans ce secteur, avec des acteurs industriels leaders comme Siemens (Allemagne), Applied Sensor (Suède), City Technology (Angleterre).

Pourtant, les opportunités de développement existent puisque la France possède un grand nombre d'acteurs de dimension internationale utilisateurs de cette technologie (secteurs des gaz industriels, de l'automobile...).

Cependant, la situation évolue avec par exemple, au sein du pôle Axelera, la mise en place d'une plate-forme environnement-procédés où utilisateurs et fournisseurs pourront collaborer.

## Analyse AFOM

### Atouts

Nombreux acteurs utilisateurs de la technologie (automobile, chimie, environnement, etc.), des acteurs importants dans la fabrication de MEMS.

### Faiblesses

Pas de leader international, seulement un tissu de PME.

### Opportunités

Développement des matériaux intelligents et des capteurs dans toutes les applications quotidiennes, développement des applications pour la défense et la sécurité.

### Menaces

Développement de solutions bas coût étrangères ; absence de normalisation.

## Recommandations

Le développement des capteurs passe par deux approches :

- assurer la diffusion des solutions existantes mettant en place des plates-formes d'intégration et des démonstrateurs pour faciliter les relations PME-grands groupes ;
  - favoriser le développement de nouvelles générations de capteurs. Dans ce cadre, il y a un besoin de développer des technologies associant MEMS et NEMS pour servir les futurs besoins de capteurs à très bas coûts des applications grand public et, à plus long terme, des technologies NEMS pour des capteurs d'analyse biochimiques.
- Par ailleurs, la diffusion des capteurs auprès des PME implique la mise en place d'un soutien aux PME dans les opérations de normalisation.

## Liens avec d'autres technologies clés

1

7

16

31

82

### Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input checked="" type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

<input checked="" type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input type="radio"/>	Fort



## 9. Procédés membranaires

### Définitions

Une membrane est une barrière matérielle qui permet le passage sélectif de certains composés sous l'action d'une force agissante. Cette barrière peut être constituée d'un film polymère, céramique ou encore métallique. Il existe plusieurs forces de transfert :

- gradient de pression : microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse et perméation gazeuse ;
- gradient de concentration : dialyse, hémodialyse et membranes liquides ;
- gradient d'activité combinant pression et concentration : pervaporation ;
- gradient de potentiel électrique : électrodialyse conventionnelle, à membrane bipolaire ou encore électro-électrodialyse.

L'évolution des procédés membranaires est encore freinée par les coûts d'investissements qui restent élevés pour une durée de vie limitée des membranes. Le colmatage des membranes est problématique car il entraîne une diminution de l'efficacité du procédé (baisse de flux) et requiert alors des opérations de lavage.

### Description

Les caractéristiques des membranes sont déterminées par deux paramètres : la perméabilité et la sélectivité.

Cependant, toutes les possibilités des procédés membranaires n'ont pas encore été explorées. En particulier, leur couplage avec d'autres procédés de séparation, comme le couplage procédé membranaire-distillation, est un domaine encore relativement peu étudié. On parle alors de procédés hybrides.

Les membranes ont été utilisées de manière historique pour la séparation et la filtration des particules en milieux liquides ou gazeux. Cependant, avec le développement de nouveaux matériaux, elles peuvent aujourd'hui être exploitées en tant que « contacteurs ». C'est alors la capacité des membranes à générer une interface entre des phases, qui doivent échanger de la matière ou de l'énergie, qui est exploitée. Ces interfaces peuvent être aussi utilisées comme « supports de réaction ».

Le développement de l'usage intensif de la simulation, pour prévoir les performances des membranes, est nécessaire afin d'assurer leur développement rapide dans les procédés.

### Applications

De nombreux secteurs requièrent l'utilisation de membranes pour séparer les constituants d'un milieu : l'environnement, l'agroalimentaire, le secteur pharmaceutique, la chimie mais aussi l'industrie du textile, du papier ou encore certains acteurs de la filière métallurgique.

En particulier dans le secteur de l'environnement, les membranes sont un élément essentiel dans le traitement de l'eau et des effluents. Mais elles peuvent aussi assurer la séparation et le traitement de gaz issus de la pétrochimie ou de procédés chimiques. Concernant l'énergie, c'est par le développement de membranes spécifiques que pourra s'amorcer l'essor des piles à combustible.

En 2010, le marché mondial des produits membranaires de microfiltration utilisés dans les séparations liquides a été estimé à 1,2 Md\$. Avec un taux de croissance évalué à 8 % au cours des cinq prochaines années, le marché pourrait atteindre 1,8 Md\$ en 2015.

En particulier, le secteur des bioprocédés et des applications pharmaceutiques connaîtra la croissance la plus rapide. Ce marché, évalué à environ 600 M\$ en 2010, devrait connaître un taux de croissance de 10 % pour atteindre 1 Md\$ en 2015 [14].

### Enjeux et impacts

Au-delà des applications qui permettent de répondre à des enjeux environnementaux, comme le traitement des eaux ou le dessalement de l'eau de mer, les procédés membranaires se retrouvent généralement dans des étapes clés des procédés industriels telles que la séparation, la purification ou la concentration de la matière.

L'utilisation des membranes présente plusieurs avantages, dont un coût d'exploitation modéré, une utilisation réduite d'énergie et un respect plus poussé de l'environnement. En effet, les procédés membranaires sont pour la plupart isothermes et évitent l'ajout de produits chimiques. De plus, ils minimisent les rejets de polluants et facilitent le recyclage intégral.

### Acteurs

#### Principaux acteurs français

- **R&D** : IEM (Montpellier), Insa Toulouse, Université de Paul Sabatier, Inra (Paris, Rennes), Ensic, CEA, IFP, Université de Marseille (Philippe Moulin)
- **Utilisateurs** : Air Liquide, Aqua Source (Filiale Suez), Ceramem (Veolia eau), CTI, Danone, Polymem, Stereao (filiale de La Saur), Tami
- **Centres de compétences** : Pôles Axelera, Trimatec, les pôles EAU (création en 2010, coordination à Montpellier), et l'EMH au niveau européen

### Position de la France

La France est en retard au niveau de la production de membranes. En particulier sur les membranes organiques, où l'industrie française reste absente, à l'image de l'Europe. Toutefois, pour les membranes inorganiques, la France est assez bien positionnée.

De plus, nous bénéficions d'utilisateurs importants en environnement (Veolia et Suez) et en agroalimentaire, où les membranes sont de plus en plus requises (stérilisation membranaire du lait).

La France est en retard sur le transfert industriel des résultats académiques en matière de membranes, bien qu'elles bénéficient d'un potentiel de recherche important.

Cependant, le secteur se dynamise, en particulier avec des initiatives telles que Mem'P (Membranes pour les PME) qui vise à soutenir le développement des technologies membranaires dans des PME.

Cette action de diffusion inédite en Europe peut permettre de replacer la France en tête sur des marchés nouveaux de l'agroalimentaire et de l'eau.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

## Analyse AFOM

### Atouts

En pointe tant au niveau de la R&D que de l'utilisation des membranes ; bonne position française sur les membranes inorganiques.

### Faiblesses

La majeure partie de la production des membranes est réalisée à l'étranger (en particulier aux USA et désormais aussi en Chine avec des efforts et des capacités de plus en plus marqués).

### Opportunités

Un marché en croissance notamment dans les secteurs des sciences de la vie ; le développement de nouvelles membranes grâce à l'apport des nanotechnologies ; une action collective DGCS (qui s'achève fin 2010) sur les technologies membranaires devrait amorcer un cycle de valorisation de la recherche en milieu industriel.

### Menaces

Manque de connections entre les actions françaises et européennes ; au niveau des PME innovantes le risque est le rachat par les groupes étrangers dès que leur produit semble intéressant. Efforts allemands très importants pour se remettre à niveau en la matière.

## Recommandations

Il est nécessaire de développer les procédés membranaires hybrides (réalisant un traitement du soluté en même temps que la filtration membranaire par exemple).

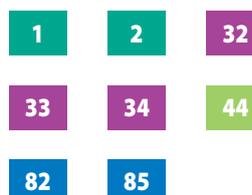
De plus, il s'agit de parvenir à réaliser plus d'échanges entre les milieux professionnels et académiques afin de confronter et rapprocher les envies des laboratoires (avenir) et des industriels (diffusants).

De grandes forces en nanomatériaux existent en France. La complémentarité possible avec les technologies membranaires n'est pas exploitée alors que de nombreuses évolutions de la technologie sont envisageables. Le décloisonnement des secteurs et des recherches est nécessaire. En particulier, l'association des technologies membranaires et des nanomatériaux serait un atout pour le développement de l'intensification des procédés.

La gestion de la recherche et de l'industrie devrait être complètement coordonnée afin que les laboratoires français puissent répondre de manière optimale aux attentes des entreprises. Cela pourrait être mis en place via des comités entre les ministères de la recherche et de l'industrie ou encore avec l'aide d'Oséo.

Au niveau européen, il s'agit de développer les connexions entre les actions européennes et les pôles de compétitivité français. En effet, il n'existe actuellement que trop peu de coordination des pôles avec les politiques européennes. Cela rejoint les recommandations déjà formulées par différents rapports d'évaluation pour une meilleure coordination des actions entre pôles et une ouverture accrue vers l'international. Dans le domaine des membranes notamment, on citera l'axe « membrane » du pôle Trimatec, et les pôles plus utilisateurs comme le nouveau pôle mondial « Eau » ou bien encore Axelera pour la chimie.

### Liens avec d'autres technologies clés



#### Maturité (échelle TRL)

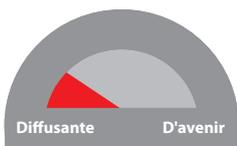
<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input checked="" type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

#### Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input type="radio"/>	Dans le peloton
<input checked="" type="radio"/>	En retard

#### Potentiel d'acteurs en France

<input checked="" type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input type="radio"/>	Fort



# 10. Fabrication rapide

## Définitions

La Fabrication rapide, ou prototypage rapide, regroupe un ensemble d'outils et de technologies de mise en couches des structures et produits. À partir d'un modèle de conception assistée par ordinateur (CAO), il est possible de réaliser tout type d'élément, en particulier avec des architectures complexes.

La pièce est produite par dépôt, polymérisation ou fonte de couches successives de matière première organique, minérale ou métallique. Il est ainsi possible de réaliser des pièces dans les matières habituelles telles que le plastique, la céramique, le métal.

La fabrication rapide intègre l'optimisation de trois notions essentielles :

- le temps, par la réduction des phases de développement des produits ;
- le coût, grâce à des outillages moins onéreux, tout en garantissant les performances du produit final ;
- la complexité des formes, irréalisables par des procédés classiques tels que l'usinage.

## Description

Différentes approches technologiques ont été développées dans le cadre de la fabrication rapide additive. En particulier : la stéréolithographie, la construction laser additive directe ou CLAD, la fabrication d'objets stratifiés ou LOM (*Laminated Object Manufacturing*), la modélisation par dépôt de fil en fusion ou FDM (*Fused Deposition Modeling*), la stratoconception ou encore l'impression 3D.

La prochaine étape clé dans le développement du prototypage rapide est la réalisation de micro-usines personnalisées (MUP). Ces MUP seront utilisables directement par tous les professionnels effectuant du développement de produits et ayant besoin de réaliser des prototypes ou des courtes séries.

Il est important de souligner que le prototypage rapide est étroitement lié à l'essor des technologies d'acquisition des formes en 3D. Des solutions utilisables manuellement, produites par l'entreprise Creaform, leader mondial dans ce domaine, apparaissent au Québec.

## Applications

Les applications peuvent intégrer de nombreux domaines, en particulier l'automobile qui représente 30 % du marché. Les autres secteurs concernés sont l'aéronautique, le biomédical, l'électronique, l'énergie, le luxe, mais aussi les services de production pour les professionnels et les particuliers.

D'autres applications sont aussi possibles en ameublement, chirurgie, arts plastiques, bijouterie ou encore dans la fabrication de jouets.

Bien que souvent associées à la réalisation de prototypes, les technologies de fabrication rapide permettent également de produire des pièces en série. En particulier, pour des applications dans le domaine de la santé telles que les appareillages auditifs ou les prothèses dentaires.

Le marché mondial de la fabrication rapide s'élèverait en 2010 à plus de 1 Md\$, dont 50 % seraient liés aux services réalisés [15].

L'impression 3D enregistre la croissance la plus rapide bien qu'elle ne représente encore qu'un marché de niche (prototypes, création artistique).

## Jeux et impacts

Le développement des nouveaux produits, essentiel pour la compétitivité des entreprises, s'inscrit dans un contexte de marchés évoluant rapidement avec la nécessité d'optimiser les investissements. Une gestion rigoureuse des méthodes de développement de produits s'avère indispensable pour satisfaire les exigences techniques et économiques.

Parmi ces méthodes, l'ingénierie simultanée et concurrente permet le développement conjoint du produit et de ses moyens de production en intégrant le marketing, la recherche, la spécification, la conception et le prototype.

L'avantage de cette technologie est sans conteste la réduction des délais de fabrication. Plus la pièce est complexe et plus la différence avec une fabrication dite conventionnelle s'accroît. De plus, la fabrication rapide apporte de nouvelles possibilités en permettant de réaliser des pièces sans moule ni matrice.

Avec une chaîne numérique continue, la fabrication rapide, au travers des méthodes et des moyens qui y sont associés, permet à l'ensemble des acteurs qui gravitent autour du produit de tester au plus tôt des solutions alternatives (aspect, ergonomie, procédés, optimisation).

Ainsi, la fabrication rapide est un secteur à fort potentiel d'emplois et de création de services pour répondre à des utilisateurs devenus de plus en plus exigeants quant à l'adéquation du produit à leurs attentes.

De plus, étant économe en matière première comparé aux autres techniques de production, la fabrication rapide peut être considérée comme une technologie « propre ».

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : CEA Leti, CNRS Cemes, Cetim (Saint Etienne), UTBM (LERMPS), Cirtes
- **Intégrateurs-utilisateurs** : Acteurs de l'AFPR et CADVision, Kallisto, MG2 Systems, Dassault System, Phenix Systems, Irepa Laser, Phidias
- **Centres de compétences** : Pôles EMC2, Plasturgie, ViaMéca et Manufuture à l'échelle européenne

## Position de la France

La France fait partie des acteurs mondiaux actifs en fabrication et prototypage rapide. En effet, l'Association française de prototypage rapide (AFPR) est membre fondateur de la Global Alliance of Rapid Prototyping Associations (GARPA) qui rassemble à l'échelle mondiale les acteurs du secteur. De plus, les cursus des écoles Centrales et Mines sont à la pointe sur l'utilisation du développement en prototypage rapide ; l'École des mines se concentrant plus sur la recherche et le développement de nouvelles machines.

En France, les entreprises réalisant du prototypage rapide et de la prestation de service en prototypage rapide rassemblent entre 50 et 70 acteurs industriels.

### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

L'entreprise Phenix Systems, productrice de solutions de prototypage rapide par frittage laser de poudres métalliques, est leader mondial sur son marché. Cependant, seules trois entreprises françaises sont productrices de technologies, bien que notre recherche académique soit bien placée au niveau mondial. En effet, la France est reconnue pour son niveau technologique, l'AFPR et ses membres sont présents dans le septième PCRDT européen pour le *Rapid Manufacturing* (RM) et dans le programme Manufacture.

Cependant, la concurrence s'organise rapidement. À ce titre, on peut noter que le leader mondial américain 3D System a racheté, en 2010, deux entreprises françaises de prestation de services dans le domaine du prototypage rapide. Par ailleurs, le groupe allemand EOS, un des trois premiers acteurs sur le marché mondial, restructure sa production de machines de prototypage rapide vers l'industrie par la réalisation de machines industrielles (création de centres de production européens). Ils sont d'ores et déjà en mesure de proposer des offres spécifiques pour les prothésistes par exemple.

## Analyse AFOM

### Atouts

Position de pointe dans le domaine académique, tissu de PME actives, nombre important d'utilisateurs.

### Faiblesses

Reproductibilité, fiabilité, besoin très important de normalisation, pas de grand industriel français producteur. Le tissu industriel du prototypage rapide français est essentiellement composé de PME et de TPE.

### Opportunités

Des applications très variées, rapidité de fabrication avec tous types de matériaux, fabrication de produits sans frais fixes car la fabrication n'a pas recours aux moules.

### Menaces

Acteurs étrangers s'implantant en prestation de services sur le territoire, rachat des compétences françaises.

## Recommandations

Le besoin majeur de ce secteur est la normalisation. En effet, pour que les techniques de fabrication rapide soient utilisées par les industriels, elles doivent répondre aux contraintes industrielles et être donc normalisées.

Le secteur manque d'une entité structurante poussant le transfert industriel des technologies créées par la recherche académique. Ce pôle actif au niveau pratique serait une vitrine industrielle des capacités existantes en prototypage rapide.

Enfin, il y a un réel besoin de sensibiliser et de faciliter la diffusion de la technologie vers les PME-PMI pour lesquelles la fabrication rapide additive constituerait un outil incontournable.

## Liens avec d'autres technologies clés

67

69

### Maturité (échelle TRL)

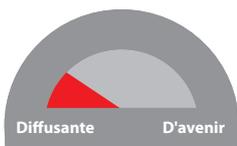
	Émergence (TRL : 1-4)
	Développement (TRL : 5-7)
	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

	Leader ou Co-Leader
	Dans le peloton
	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

	Faible
	Moyen
	Fort



# 11. Élaboration de composites

## Assemblage multimatériaux

### Définitions

Le matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles. Trois familles de matériaux composites peuvent être considérées : les composites à matrice organique (CMO), les composites à matrice céramique (CMC) et les composites à matrice métallique (CMM).

Les matériaux composites présentent l'intérêt de combiner des propriétés qu'aucun des composants pris séparément ne peut fournir.

L'engouement pour les matériaux composites repose en partie sur leur capacité à être des matériaux de performance multifonctions (par exemple légèreté et résistance mécaniques pour les applications transport).

La diffusion des matériaux composites dans des applications industrielles repose à la fois sur des innovations au niveau de leur élaboration mais également au niveau de leur assemblage.

### Description

Les évolutions dans l'élaboration de composites concernent l'amélioration de l'évaluation des défauts de structure afin d'assurer durabilité, fiabilité, réduction des coûts, augmentation des cadences de fabrication et accroissement de la complexité des pièces.

Des développements sont aujourd'hui engagés pour insérer des capteurs lors de la réalisation des pièces afin de suivre la régularité de l'évolution du matériau dans le moule, ou de suivre l'état de santé de la pièce lorsqu'elle subit des contraintes. D'autres voies étudiées concernent les fonctions d'auto-cicatrisation ou bien de changement de forme.

Les évolutions des technologies d'élaboration des composites sont en lien avec l'augmentation des préoccupations environnementales. Les réglementations visant à réduire les émissions de composés organiques volatils (COV) favorisent le développement et l'optimisation de nouveaux procédés afin de limiter les dégagements de vapeurs de solvants.

Par ailleurs, le recyclage des produits en fin de vie et la limitation des consommations en ressources non renouvelables sont au cœur des préoccupations. Cela conduit à l'introduction de nouvelles familles de produits comme les biomatériaux : PLA (résine), lin ou chanvre (charges ou fibres végétales...).

Les problématiques de l'assemblage multimatériaux sont en partie liées à l'association des composites avec des matériaux plus traditionnels (aéronautique). Les systèmes multimatériaux sont développés pour répondre aux exigences récentes des marchés (allègement, conductivité, esthétique, recherche de nouvelles fonctionnalités...). La réussite de l'assemblage nécessite de gérer de façon optimale les transmissions de contraintes et/ou les effets mécaniques.

Cela nécessite donc de bien comprendre comment ces différents matériaux fonctionnent. En conséquence, des évolutions sont attendues au niveau du collage (durabilité, fiabilité en milieux sévères...) ou bien au niveau des procédés « physiques » (soudage laser, soudage par friction, par faisceau d'électrons...).

### Applications

Le marché mondial des composites représentait 60 Md€ en 2008 avec un taux de croissance annuelle se situant entre 4 et 5 % (soit un marché de 85 Md€ en 2013). Dans ce marché en croissance, l'Inde et la Chine affichaient des croissances respectives de 14,5 % et 10 % en 2006 [16]. Le marché principal adressé par les matériaux composites à matrice métallique est l'automobile. En effet, ce sont plus de 50 % des composites métalliques qui sont

utilisés dans ce secteur. Suivent les industries électronique et de gestion thermique, l'aéronautique, le ferroviaire, le bâtiment, l'énergie, etc. La production mondiale de CMM était de 4 400 tonnes en 2008. Elle est estimée à 6 000 tonnes pour 2013 [17].

Les composites à matrice organique représentent aujourd'hui les volumes les plus importants à l'échelle industrielle. Au niveau mondial ce sont les marchés de l'automobile, de l'aéronautique et de l'énergie (énergie éolienne) qui vont croître le plus rapidement dans les prochaines années.

### Enjeux et impacts

Les composites répondent aux besoins actuels de nouveaux matériaux à haute performance tout en allégeant au maximum les pièces et tout en étant compétitif économiquement. Dans ce cadre, l'anticipation des performances de ces nouveaux matériaux grâce à la modélisation est clé. En aéronautique, il s'agit de savoir comment réagissent les composites, notamment en cas d'accident. La modélisation est aussi nécessaire pour améliorer la compréhension des comportements des matériaux à la contrainte afin d'assurer une meilleure durabilité et une fiabilité optimale de ces systèmes.

Au niveau des assemblages multimatériaux, les enjeux concernent aussi bien la maîtrise de l'assemblage en lui-même que la gestion des matériaux tout au long de leur cycle de vie. En particulier, la prise en compte des problématiques HSE concernant les colles utilisées en assemblage est actuellement perçue comme un verrou au développement.

Un des enjeux majeur de l'élaboration de composites et de l'assemblage multimatériaux est la prise en compte du recyclage des pièces. En effet, un des freins à l'utilisation des matériaux composites est le manque de filière de traitement ou de valorisation des déchets. Cela conduit parfois les industriels à se tourner vers des solutions plus classiques. Concernant l'assemblage multimatériaux, l'enjeu majeur concerne le désassemblage



#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

pour un recyclage techniquement et économiquement acceptable.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : Cetim, IFTH, CLFA, Composites et Systèmes, Creacol, CNRT-Multimatériaux, CTBA, Institut de soudure, Lermab Nancy, Onera, Rescoll, Mines de Douai
- **Intégrateurs-utilisateurs** : Acteurs du GPIC, Airbus, Allibert Equipement, Alsthom, Atofina, Axson, Air Liquide Welding, Bostik, Beneteau, Bretagne composites, Compositec, Compreforme, Dassault, DCN, EADS, Faurecia, Hussor, Hutchinson, Inoplast, Natec, Nief Plastic, Peguform, Plastim, Ocean composites, Rhodia, Saint-Gobain, Sogeplast, Sotira, Stratiforme, Stratim, SYMAP, Topflex
- **Centres de compétences** : Pôles Aerospace Valley, Arve Industries, Axelera, EMC2, Matéralia, PPE, PEP

## Position de la France

La croissance du marché français est faible comparée à celle de l'Inde et de la Chine. Cependant, avec environ un millier d'entreprises, majoritairement des PMI, et une filière structurée, la France se place en bonne position au niveau mondial sur les matériaux composites. Cette position résulte également d'un historique important dans l'aéronautique.

## Analyse AFOM

### Atouts

Forte connaissance des composites en particulier grâce au développement du secteur aéronautique français ; expertise reconnue en soudage et collage ; la France était le troisième producteur européen de composites en 2006.

### Faiblesses

Peu de connaissances sur le vieillissement des matériaux et de l'assemblage ; manque de modélisation et pas de filière pour le recyclage.

### Opportunités

Allègement des structures avec conservation des performances ; l'assemblage multimatériaux est une tendance globale du secteur ; nouvelle filière de recyclage à créer.

### Menaces

L'industrie des matériaux composites devra intégrer les contraintes du développement durable à l'horizon 2015 (recyclage automobile) ; forte croissance des productions indiennes et chinoises de composites dont la qualité est croissante.

## Recommandations

La prise en compte du recyclage des nouveaux matériaux composites dès la conception est nécessaire à l'essor de leur utilisation dans tous les domaines d'applications. Par ailleurs, la réalisation d'un référencement des qualifications des PME offrant des solutions dans ce domaine est nécessaire car ces sociétés souffrent aujourd'hui d'un manque de visibilité auprès des donneurs d'ordre du secteur des transports (aéronautique, ferroviaire...). Les matériaux composites pourraient bénéficier de la mise en place d'une filière structurée favorisant les rapprochements des PME et des grands groupes et la diffusion des composites dans le tissu industriel régional. En ce qui concerne l'assemblage multimatériaux, il convient de prévoir le désassemblage dès la conception, faute de quoi le recyclage est impossible. La prise en compte simultanée de l'assemblage et du désassemblage dès la conception est l'un des verrous de l'éco-conception.

### Liens avec d'autres technologies clés

1

8

37

68

### Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input checked="" type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

<input checked="" type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

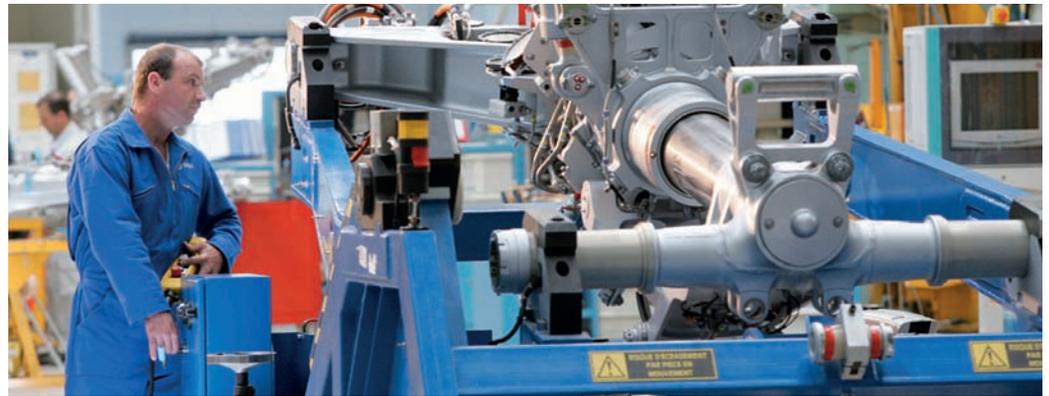
<input type="radio"/>	Faible
<input checked="" type="radio"/>	Moyen
<input type="radio"/>	Fort



## 12. Contrôle non destructif

### Définitions

Le contrôle non destructif (CND) est un ensemble de méthodes qui permettent de caractériser l'état d'intégrité de structures ou de matériaux, sans les dégrader. Le CND assure désormais la surveillance des équipements au cours de la production, en cours d'utilisation ou encore dans le cadre d'opérations de maintenance et d'expertise. Le contrôle non destructif rassemble des méthodes et techniques variées de caractérisation et d'analyse des matériaux. Les plus courantes sont : le contrôle par ressuage, la magnétoscopie, les courants de Foucault, la radiographie, la tomographie (scanner 3D), les ultrasons, l'émission acoustique, la thermographie infrarouge, l'endoscopie et l'étanchéité.



### Description

Le développement des nouveaux matériaux, notamment composites, justifie des besoins croissants en contrôle non destructif. En effet, le comportement de ces matériaux vis-à-vis de l'impact, de la présence de défauts et/ou d'endommagements reste parfois méconnu. Les méthodes de CND devront permettre la caractérisation de ces matériaux afin d'assurer la fiabilité et de contrôler les performances des structures et ouvrages les utilisant. Cette technologie s'inscrit ainsi dans une démarche de gestion durable des matériels et installations, et de maîtrise des risques inhérents à leur utilisation.

L'évolution des méthodes de contrôle non destructif passera également :

- par la mise en place de techniques *in situ* et en temps réel. Cela permettra d'évaluer l'endommagement et le vieillissement des structures en continu ;
- par l'exploitation des nouvelles avancées en physique qui pourront être rapidement valorisées en nouveaux capteurs et méthodes de CND (thermoélectricité par exemple).

### Applications

Le contrôle non destructif s'intègre dans les systèmes de surveillance, de pilotage et de maintenance existants. La caractérisation des matériaux par contrôle non destructif présente deux applications principales :

- la détection et le dimensionnement des défauts dans une pièce ou un assemblage ;
- la mesure indirecte des caractéristiques du matériau (résistance, dureté, etc.).

Les secteurs aéronautique-aérospatial et nucléaire sont les premiers utilisateurs de CND. Les autres utilisateurs sont l'industrie automobile, le contrôle des infrastructures, la chimie et la pétrochimie, les industries agro-alimentaires (maintenance prédictive).

En amont des développements industriels des secteurs concernés, il est possible de réaliser des prestations de

services de CND de produits, de caractérisation de matériaux et de maintenance. Ces prestations s'adressent principalement aux industriels, organismes officiels et aux laboratoires de recherche.

Les principaux utilisateurs du CND restent les grandes entreprises, plutôt que les PME-PMI, en raison du coût d'accès à la technologie.

L'enquête menée par la Confédération française pour les essais non destructifs (Cofrend) auprès de ses adhérents en 2007 indique que le CND représente un marché bien supérieur à 300 M€ en France répartis essentiellement entre la vente d'équipements et les prestations de services. La répartition de l'activité est la suivante : prestations et contrôles dans l'industrie (45 %), fabrication et vente d'équipements (21 %), R&D (19 %), formation (15 %) [18].

### Enjeux et impacts

Dans un environnement industriel de plus en plus exigeant en termes de délais, qualité et sécurité, les contrôles non destructifs se révèlent toujours plus nécessaires à la maîtrise de la qualité industrielle. Par ailleurs, les méthodes de CND assurent un gain de temps de contrôle, notamment grâce aux technologies ultrasonores et courants de Foucault multiéléments.

Le CND offre la possibilité de contrôler à 100 % les matériaux de façon automatisée ou robotisée, ou encore dans des zones inaccessibles, ou sur système de surveillance. De la même manière, le contrôle non destructif permet une mesure et un suivi des contraintes.

Le contrôle non destructif est indispensable pour prouver la qualité et la conformité des produits, vérifier la santé matière des équipements et des installations.

De plus, connaître la durée de vie d'un matériau utilisé dans une structure en analysant son comportement est un enjeu majeur pour la maîtrise de la durabilité et de la fiabilité des pièces en service.

Le développement du contrôle non destructif passe

#### Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

#### Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

également par la mise en place d'offre de services associés (développements de logiciels d'accompagnement), par l'automatisation et l'augmentation du nombre de matériaux pouvant être testés afin de diminuer le coût d'accès à cette technologie.

Les technologies associées au CND sont constamment en développement afin d'accroître les performances des capteurs et la fiabilité des résultats. C'est la raison pour laquelle des méthodes couplant plusieurs des techniques actuelles sont développées. On note à titre d'exemple des recherches concernant les méthodes électromagnétiques acoustiques ou ultrasonores. Sont également étudiés les techniques d'imagerie magnéto-optiques qui se présentent comme une alternative prometteuse aux méthodes de contrôle par courant de Foucault.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : CEA List, Cetim, Cédrat, CTIF, Institut de Soudure, LCPC, Plateforme de recherche ECND-PDL
- **Intégrateurs-utilisateurs** : BabbCo, Cegelec, BFI OPTILAS, EuroMev, GE Inspection Technologies, M2M, Metalscan, Mistras, Olympus, Sofranel, Spectroscan et AREVA, EADS, wncema
- **Centres de compétences** : Aerospace Valley, Matériaia, Cofrend, EMC2, PNB, Xylofutur et l'EFNDT (European Federation for Non-Destructive Testing)

## Position de la France

La France est bien positionnée dans le domaine du contrôle non destructif avec une position très forte du CEA avec son logiciel et un tissu industriel important (grands groupes et une trentaine de PMI). Ce positionnement est renforcé par l'importance des filières aéronautique, nucléaire et composites, premiers utilisateurs de la technologie CND. L'activité CND française rassemble environ 5 000 personnes. D'autre part, sur ce marché, les États-Unis sont également bien positionnés et les pays asiatiques connaissent des croissances de développement importantes.

## Analyse AFOM

### Atouts

Logiciel de simulation Civa développé par le CEA et utilisé par de nombreux acteurs du CND. Dynamisme et innovation de nombreuses PME leaders dans leur segment.

### Faiblesses

Coûts d'acquisition et de mise en œuvre importants. Problèmes de compatibilité des systèmes de commande des robots de positionnement avec les exigences des capteurs de mesure. Pérennité limitée des PME ; beaucoup de matériel nord-américain sur le marché (GE, Olympus).

### Opportunités

CND nécessaire dans de nombreux secteurs (automobile, aéronautique, bâtiment, etc.) et se révèle indispensable pour maîtriser la durabilité et la fiabilité des matériaux-structures. Développement et diffusion de l'automatisation et de la robotisation du CND. Les nouvelles possibilités de traitement du signal et les méthodes multiéléments permettront d'élargir le champ des applications du CND (exemple retournement temporel, non linéarité acoustique). Diffusion large des outils de modélisation et de simulation du contrôle. Développement de nombreux nouveaux capteurs innovants (imageurs magnétiques, capteurs flexibles). De plus, les industries les plus consommatrices de CND sont très présentes en France.

### Menaces

Certains pays européens investissent massivement dans la R&D : Grande-Bretagne (avec un équivalent ANR dédié au CND), Allemagne. Difficultés liées à la petite taille des PME du secteur. Développements bon marché venant de Chine ou de Corée.

## Recommandations

Il est nécessaire de réaliser une veille technologique poussée concernant les progrès des méthodes et des capteurs. Par ailleurs, ces évolutions technologiques et la complexification des problématiques industrielles nécessitent du personnel de plus en plus compétent.

La diffusion des technologies de contrôle non destructif peut être assurée via le développement de démonstrateurs et par la formation des utilisateurs industriels afin de soutenir et favoriser la mise en place de plates-formes technologiques à l'image du Centre de contrôle non destructif pour matériaux composite (Iseetech) inauguré en 2007.

Concernant les normes associées au CND, il s'agit de réaliser un accompagnement et un suivi des actions normatives, afin d'intégrer les exigences mécaniciennes dans les textes futurs.

### Liens avec d'autres technologies clés

11

47

67

68

### Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



## BIBLIOGRAPHIE

### Monographie :

#### Analyse de la position de la France

[1] Observatoire des sciences et des techniques, rapport biennal, 2008

### Technologies clés :

#### 1. Nanomatériaux

- [2] Étude du cabinet Lux Research, 2007
- [3] NSF : *Societal Implications of Nanoscience and nanotechnology*, NSF, 2000, <http://www.wtec.org>
- [4] The Woodrow Wilson Center, *The project on emerging nanotechnologies*, <http://www.nanotechproject.org>

#### 2. Simulation moléculaire

#### 3. Biotechnologies blanches

[5] *Etude McKinsey*, 2006

#### 4. Microstructuration

- [6] Étude Alcimed : *Les microréacteurs, opportunités et applications pour les industries chimiques*. 2006
- [7] *Microreactor technology : a revolution for the fine chemical and pharmaceutical industries*, Chem. Eng. Technol. 2005

#### 5. Catalyse

- [8] *Catalyse, la chimie fine révisé ses réactions*, Industrie Pharma n°45, 2009
- [9] *Les métaux précieux. Cotation or, argent, platine et métaux précieux*, 2010. [www.orargent.com](http://www.orargent.com)

#### 6. Dépôt de couche mince

[10] Rapport de BCC Research. *Thin-layer Deposition: CVD*, 2008. [www.bccresearch.com](http://www.bccresearch.com)

#### 7. Matériaux fonctionnels, intelligents et de performance

[11] *Textiles Techniques, le futur se tisse en France*, DGE/UBIFRANCE, France, 2006

#### 8. Capteurs

- [12] Eetimes. *Huge growth seen for MEMS sensors, actuators*, 2008. [www.eetimes.com](http://www.eetimes.com)
- [13] Étude Yole Développement. *Mems&Sensors*, 2010

#### 9. Procédés membranaires

[14] BCC Research. *The Global Market for Membrane Microfiltration*, 2010. [www.bccresearch.com](http://www.bccresearch.com)

#### 10. Fabrication rapide

[15] Wohlers Associates, *Wholers Report 2010*, Monde, 2010

#### 11. Élaboration de composites - Assemblages multimatériaux

- [16] *Jec Composites : une filière sur la voie de la maturité*, 2010. [www.usinenouvelle.com](http://www.usinenouvelle.com)
- [17] BCC Research, *Metal Matrix Composites : The Global Market*, 2009. [www.bccresearch.com](http://www.bccresearch.com)

#### 12 : Contrôle non destructif (CND)

[18] Cofrend, *Enquête auprès des adhérents*, 2009

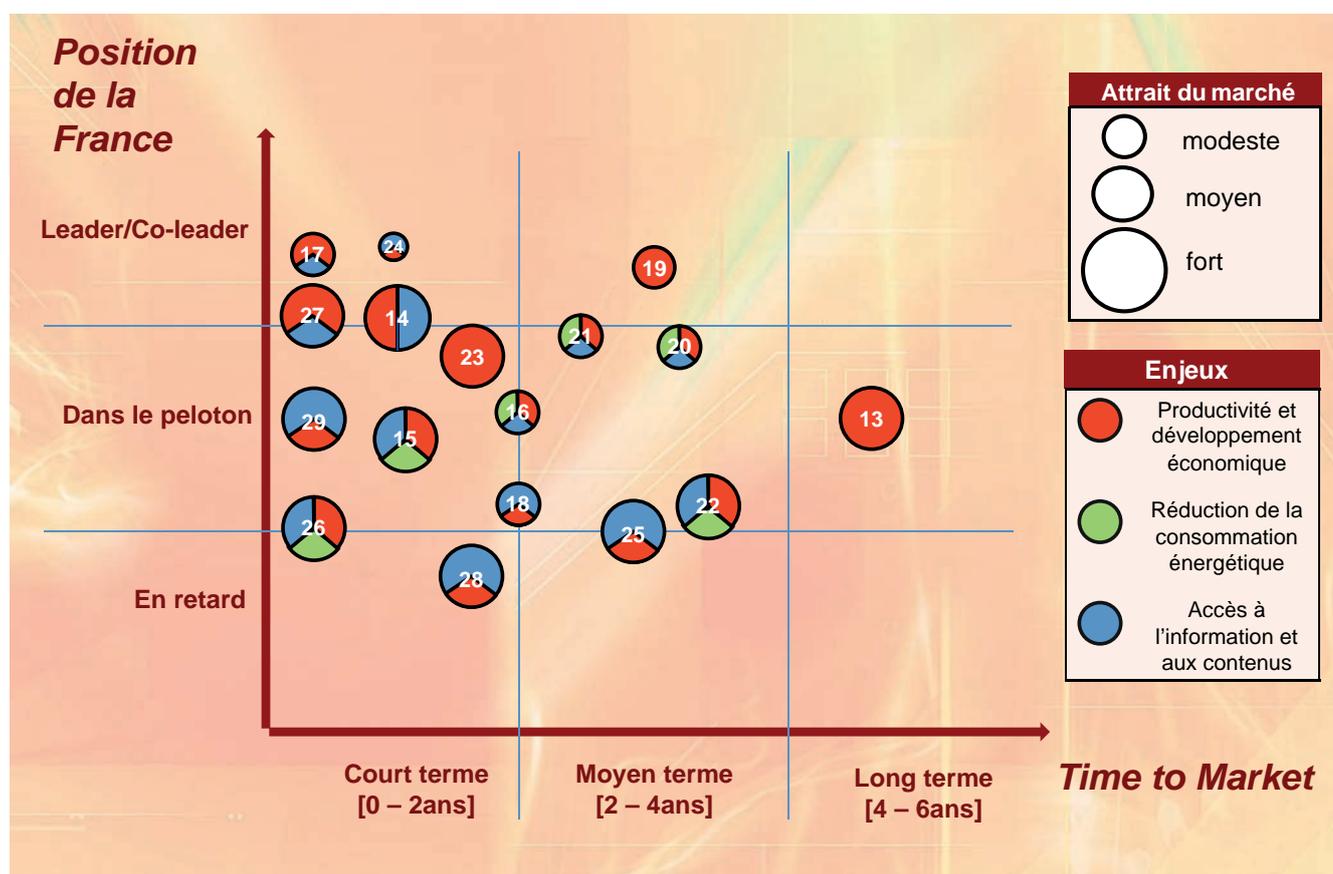


# Technologies de l'information et de la communication



# Technologies de l'information et de la communication

- 13. Robotique
- 14. Technologies réseaux sans fil
- 15. Réseaux haut débit optiques
- 16. Objets communicants
- 17. Technologies 3D
- 18. Interfaces homme-machine
- 19. Ingénierie de systèmes complexes et systèmes de systèmes
- 20. Calcul intensif
- 21. Progressive/Intelligent Manufacturing
- 22. Optoélectronique
- 23. Nanoélectronique
- 24. Technologies de numérisation de contenus
- 25. Sécurité holistique
- 26. Virtualisation et informatique en nuages
- 27. Logiciel embarqué et processeurs associés
- 28. Valorisation et intelligence des données
- 29. Portail, collaboration et communications unifiées



## Contexte et enjeux

Le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC) est devenu un segment majeur de l'économie des principaux pays industrialisés avec une contribution directe de 5,9 % du PIB en Europe (et 7,5 % aux États-Unis). Au-delà du secteur lui-même, les TIC contribuent au développement de tous les autres secteurs économiques, les TIC représentant en effet plus de 50 % de la croissance de la productivité en Europe (source : Commission Européenne).

Le développement du secteur des TIC s'est appuyé sur de grandes évolutions économiques structurantes. Les économies d'échelle et les progrès technologiques obtenus dans le cadre de la fabrication des composants et des terminaux qui permettent d'une part, de réduire les coûts unitaires et d'attirer logiquement plus d'utilisateurs, et d'autre part, d'en accroître fortement les performances (Loi de Moore : doublement des performances tous les deux ans depuis trente ans). La révolution numérique, avec la numérisation accrue des contenus et services et le développement de l'internet, a permis par ailleurs d'étendre très largement la diffusion des TIC au-delà des grandes entreprises auprès du grand public et des PME.

Les technologies numériques et IP (*Internet Protocol*) permettent de promouvoir de nouveaux modèles économiques (micro-paiement en ligne, abonnement illimité, etc.) ou d'améliorer considérablement les modèles existants (mesures statistiques dans la publicité, etc.). L'abonnement est particulièrement répandu dans les services TIC, permettant de réduire le risque de l'investissement initial et de garantir des revenus récurrents. Les TIC profitent ainsi des caractéristiques intrinsèques du numérique impliquant des coûts marginaux de stockage ou de duplication de l'information quasi nuls et de coûts de traitement et de communication très faibles.

Il est donc possible de bénéficier de coûts de transaction très faibles sur Internet (en comparaison des solutions hors ligne) et de proposer une combinaison à faible coût de différents contenus et services numériques, et de leurs données associées. Il s'agit ainsi de réutiliser des données ou informations déjà existantes en provenance de tiers (services commerciaux, services publics, etc.) sans avoir à recréer de zéro les données. La réutilisation de ces données, notamment les données personnelles, est donc au cœur des enjeux économiques pour diminuer le coût de développement des services. Elle soulève toutefois aussi des questions sur les limites des usages de ces données, encadrés en France par la CNIL. Les capacités de copie des données (brutes et contenus numériques) sont par ailleurs à mettre en balance avec le respect de la propriété intellectuelle.

Les TIC permettent aussi de répondre au moins en partie à de grands enjeux sociétaux comme notamment l'amélioration de la qualité de vie via l'accès et l'échange d'information, le développement durable (via la limitation des déplacements grâce aux échanges distants), la conservation du patrimoine ou encore la fourniture d'outils permettant d'accélérer le développement de nouveaux modèles d'innovation ouverte (*open innovation*). Ainsi l'APIE (Agence du patrimoine immatériel de l'État) numé-

rise ce patrimoine dans les différents ministères pour le pérenniser, mais le met aussi à disposition d'entreprises pour qu'elles créent de la valeur sur cette base, à l'instar de Lexsi.

Cette transversalité des TIC a été comprise par les différents acteurs du marché et les pouvoirs publics avec la création d'Allistene, alliance visant à décloisonner la recherche dans les TIC. Les modèles d'innovation ont en effet fortement évolué durant ces dernières années. La recherche dans les TIC a longtemps été structurée autour de grands laboratoires privés ou académiques et des initiatives publiques (CEA, Plan Calcul etc.), concentrant alors l'essentiel des ressources financières et des connaissances techniques. Avec la plus grande diffusion de la connaissance, la mobilité des travailleurs et l'appui de nouvelles sources de financement (capital-risque, etc.), la recherche s'est en partie déconcentrée. Si les innovations incrémentales sont encore développées par les laboratoires des grands groupes, les innovations de rupture viennent de plus en plus souvent de petites sociétés qui travaillent avec des laboratoires publics. Par ailleurs, le développement de certaines innovations, dans des cycles de vie de produits parfois très courts, est parfois extrêmement coûteux et/ou implique de nombreuses connaissances techniques alors qu'il est impossible de disposer de toutes les expertises. L'innovation nécessite donc une plus grande collaboration entre les différents acteurs.

Le secteur des TIC recouvre l'ensemble des filières relatives aux technologies, aux contenus et aux services numériques, soit :

- l'électronique industrielle et les composants ;
- l'électronique grand public, les équipements audio et vidéo par exemple ;
- le matériel informatique : serveurs, PC et périphériques, équipements de transmission de données ;
- les équipements de télécommunication : équipement de réseaux, terminaux, logiciels et services associés ;
- les logiciels et les services informatiques embarqués, infrastructure ou applicatifs, professionnels et grand publics (dont notamment jeux vidéo) ;
- les services Internet logiciel comme les moteurs de recherche ou les réseaux sociaux ;
- les services de télécommunication : téléphonie fixe et mobile ; transmissions de données ;
- les services et contenus multimédia : télévision, vidéo, cinéma, musique numérique, radio, livre numérique, etc. ;
- la simulation, la modélisation et le calcul intensif.

Selon l'Idate, le marché mondial des TIC a pesé 2 791 Md€ en 2009.

**Tableau 1 : Marché mondial des TIC**

Md€	2007	2008	2009	2010
Services de télécommunication	928	963	980	1 007
Équipements de télécommunication	225	237	226	236
Logiciels et services informatiques	605	636	619	625
Matériels informatiques	293	302	280	280
Services audiovisuels	258	272	269	282
Électronique grand public	242	259	254	254
Électronique industrielle et composants	184	194	163	209
Total	2 735	2 863	2 791	2 893

Source : IDATE, PAC et WSTS

Le secteur des TIC n'a pas échappé à la crise mondiale, accusant un recul de l'ordre de 1,6 % au niveau mondial (après des croissances de 4 à 7 % par an les années précédentes). Seuls les marchés émergents (qui pèsent environ 25 à 30 % des marchés TIC) ont affiché une croissance en 2009.

La plupart des sous-segments des TIC ont logiquement accusé une décroissance en valeur en 2009 tout en affichant toutefois de (parfois fortes) croissances en volume. Les perspectives restent cependant positives pour le secteur des TIC, avec une croissance attendue de 3,8 % par an d'ici à 2013.

## Les équipements de télécommunication

Les équipementiers répondent aux évolutions des réseaux fixes et mobiles par de nouveaux équipements toujours plus performants. Toutefois, la pression sur les prix reste forte en raison notamment de la crise et de mouvements de consolidation chez les opérateurs. Le segment des équipements télécoms a été l'un des plus affectés par la crise, avec un recul de 6 % en 2009.

La concurrence des acteurs chinois (ZTE, Huawei) et des acteurs comme Cisco et HP est par ailleurs de plus en plus forte et l'industrie ne compte désormais plus que quelques acteurs mondiaux, dont notamment le franco-américain Alcatel-Lucent et les européens Nokia, Siemens Network et Ericsson.

Les équipementiers s'adaptent aux exigences des opérateurs, désormais plus sélectifs, cherchant à réduire leurs coûts et à gagner en efficacité. Les dépenses s'orientent ainsi majoritairement vers les infrastructures tout-IP et les services managés. Les contrats d'externalisation des réseaux et de partage des infrastructures se multiplient, offrant un nouveau rôle aux équipementiers.

## Les équipements informatiques

Tout comme les équipementiers télécoms, les équipementiers informatiques sont engagés dans une course permanente à la performance stimulée par la pression sur les prix. La crise les a lourdement affectés avec une décroissance de près de 8 % de leurs revenus.

Le marché du matériel informatique reste très largement dominé par des constructeurs-assembleurs américains (HP, IBM, Dell, Apple...), leurs deux compétiteurs asiatiques (Lenovo, Acer) et quelques spécialistes locaux (Hitachi, Fujitsu-Siemens, Bull...). La plus grande partie des composants est fabriquée en Asie, en particulier à Taiwan.

Le marché se décompose en quatre types de matériels :

- les clients, les PC, les Mac, les terminaux passifs ;
  - les serveurs, le plus souvent sous OS Linux, Unix ou Windows, pour gérer centres de données et applications ;
  - les macroordinateurs ou serveurs centraux transactionnels, marché dominé par IBM, souvent le point central du système d'information d'un grand compte ;
  - les supercalculateurs, dévoués au calcul à haute intensité, en particulier dans les domaines scientifiques et militaires.
- Le marché se banalise fortement avec une demande qui, sous l'effet de l'informatique en nuage, s'oriente vers des centres de données automatisés et mutualisés reposant sur des matériels standardisés. De ce fait, la croissance attendue du marché d'ici à 2014 ne sera guère que de 1% par an.
  - L'autre changement majeur est la fusion progressive des marchés télécoms et informatique, une situation d'autant plus accentuée par l'utilisation croissante du *Cloud Computing* et des divers appareils mobiles. Ainsi, Cisco est rentré dans le marché des serveurs informatiques avec UCS (systèmes réseaux et informatiques intégrés pour centres de données) et HP a racheté 3Com, un concurrent l'Alcatel-Lucent.

## Les services télécoms

Le marché mondial des services télécoms (voix et données sur réseaux fixes et mobiles) est celui qui a le mieux résisté à la crise avec une croissance de l'ordre de 2 % au niveau mondial en 2009. Cette résistance forte provient notamment des pratiques d'abonnement très répandus sur le fixe comme sur le mobile. Toutefois, la plupart des marchés les plus avancés (sauf États-Unis, France et Corée du Sud) ont vu leurs revenus baisser en 2009.

Les marchés traditionnels de téléphonie sont en déclin, à l'instar de la téléphonie fixe. Les services mobiles, tirés par les développements dans les pays émergents, représentent d'ailleurs désormais la plus grande partie du marché (54 % des télécoms). De nouveaux marchés viennent toutefois prendre le relais des technologies traditionnelles, avec notamment le transfert vers l'IP autour du développement de la voix sur IP et de l'internet mobile, et surtout de l'accès haut débit (près de 20 % du marché total des télécoms).

Les marchés en Europe sont dominés par quelques acteurs paneuropéens (France Telecom, Telefonica, Vodafone, etc.) et des acteurs essentiellement locaux (Free, Bouygues Telecom, Fastweb, etc.).

Les opérateurs télécoms se sont engagés dans de nombreuses diversifications distribuées notamment dans leurs offres multi-produits (*triple play*, etc.), allant même jusqu'à proposer des services de contenu ou des solutions appliquées à d'autres industries (santé, énergie, etc.). Ces initiatives restent encore modestes en termes de revenus générés, mais illustrent les capacités d'innovation transversale des opérateurs autour de l'internet.

Si la dynamique des services télécoms reste forte, elle ne bénéficie toutefois que peu aux opérateurs télécoms et aux acteurs français, en dehors des services d'accès au réseau. Les acteurs dominants sur le service sont en effet le plus souvent des acteurs

nord-américains issus directement ou indirectement de l'industrie logicielle (Google, Facebook, Amazon, etc.). Grâce à l'internet, n'importe quel acteur peut en effet adresser à distance le marché mondial des services.

## Les services et contenus médias

Le secteur des médias et des contenus accélère sa migration vers l'internet, aussi bien dans les solutions ouvertes que sur les services managés des opérateurs (télévision sur IP, etc.). Le marché mondial n'a pas échappé à la crise avec un recul par exemple des services de télévision de 1,2 % en 2009, notamment du fait de la baisse de la publicité (- 9,5 %). Le marché doit aussi faire face à des difficultés plus structurelles avec une destruction de valeur avec le passage au numérique (découplage, piratage, etc.).

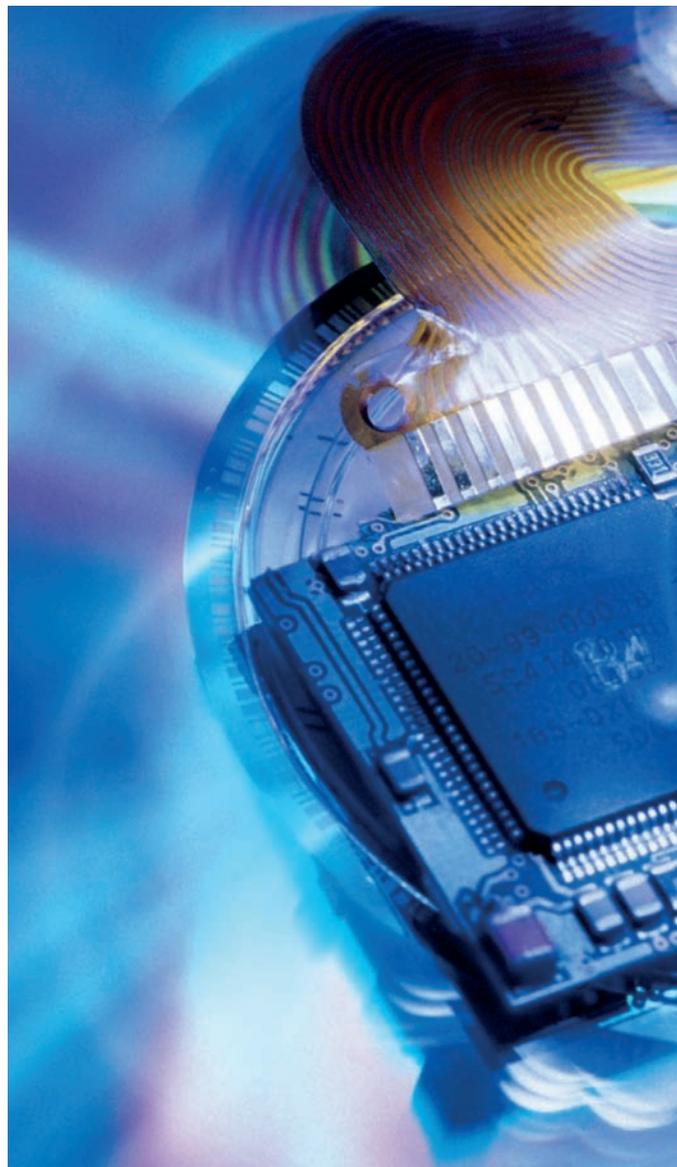
Le secteur de la vidéo s'organise différemment en fonction de la nature des contenus. Les contenus de qualité (dits premium), via par exemple la télévision à péage ou plus marginalement par la vidéo à la demande autour des films, des séries ou du sport, bénéficient encore d'une forte croissance et génèrent des revenus élevés. Les autres contenus sont monétisés par la publicité, qui bénéficie essentiellement aux plus gros acteurs et reste très dépendante de l'environnement économique global mais aussi des évolutions des différents supports de publicité (média, hors média, etc.). Le développement de solutions de télévision de rattrapage (*catch-up TV*), offerte par de nombreuses chaînes et opérateurs, offre aussi de nouveaux relais de croissance pour le développement de la publicité.

Enfin, si les contenus générant des revenus importants sont encore fortement d'origine professionnelle, la production de contenus amateurs et/ou personnels est devenue très forte en volume, entraînant une forte explosion du contenu disponible et consommé.

Les marchés européens sont généralement dominés par des acteurs essentiellement nationaux (TF1, BBC, etc.) en ce qui concerne la diffusion des contenus (radio, télévision, presse numérique, etc.) et la production locale. Les acteurs nord-américains jouent toutefois un rôle majeur dans la production de contenus (films, séries, musique, etc.), avec une diffusion quasi mondiale permettant de disposer de ressources accrues, qui sont ensuite en partie investies dans des technologies de pointe. Des acteurs majeurs locaux sont par ailleurs bien positionnés sur la distribution de contenus numériques avec un rayonnement international comme Dailymotion, Deezer, Spotify.

## Les services Internet

L'usage du Web sur fixe et plus récemment sur mobile (via un navigateur web ou des applications) est désormais ancré dans le marché de masse, les plus jeunes passant même désormais plus de temps sur Internet que devant le téléviseur. Les services comme la messagerie électronique, les moteurs de recherche, le commerce électronique, les réseaux sociaux ou la vidéo en ligne sont particulièrement populaires.



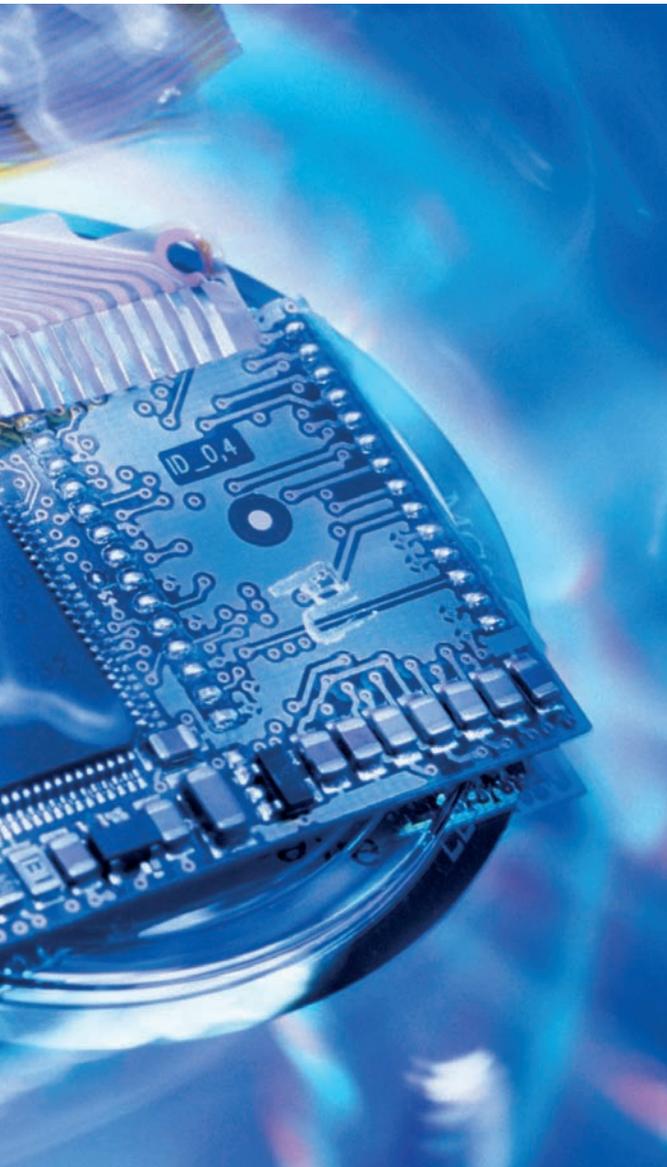
Internet se développe notamment grâce aux différents modèles publicitaires d'affichage (*i.e.* publicité média) et de liens sponsorisés (*i.e.* publicité hors média ; Google étant la référence sur ce dernier point talonné par Facebook), combinant ainsi des outils statistiques avancés de mesure de la performance avec des services populaires générant de nombreuses données et de pages vues.

Le marché de la publicité en ligne a été affecté par la crise mais reste en bonne croissance (+12 % malgré la crise). Disposant des services les plus populaires, les acteurs nord-américains dominent le marché en ligne.

## La publicité

La publicité n'est pas à proprement parler un segment du secteur TIC, mais un des modèles économiques majeurs, notamment pour les médias et le Web. La croissance du temps passé sur les différents supports permet d'ailleurs de proposer désormais des solutions transverses à différents supports.

Le marché de la publicité qui permet de créer de la notoriété autour de ses produits et services ou de générer des ventes est très directement lié à la bonne santé économique des annonceurs de tous les secteurs. La crise économique s'est matérialisée par un déclin de nombreux marchés publicitaires (TV, presse,



amplifié par une migration vers l'internet.

Au-delà de l'impact en termes de revenus, l'internet a des conséquences directes sur le marché de la publicité traditionnelle qui en adopte de plus en plus les principes (outils, mesure de la performance, etc.).

Dans le domaine des régies et des agences publicitaires, que ce soit sur des supports média traditionnels ou numériques, la France dispose d'acteurs de référence comme Publicis.

### Les logiciels

Le segment du logiciel est celui où la valeur ajoutée est la plus forte. Mais, à l'instar d'un grand nombre de segments informatiques, il se banalise et se consolide assez vite. Simultanément, le logiciel apporte une valeur ajoutée de plus en plus importante au sein d'autres industries : il représente ainsi 30 % de la valeur ajoutée d'un A 380 d'Airbus et jusqu'à 20 % de la celle d'une Série 7 de chez BMW.

Ce marché se segmente en trois niveaux selon le niveau de valeur ajoutée et les volumes (son corollaire, qui y est inversement proportionnel) :

- logiciels banalisés (navigateurs, bureautique, utilitaires...);
- progiciels (SAP, Catia, Oracle BD...);
- développement spécifique (avionique, systèmes de *scoring* financier...).

Ce marché est structuré en couches, dont les plus hautes, celles avec qui interagissent les utilisateurs, dépendent des couches les plus basses. Ces couches sont :

- les logiciels applicatifs, qui sont utilisés par l'utilisateur final (métier, progiciels intégrés, bureautique...);
- les logiciels outils, qui servent à développer et gérer les applications et les données;
- les logiciels systèmes, qui servent à opérer et gérer les matériels informatiques.

Ce marché, comme bien d'autres, a été révolutionné par l'arrivée concomitante d'Internet et de la « serviciation ». Internet a permis l'éclosion de concepts comme l'informatique en nuages, le logiciel libre mais aussi une distribution toujours plus poussée du calcul et du stockage. Cette même distribution s'est trouvée être le cœur des architectures orientée services ou SOA en anglais, le modèle actuel du développement logiciel, celui où le logiciel est « servié ».

SOA, l'informatique en nuage et logiciel libre redistribuent les cartes sur un marché qui devenait oligopolistique et très largement dominé par les entreprises américaines, en particulier sur les couches d'infrastructures (nécessaires aux applications) ou *middleware*, c'est à dire les logiciels outils et systèmes. Ces trois concepts peuvent être des moyens forts pour que l'Europe et la France en particulier, comble leur retard.

La crise a vu le marché se contracter de 5 % en 2009, mais le taux de croissance annuel moyen pour les années à venir devrait tourner aux alentours de 3 à 5 % en France et en Europe de l'Ouest.

### Le jeu vidéo

Le jeu vidéo représente l'essentiel du marché grand public du logiciel, avec environ 5 % du marché du logiciel (environ 38 milliards d'euros en 2010). Il a ainsi dépassé le marché mondial du cinéma.

L'évolution du marché est très liée aux phénomènes cycliques d'apparition de nouvelles plateformes (Wii, PS3, etc.), mais la croissance reste forte grâce aux développements sur de nouveaux supports : jeu sur mobile et jeu en ligne (des jeux massivement multijoueurs aux jeux basiques financés par la publicité en passant par les mondes virtuels et les jeux sur réseaux sociaux).

Près de 40 % des revenus de l'industrie proviennent désormais de solutions dématérialisées. La dynamique reste globalement forte pour la partie logicielle, alors qu'elle est plus mitigée pour les ventes de matériel, les consoles étant concurrencées par des terminaux non dédiés (téléphone mobile, tablette, etc.).

Le jeu vidéo est un secteur majeur en termes d'innovations, avec des retombées dans les autres secteurs, autour par exemple de la 3D (moteur, etc.) ou des interfaces hommes-machines.

### Les services informatiques

Les services informatiques sont très liés aux autres segments de l'informatique et notamment à celui du logiciel. Ainsi, le service informatique a suivi toute les vagues technologiques :

avènement du PC, Unix, arrivée des progiciels de gestion, vague Internet, SOA et maintenant l'informatique en nuage. Ces technologies, en devenant de plus en plus proches des besoins métiers, incorporent de plus en plus de services informatiques. Par conséquent, le service informatique n'a cessé d'augmenter sa part dans la dépense informatique globale des entreprises en passant de 29 % du marché IT total en France en 2000 à 36 % en 2009 (source PAC).

Les services autour des technologies de l'information représentent 350 000 emplois, soit les trois quarts des emplois de la filière TIC d'après le Syntec. C'est une filière très diplômée : 62 % de bac + 3, voire à 42 % de bac + 5. Cette tendance se renforce et les qualifications sont de plus en plus duales avec l'ajout de compétences métiers.

Les services informatiques se décomposent en plusieurs phases :

- amont (conseil, définition, conception...);
- projet (intégration, forfait, assistance, formation...);

• aval (maintenance, infogérance...).

On peut aussi segmenter les services informatiques, comme le logiciel, en trois segments selon leurs utilisations :

- applications ;
- outils ;
- systèmes.

On différencie aussi l'informatique de gestion de l'informatique scientifique, technique, industrielle et embarquée (STIE). Ce dernier segment est une spécialité française et est très lié aux secteurs clients : aérospatial, défense automobile, finance, télécoms... Des secteurs industriels où la position de la France est bonne, voire excellente.

Les services sont généralement liés aux technologies logicielles à des niveaux variables selon les technologies en question, leur banalisation, leur personnalisation et le niveau de complexité. Au niveau du marché, un euro de licence logicielle génère en moyenne cinq euros de services. C'est un marché important : en France le marché des services informatiques pèse près de 25 Md€ (source PAC).

La crise a impacté sévèrement ce marché avec une décroissance de 3 % en Europe de l'Ouest. Cependant, malgré la pression sur les prix exercée, les délocalisations (Inde, Europe de l'Est, Maghreb...) et l'informatique en nuage, ce marché va rester dynamique sur le long terme. En effet, l'évolution démographique va raréfier les compétences alors que celles-ci, dans le même temps, évoluent fortement vers des expertises technologiques pointues ou des expertises duales, métier et informatique. Cette montée en compétence est essentielle pour la compétitivité de la branche qui est soumise à la fois à la pression des délocalisations vers des destinations moins chères (comme l'Inde ou le Maghreb) et à celle de l'automatisation croissante des logiciels et des matériels dont le résultat le plus visible est l'informatique en nuage.

La formation est un point clé dans la compétitivité de ce segment dans le futur.

Services, logiciels et matériels sont très fortement liés et peuvent difficilement exister séparément. Ainsi tout investissement dans des technologies de pointe, comme par exemple la valorisation et l'intelligence de l'information, impactera directement et fortement les services associés : audit, conseil, conception, développement, intégration, déploiement, maintenance, optimisation... Par ailleurs, certaines technologies comme la robotique doivent pour s'imposer en France accroître le nombre d'intégrateurs et de compétences en services.

## L'électronique industrielle et les composants

Le chiffre d'affaires des fabricants français de composants a chuté de 13 % en 2009, dans les mêmes proportions que le marché mondial. Le secteur, fortement dépendant de la conjoncture, a subi de plein fouet les effets de la crise économique mondiale. En effet, il a été frappé par l'assèchement des commandes en provenance des secteurs clients majeurs (tels que l'automobile par exemple). Il est cependant reparti



en 2010, du fait notamment d'un fort rattrapage du faible niveau d'activités de l'année précédente (déstockage, etc.).

Le secteur des composants électroniques inclut les composants passifs (condensateurs, *self*, résistances, circuits imprimés, ...) et les composants actifs (puces électroniques). Ces derniers représentent plus de 90 % du chiffre d'affaires des fabricants français. Il s'agit d'un segment totalement mondialisé, en croissance régulière de 6 % par an mais très cyclique (le chiffre d'affaires, de 270 Md\$ en 2008, est tombé à 226 Md\$ en 2009 et devrait dépasser 300 Md\$ en 2011 d'après le WSTS).

Il est caractérisé par des coûts d'investissement industriel et de R&D considérables, conduisant à une concentration progressive sur quelques acteurs mondiaux (Intel, Samsung, Toshiba, Texas Instruments, TSMC, STMicroelectronics...) et à une séparation graduelle entre activités de conception et activités de fonderie afin d'en partager les coûts – bien que la maîtrise des deux par une même société confère des avantages compétitifs (exemple Intel, Samsung).

### L'électronique grand public

Comme pour les équipements télécoms, la crise a impacté le secteur de l'électronique grand public (EGP) en 2009 avec un recul de 2 % en valeur, malgré une forte progression en volume des ventes de nouveaux terminaux, autour notamment des écrans plats, des lecteurs DVD *Blu-Ray* et des *smartphones*, ainsi que dans une moindre mesure en volume des liseuses de livres électroniques ou des téléviseurs connectés.

La concurrence sur les prix reste forte, notamment du fait de la banalisation et de la concurrence asiatique, même si des acteurs nord-américains restent engagés sur du haut de gamme (Apple, RIM, etc.). Les acteurs européens majeurs sont peu nombreux en dehors de Nokia sur les téléphones mobiles et de quelques acteurs comme Archos sur les lecteurs multimédias ou Bookeen sur le livre numérique.

Les terminaux sont de plus en plus sophistiqués, avec de nombreux composants permettant des usages multimédias tout en étant connectés à Internet en permanence. De nombreux capteurs (géolocalisation, RFID, grandeurs physiques, biologiques, etc.), éventuellement utilisés en réseaux, permettent par ailleurs de collecter des informations supplémentaires sur leur environnement direct.

La connectivité intégrée (éventuellement sans fil) à ces terminaux permet d'acquérir directement des contenus et services, de plus en plus via des plates-formes associées, entraînant une nouvelle organisation dans l'approche de la chaîne de valeur.

### Un environnement économique et écologique en pleine évolution

Après des années de très forte croissance, le secteur des TIC ne progresse plus qu'au même rythme que le PIB dans les pays avancés, sauf pour les segments logiciels et services informatiques, qui sont généralement sur un multiple de 2 à 2,5 fois le PIB. Bien que le secteur des TIC dispose encore de plusieurs segments susceptibles d'agir en tant que relais de croissance,

on cherche désormais à s'adapter à la contrainte économique par une meilleure maîtrise des coûts (CAPEX et OPEX), notamment chez les opérateurs télécoms.

Dans les pays émergents, notamment en Chine (pour les télécoms) ou en Inde (pour l'informatique), la croissance du secteur TIC reste forte. Cette dernière s'appuie notamment sur un marché intérieur gigantesque comme futur relais de croissance, un fort retard au niveau du taux d'équipements, comme d'ailleurs dans tous les pays émergents, et une économie numérique tournée vers l'exportation. Ce phénomène de globalisation, présent dans d'autres industries, a des répercussions majeures à la fois sur l'industrie et sur les marchés. De nouveaux industriels majeurs issus des pays émergents deviennent concurrentiels. Les consommateurs et/ou les autorités nationales impactent directement la conception des nouveaux produits, aussi bien en termes de standards, de fonctionnalités que de prix des produits. Pour répondre aux attentes des pays émergents, il faut en effet pouvoir être compétitif en termes de prix.

Dans les deux cas, pays émergents et pays avancés, les cycles d'innovation deviennent de plus en plus courts, avec notamment un remplacement rapide des terminaux d'électronique grand public. Ceci impose aux acteurs des évolutions dans leurs approches de l'innovation et des coûts associés.

L'industrie des TIC repose par ailleurs de plus en plus sur des revenus issus de la monétisation des produits grand public, via notamment des transferts des autres industries (loisirs, culture, commerce, etc.). En dehors de quelques applications phares (moteur de recherche, commerce électronique, annuaires, etc.) s'appuyant sur des modèles déjà bien établis (publicité, micro-paiement, etc.), les revenus unitaires générés autour d'un service donné sont encore faibles.

Dans un contexte de probable augmentation des coûts de l'énergie, les acteurs prennent ainsi de plus en plus en compte le coût économique des consommations énergétiques des grandes infrastructures TIC (*datacenters*, réseaux, serveurs *cloud*, etc.) et déploient des solutions plus vertes (*green ICT*), répondant par extension aux contraintes environnementales.

Les TIC peuvent en effet avoir un effet de levier considérable autour des problématiques de développement durable et contribuer à une réduction des émissions carboniques par une réduction des déplacements (visioconférences, télé-relève). Les TIC pourraient contribuer à réaliser un tiers des réductions d'émissions de GES (gaz à effet de serre) fixées par le gouvernement à l'horizon 2020. Dans le même temps, le secteur des TIC doit apprendre à gérer les consommations qu'il induit, puisqu'il représente près de 15 % de la consommation électrique (source : OCDE) via les nombreux équipements, réseaux et *datacenters*.

### Des consommateurs toujours plus exigeants dans un contexte d'accélération technologique

Le secteur des TIC est engagé dans une course à la performance (débit, qualité de service, qualité d'image, capacité des processeurs, mémoires, CPU, etc.). Ces performances accrues

sont nécessaires pour permettre une véritable migration vers le tout numérique et le tout IP de tous les contenus et services. L'innovation s'inscrit en effet dans un contexte de convergence numérique et d'explosion des usages des contenus et des services numériques via des accès Internet divers et des terminaux multiples.

Si certaines des innovations s'inscrivent dans une logique d'offre, de nombreuses innovations cherchent à mieux adresser l'évolution de la demande. Les consommateurs cherchent en effet des solutions de plus en plus adaptées à leurs besoins. Les industriels doivent donc prendre en compte les grandes tendances sociétales.

L'individualisation est en effet de plus en plus prononcée et implique une personnalisation forte des produits et services. Cette individualisation se retrouve dans les produits eux-mêmes, mais aussi dans la nature de la consommation dans le temps (exemple : dé-linéarisation des contenus) et dans l'espace. Le nomadisme se développe grâce aux capacités de transport sans remettre en cause la nécessité d'accès à l'information, d'où des besoins en connectivité plus forte. La crise a par ailleurs accéléré la prise en compte des considérations économiques dans le choix des produits.

La fracture numérique est enfin toujours importante entre les technophiles à la recherche de la dernière innovation, les plus aisés se tournant vers des offres haut de gamme ou encore les plus âgés recherchant avant tout des solutions simples d'usage. Les industriels doivent donc adopter de plus en plus des approches segmentées capables de cibler des niches de marché valorisant avec des critères différents les produits et services TIC autour d'offres modulables.

## **Des bénéfices économiques et sociétaux au-delà des TIC**

Les TIC jouent un rôle majeur dans le développement de la société en assurant une plus grande disponibilité de l'information et en favorisant les échanges. Leur adoption n'est toutefois pas encore totalement généralisée, notamment auprès de certaines parties du grand public ou des PME, faute de ressources financières mais aussi le plus souvent de capacités techniques et de connaissance des outils disponibles. Une diffusion plus large des TIC implique des externalités positives (effet réseau), mais aussi une baisse des coûts unitaires. Les acteurs doivent donc chercher à favoriser la promotion et l'adoption de leurs technologies par le plus grand nombre.

L'impact des TIC va bien au-delà du secteur lui-même avec une contribution forte à la productivité de tous les autres secteurs verticaux, en offrant des outils d'échange, de simulation et de stockage de l'information. Les bénéfices des TIC se retrouvent donc dans tous les pans de l'économie, du transport (gestion des trajets et itinéraires) à l'aéronautique (conception en 3D des avions) en passant par le commerce (gestion des stocks en temps réel) l'énergie (réseau électrique intelligent) ou la santé (suivi à distance des personnes à risque, télémédecine,

etc.). Les bénéfices sont aussi importants dans les secteurs non marchands, autour des services publics accessibles sur Internet (emploi, impôts, culture, etc.) ou des politiques publiques par exemple l'environnement (prévention des catastrophes) ou la prise en compte du vieillissement de la population (maintien à domicile).

Enfin, pour les pays industrialisés, les modèles traditionnels (agriculture, industrie lourde) laissent progressivement place à une tertiarisation de l'économie. Les TIC permettent aussi de contrebalancer le vieillissement de ces économies. Les pouvoirs publics poussent en faveur de nouvelles approches autour de l'économie de la connaissance, pour laquelle les TIC jouent un rôle d'accélérateur.

Cette dépendance croissante de pans entiers de l'économie vis-à-vis des TIC, impose une fiabilité et une disponibilité accrue tant pour les infrastructures (réseaux et logicielles) que pour les applications. La sécurisation et la souveraineté de la France sur les TIC sont donc des enjeux importants.

## **Les grandes tendances d'évolution du secteur**

À l'horizon 2015-2020, le paysage du secteur TIC devrait s'inscrire dans un contexte de nouvelles infrastructures plus performantes avec notamment :

- des composants électroniques de petite taille supportant des capacités de calcul plus importantes ;
- une connectivité Internet très haut débit sans couture et nomade dans les grandes villes et au-delà, profitant des technologies électroniques de base (nano, opto, etc.) ;
- des réseaux tout IP permettant de réduire les coûts et offrant des performances accrues ;
- une plus grande efficacité énergétique des composants, systèmes et réseaux, permettant un développement optimisant les consommations de ressources ;
- une informatique de plus en plus ouverte et de plus en plus en mode « nuage ». C'est la principale « révolution » de l'informatique depuis l'avènement d'Internet ;
- une proximité très forte avec les métiers à mesure que les TIC deviennent de plus en plus critiques dans leur fonctionnement.

L'informatique devient une industrie de plus en plus « lourde », basée de plus en plus sur le facteur capital. Selon la théorie de l'avantage comparatif de David Ricardo, ce devrait être un avantage pour la France, car c'est un pays où le facteur travail est cher et de plus en plus rare, mais où le facteur capital est relativement abondant. La France doit donc miser sur ses centres informatiques industrialisés (type informatique en nuages), pour éviter que ces travaux ne se délocalisent.

## **Des composants plus puissants**

Les innovations dans le secteur de la micro-nanoélectronique suivent deux tendances complémentaires :

- « *More-Moore* » : accroissement de la densité d'intégration des puces qui comportent plusieurs centaines de millions, voire quelques milliards, de transistors ;

- « *More-than-Moore* » : intégration de fonctions nouvelles, telles que des capteurs (images, puces ADN...), des actuateurs (MEMS/NEMS), des circuits RF, des mémoires non volatiles, des empilements 3D de composants... Les composants optoélectroniques entrent dans cette catégorie.

La course à l'intégration n'est accessible qu'à un nombre toujours plus restreint d'acteurs industriels en général largement soutenus par les États, contrairement à celle de la diversification fonctionnelle qui est davantage accessible.

## Internet toujours plus présent

En s'appuyant sur Internet, le secteur TIC proposera ainsi des produits et services convergents dotés de multiples fonctionnalités et capables de combiner différentes applications, services et contenus (intégration sans couture, etc.). La disponibilité accrue de contenus sous forme numérique, enrichie et interactive, permettra de stocker le patrimoine culturel mais aussi le « patrimoine numérique » personnel de chaque individu, autour notamment de solutions de stockage et de distribution avancées de contenus médias et personnels en ligne. Le contenu est alors accessible à travers différents terminaux et différents réseaux ou architectures (internet mobile, *cloud*), y compris à travers des distributions hybrides combinant Internet et réseaux terrestres pour mélanger les flux de contenus et les méta-données. Les solutions les plus avancées permettront ainsi un accès permanent à toute application en fonction du contexte d'usage (réseau disponible, débit disponible, terminal disponible, etc.).

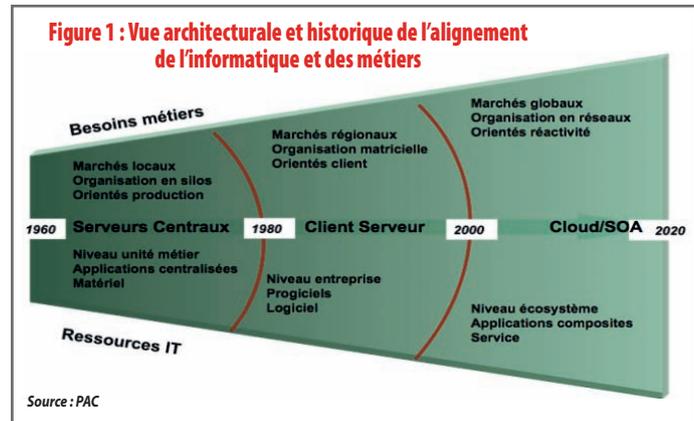
L'utilisateur disposera de différentes solutions intuitives pour mieux interagir avec les différents services numériques autour :

- d'environnements 3D interactifs (monde virtuel, conférence 3D, *serious gaming*, réalité augmentée, etc.), permettant des simulations, des immersions et des interactions virtuelles, assurant une meilleure collaboration tout en limitant les déplacements ;
- d'interfaces évoluées des principaux terminaux EGP pilotés au doigt, au mouvement de la main et/ou à la voix ;
- de moteurs de recherche intelligents, permettant de trouver plus efficacement une information, en tenant compte de critères personnels et du contexte, indépendamment de la langue et du support de l'information ou du contenu.

Enfin, le développement des TIC bénéficiera aussi aux autres secteurs avec une connectivité au-delà des ordinateurs, des téléphones mobiles et de l'électronique grand public. En s'appuyant sur la connectivité Internet et l'intégration de composants électroniques, de nombreuses machines vont devenir communicantes, permettant une automatisation plus forte et un suivi (voire un contrôle) à distance, y compris pour des machines en mouvement. Le suivi concernera des objets en mouvement dans le cadre d'applications logistiques.

## La « révolution » de l'informatique en nuages

L'informatique en nuage est la prochaine vague architecturale informatique.



De plus en plus d'entreprises se tournent vers l'informatique en nuage pour des raisons de coûts (promesse de « variabilisation » des coûts), de capacité et de facilité d'utilisation. La combinaison de l'informatique en nuage et du logiciel libre pourrait être une innovation destructrice telle que la conçoit Joseph Schumpeter, c'est à dire une innovation capable de changer les positions sur le marché.

Le *Cloud Computing* représentera en 2020 entre 20 % et 25 % du marché informatique.

L'informatique en nuage est vue comme prioritaire par les acteurs du secteur informatique, comme en témoignent les opérations spectaculaires de rachat de fournisseurs de technologie ou la mise en place d'alliances stratégiques.

Ceci implique la construction de centres de données fortement automatisés. La qualité et la capacité de l'infrastructure réseau sont critiques afin de conserver et attirer les investissements liés au *Cloud Computing* ; d'où une convergence croissante entre l'informatique et les télécoms.

À l'instar des réseaux haut débit, les infrastructures d'informatique en nuage doivent être perçues par les pouvoirs publics comme un investissement important pour conserver et accroître la compétitivité du pays. Ainsi, les aides publiques, la fiscalité et une réglementation adaptées sont très importantes pour que la France accueille ces investissements ; des investissements au moins équivalents à ceux qui sont courants dans des industries plus en vue comme l'automobile. À titre d'exemple, IBM va investir 300 M€ en Europe dans ce type d'infrastructure et le gouvernement français prévoit d'en investir 780 M€ au titre des investissements d'avenir.

Le *Cloud Computing* offre aux entreprises innovantes la capacité d'être plus réactives, d'expérimenter de nouveaux services et de les déployer massivement sans investir dans des salles informatiques. Il abaisse les barrières à l'entrée sur l'édition et la commercialisation de logiciel en mode *Software as a Service* (SaaS). Il permet à des petites entreprises, par exemple dans le secteur du multimédia, de recourir à des moyens de calcul intensif.

L'avènement de l'informatique en nuage nécessite aussi une gestion différente des données, la matière première de l'informatique et une approche globale, holistique, de la sécurité. C'est aussi une question de souveraineté nationale, car si des données stratégiques, que se soit pour une société ou pour le gouvernement, sont hors du territoire national, il y a des risques plus importants d'espionnage et de cyber criminalité. Par son optimisation, l'informatique en nuage permet de baisser les coûts d'infrastructure pour concentrer les budgets informatiques sur les projets qui impactent directement l'activité de l'entreprise et lui font gagner en compétitivité. Ainsi ces technologies sont vues comme prioritaires par la commission européenne d'après l'étude *The future of the Software and Software based Services in Europe* réalisée en 2010.



## À plus long terme

Au-delà de l'horizon 2015-2020, le développement du secteur TIC devrait s'appuyer sur des outils encore plus performants et une diffusion plus large de l'internet à encore plus d'objets dans le cadre de l'internet des objets, permettant à tout objet d'être connecté et de fournir et d'échanger de manière transparente des informations via Internet, aussi bien dans des environnements professionnels que grand public (maison intelligente-domotique, courses dans le commerce de détail, etc.).

D'autres innovations permettront d'aller plus loin dans les usages multimédias avec notamment l'affichage 3D relief sans lunettes, permettant une immersion accrue à domicile ou dans des lieux publics.

L'autre évolution majeure qui se prépare est la robotique. Ainsi après s'être couplée avec les télécoms dans le « nuage », l'informatique va fusionner avec l'électronique et la mécanique. La robotique repose en particulier sur l'intelligence artificielle et dispose de très nombreuses applications : militaire, sécurité, industrie, environnement hostiles, aide à la personne...

L'étape suivante, qui est déjà en préparation dans certains laboratoires, sera l'intégration de l'informatique, de la robotique et des organismes vivants. Ainsi le laboratoire d'optogénétique de Stanford a réussi à prendre le contrôle du cerveau d'une souris - dont une partie du cerveau avait été modifiée génétiquement par un virus - au moyen d'implants optiques. Cela devrait permettre le développement de prothèses robotiques

très performantes pour les handicapés. C'est le début de l'ère de la cybernétique, les systèmes de systèmes extrêmement complexes, à la fois vivants, mécaniques, électroniques et informatiques. À plus court terme, il est indispensable pour améliorer la compétitivité d'augmenter le taux d'usage des robots dans les entreprises.

## Les tendances technologiques et les technologies clés

Les principales technologies « capacitantes » pour le secteur TIC à prendre en compte dans la mise au point des produits et services évoqués auparavant sont notamment :

- les nanotechnologies permettant notamment la miniaturisation des composants tout en proposant des performances accrues. Par exemple, la filière des matériaux issus du graphène, qui pourraient avoir un impact aussi important dans les TIC que le silicium ;
- l'infrastructure télécom et les technologies de base associées dans le domaine de l'optique et de la radio longue portée pour la connectivité des personnes et des objets et des machines, et la distribution de contenus numériques éventuellement lourds (vidéo, 3D, etc.) ; les technologies réseau de routage (réseau cœur et réseau d'agrégation) sont aussi importantes dans un contexte de potentielle saturation des réseaux ;
- les architectures de communication sans fil très faible consommation, avec notamment les composants RFID (*Radio Frequency Identification*) et les technologies radio de courte portée permettant de rendre communicants les objets, notamment ceux dépourvus d'électronique embarquée ;
- les outils de numérisation et de conversion, permettant de transformer les contenus existants dans différents supports numériques ;
- les moteurs 3D permettant de créer et d'exécuter des contenus 3D et les solutions de réalité augmentée dans le cadre de simulations industrielles ou de développement multimédia ;
- les interfaces homme-machine tactiles et interactives (pointage, etc.) permettant de simplifier les usages de technologies complexes ;
- les nanotechnologies permettant notamment la miniaturisation des composants tout en proposant des performances accrues ;
- l'architecture orientée services, ou SOA en anglais, qui décompose les logiciels en briques modulaires et standardisées à la manière d'un Lego ;
- la virtualisation, qui est l'OS des architectures en nuages ;
- les outils sémantiques, capables de permettre une meilleure interaction entre l'homme et la machine ;
- les moteurs de recherche, qui sont assez complémentaires des outils sémantiques et qui proposent une nouvelle manière d'exploiter le volume toujours plus important de données ;



- le logiciel libre, qui mutualise la R&D et la maintenance pour certains logiciels, en particulier les logiciels d'infrastructure, là où la présence française est très faible ;
- les mathématiques appliquées à l'informatique, car pour repousser sans cesse les limites de l'informatique, il faut des algorithmes de plus en plus sophistiqués ;
- le calcul intensif ;
- l'intelligence artificielle, de plus en plus présente dans nos systèmes de plus en plus automatisés et humains.

Ces différentes technologies prennent place dans les serveurs et les terminaux EGP, mais aussi éventuellement dans n'importe quelle machine ou n'importe quel objet grâce à l'ajout de composants de connectivité dans tous les terminaux EGP, mais aussi dans des machines (le plus souvent utilisables sans connectivité, comme par exemple une voiture ou un compteur électrique) et des capteurs RFID, sur des étiquettes ou des tags, collés ou intégrés dans le produit. D'autres capteurs peuvent être ajoutés sur les terminaux, notamment pour favoriser la création de contenus ou informations numériques (caméra, scanner, etc.),

ainsi que des composants électroniques spécifiques pour l'affichage des informations, par exemple pour la 3D.

Cette intégration dans les produits nécessite à la fois une miniaturisation des capteurs et composants qui ne doivent pas changer fondamentalement la nature du produit, ainsi qu'une réduction des coûts unitaires de ces composants (la valeur de l'électronique devant rester marginale par rapport à celle du produit, dont le coût unitaire est parfois très faible). L'intégration dans les produits et services implique aussi des performances accrues, notamment des terminaux, pour gérer en temps réel les contenus volumineux.

Il est important que ces technologies soient les plus standardisées possibles, à l'instar de ce qui se fait dans les autres industries. Cette intégration de systèmes de systèmes de plus en plus complexes nécessite d'importantes capacités à modéliser cette complexité et à la gérer.

Si des modifications des produits et objets sont nécessaires, il ne s'agit pour autant que de la partie émergée de l'iceberg. Tous ces terminaux, machines et objets devront se connecter à Internet pour aller chercher ou échanger des informations.

Il faut donc pouvoir s'appuyer sur des infrastructures télécom/IT dans le réseau Internet et/ou dans les réseaux des opérateurs de produits de distribution avancée (CDN, serveurs *cloud*).

L'intégration des nouvelles technologies dans les produits et services n'est donc possible que si cette infrastructure mutualisée est utilisable à des coûts raisonnables, ce qui suppose notamment des coûts d'investissements limités. Elle requiert aussi d'être déployable à grande échelle, ce qui suppose une bonne gestion des grands volumes de données récoltées dans les systèmes d'information et une prise en compte des données dans les processus de décision.

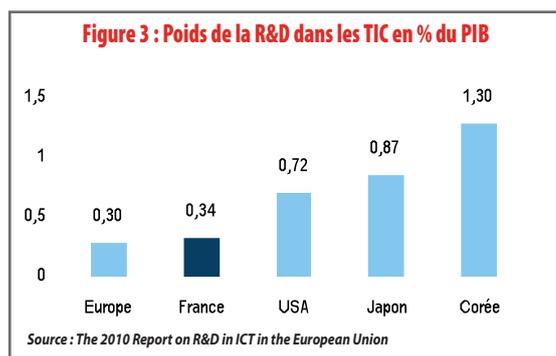
Enfin, l'intégration dans les processus suppose une évolution des compétences des concepteurs et développeurs des futurs produits et services associés. Il s'agit en effet d'avoir une maîtrise simultanée de nombreuses technologies (matériel, logiciel, contenu et réseau) permettant le développement d'applications, services et contenus multimédias enrichis, en prenant en compte une multitude d'interfaces. Cette maîtrise des compétences peut se faire aussi bien par des doubles ou triples compétences que par des bonnes organisations de travail en équipe. La formation est donc critique pour le développement des TIC.

L'utilisateur doit par ailleurs être capable d'utiliser les nouveaux produits et services, sans forcément maîtriser l'ensemble des technologies. Les industriels doivent donc proposer des solutions intuitives centrées sur les usages plus que sur les technologies.

## Analyse de la position de la France

### Le poids de la R&D

Les efforts de R&D dans les TIC en France se situent légèrement au-dessus de la moyenne européenne, mais restent en retrait par rapport à d'autres pays comme les États-Unis, le Japon et surtout la Corée du Sud. La France n'est pas représentée dans tous les segments (faible par exemple en électronique grand public ou en logiciels *middleware*), mais dispose en revanche d'acteurs industriels ou de laboratoires de recherche reconnus comme des acteurs de référence mondiale dans certains sous-segments majeurs pour le développement de l'industrie des TIC.

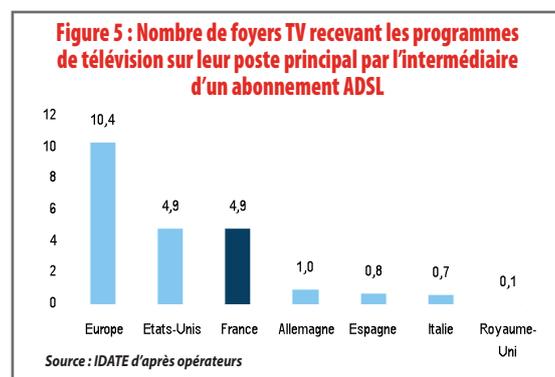
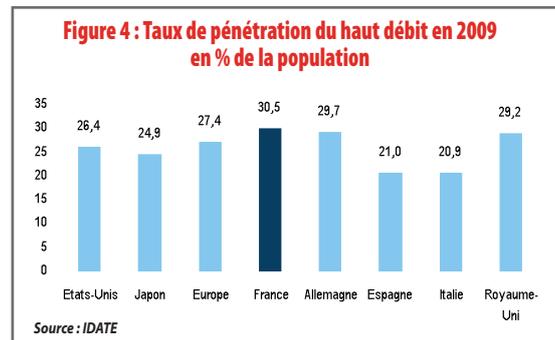


## Principaux atouts de la France dans les TIC

La France occupe la première position dans l'industrie européenne des composants électroniques (électronique industrielle) et accueille sur son territoire des acteurs majeurs de recherche (CEA Leti, CNRS LAAS...) et industriels (STMicroelectronics, Soitec, NXP, Atmel, Freescale, Altis, Ipdia, etc.). La position européenne dans la micro-nanoélectronique est toutefois en retrait dans le monde.

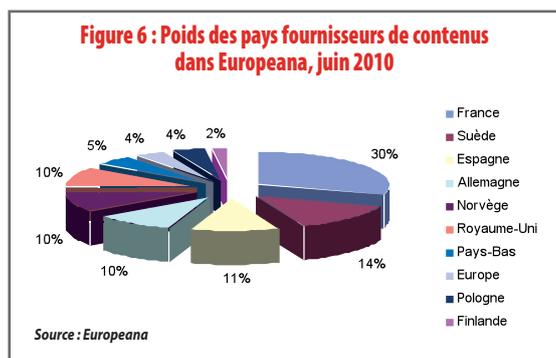
La France est par ailleurs très bien représentée dans certains domaines des composants électroniques, notamment au niveau des cartes à puce, cartes sans contacts et du RFID (Gemalto, SK, Tagsys, Pôle SCS, etc.), tout en étant impliquée sur l'ensemble de la micro-électronique (ST Microelectronics, Soitec, etc.).

La France est un des pays de référence dans le domaine des télécommunications autour d'opérateurs et d'équipementiers majeurs avec un rayonnement mondial (France Télécom, Alcatel-Lucent, Sagem, Thales, etc.) et profite d'un marché assez développé de services télécoms, notamment en haut débit, sur lequel des innovantes majeures comme l'IPTV ont été développées.



La France est aussi dans les pays majeurs en ce qui concerne le développement des objets connectés, autour du M2M (*Machine-to-Machine*) et de l'Internet des objets, autour des opérateurs, de fournisseurs de modules M2M (Gemalto, etc.), et de jeunes pousses (Violet, WiThings, etc.).

Dans le domaine du contenu numérique, la France dispose d'un rayonnement mondial au niveau de la 3D, de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée via des acteurs majeurs (Dassault Systems, Thales, Total Immersion, etc.) et une formation reconnue internationalement mais aussi dans la conception et la fabrication de systèmes de vidéo et d'image numérique pour les professionnels (Technicolor, etc.). La France est aussi un acteur majeur dans le domaine de la numérisation de contenu, autour notamment de la vidéo (INA) et des livres (BNF). Europeana, projet de bibliothèque numérique leader en Europe, compte aujourd'hui plus de sept millions d'œuvres numérisées dont 30 % ont été fournis par la France.



La France occupe une position moyenne en général dans les matériels, logiciels, et services informatiques en deçà de l'Allemagne et de la Grande Bretagne, légèrement au dessus de son poids au niveau du PIB (6 % de la dépense informatique mondiale selon PAC).

Dans ce domaine, les principaux atouts de la France sont son expertise quasiment unique (à part les États-Unis) dans les systèmes embarqués les plus complexes qui sont utilisés par l'aérospatial et le militaire : ce marché représente plus de 15 % de la dépense informatique globale, un des taux les plus élevés au monde (données PAC). La France possède des champions de niveau mondial dans ce domaine, comme Altran.

C'est aussi le pays le plus intensif en logiciel libre au monde (nombre de projets par rapport à la population) selon une étude de GeorgiaTech publiée en 2009. Cela lui permet de combler certaines de ses faiblesses dans les logiciels d'infrastructure.

La France est aussi un des pays où la pénétration des architectures orientées services est la plus forte (d'après le Gartner), ce qui lui permet d'avoir des systèmes plus efficaces et plus alignés avec les besoins métiers mais aussi d'aller plus facilement vers l'informatique en nuages.

C'est aussi une des plus importantes industries du service informatique au niveau mondial, derrière les États-Unis et le Japon, et l'une de celles qui s'est le plus internationalisé à l'instar d'un Capgemini ou d'un Atos Origin. Selon PAC, en chiffres d'affaires services informatiques, ces sociétés sont respectivement septième et treizième acteurs mondiaux.

Enfin, et c'est peut-être là l'atout majeur de la France, il y a aussi dans l'hexagone d'excellentes compétences informatiques et une des meilleures écoles de mathématiques au monde. En effet la France est le second pays qui a le plus gagné de médailles Fields, avec onze médailles (dont celle de 2010) contre treize pour les États-Unis, le premier de ce classement. L'informatique étant une évolution connexe des mathématiques, celles-ci sont donc vitales pour des technologies telles que l'algorithmique, les systèmes complexes, les systèmes de systèmes, l'intelligence artificielle...

## Dispositifs d'accompagnement

De nombreux dispositifs d'accompagnement permettent à l'industrie française d'accélérer son développement dans l'industrie des TIC :

- pôles de compétitivité (Images et Réseaux, Cap Digital, Systematic, SCS, AESE, Finances@innovation, Medicen, Advancity, etc.) ;
- ANR (Agence nationale de la recherche) ;
- soutien aux projet de R&D stratégique du ministère de l'Industrie ;
- Rapid (Régime d'appui aux PME pour l'innovation duale) du ministère de la Défense ;
- All (Agence de l'innovation industrielle) ;
- appels thématiques du gouvernement (Serious Game, NFC/RFID, etc.) ;
- volet numérique du grand emprunt (infrastructure télécom, numérisation, etc.) ;
- Clusters Euréka (Celtic, Itea, Medea/Catrene, Euripides, etc.) ;
- FTI Carene et Artemis ;
- institut de recherche technologique du grand emprunt ;
- réseaux de recherche (RNTL, Riam, RNRT) ;
- instituts Carnot ;
- société civile du calcul intensif ;
- FSI (Caisse des dépôts) ;
- Oséo ;
- crédit d'impôt recherche (CIR) ;
- statut des jeunes entreprises innovantes (JEI).

## Facteurs de diffusion

Plusieurs facteurs majeurs doivent contribuer à l'essor de ces technologies. La mise en place de standards ou au moins de solutions interopérables permet d'accélérer la diffusion des technologies, en s'appuyant ainsi sur une production de masse et des prix unitaires plus faibles (aussi bien en matériel qu'en logiciel). Un résultat analogue peut être obtenu via une bonne organisation de l'écosystème, via notamment des plateformes autour d'un acteur majeur.



L'infrastructure de communication de haut niveau en France est aussi un atout pour la diffusion des TIC.

La fiscalité française autour de l'innovation est l'une des plus intéressantes en Europe et aide de nombreuses jeunes pousses à se développer.

L'un des facteurs les plus importants est la présence en France d'un nombre important de grandes entreprises mondiales, voire de champions, dans des domaines très consommateurs de TIC comme le militaire, l'aérospatial, les télécoms, la finance...

Un autre facteur majeur est la capacité des développeurs, voire éventuellement des utilisateurs, à maîtriser les différentes technologies clés au cœur de la convergence numérique. La mise en place de formations pluridisciplinaires va clairement dans ce sens.

Le dernier facteur, et sûrement le plus important est l'arrivée dans la vie active d'une classe d'âge -la génération Y- qui a grandi, et ce dès le plus jeune âge avec les TIC. Ces jeunes actifs ont une affinité particulière pour l'utilisation des TIC et surtout les avantages qu'ils procurent. Ils devraient fortement participer à la diffusion des TIC dans notre économie.

## Freins économiques à la diffusion

Les principaux freins à la diffusion des technologies évoquées sont d'ordre technique et économique. D'un point de vue technique, les performances réellement constatées ne sont pas toujours au rendez-vous en dehors des laboratoires de test, notamment pour les solutions sans fil. D'une manière générale, les déploiements à grande échelle de certaines technologies restent complexes et leur usage parfois peu aisé pour le grand public. La cohabitation d'un nombre croissant d'applications, de services et de terminaux par utilisateurs rend complexe l'introduction de toute nouveauté.

Le problème est toutefois souvent avant tout économique, la plupart des limitations techniques (des exceptions existent toutefois autour par exemple du spectre ou des grands systèmes d'information) pouvant être résolues par des investissements supplémentaires. Mais la difficulté provient justement de ce que de nombreux services et produits TIC s'appuient sur des modèles économiques instables et/ou nécessitent des investissements initiaux colossaux (fibre, LTE, RFID, etc.).

L'informatique en nuages va nécessiter de lourds investissements et peu d'entreprises en seront capables. De plus le pas-

sage en mode service à la demande chez les éditeurs risque de créer des besoins en fonds de roulement qui pourraient asphyxier les plus fragiles.

L'empreinte énergétique des TIC pose une problématique croissante pour l'ensemble de l'écosystème. Du point de vue de l'empreinte carbone, les TIC sont actuellement au niveau du transport aérien avec une croissance cependant beaucoup plus élevée. *A contrario* elles permettent aussi des économies d'énergie sous certaines conditions, évoquées par exemple dans le rapport « DETIC » du CGIET.

### Freins sociaux à la diffusion

Les développements de nouveaux services TIC doivent toutefois se faire en prenant en compte la dimension sociale. Le volume de données collectées sur un individu donné est en effet en pleine explosion, avec notamment les réseaux sociaux, les réseaux de capteurs sans fil, ou les services de géolocalisation, permettant de proposer à l'utilisateur final de nouvelles fonctionnalités.

La robotique et l'intelligence artificielle posent aussi un problème éthique quant au niveau d'autonomie qu'on pourrait conférer à ces systèmes.

Si les bénéfices pour les usagers sont donc importants (confort d'usage, nouveaux services disponibles, coût plus faible, etc.), les risques sont toutefois jugés élevés par les utilisateurs concernant le risque de vol ou d'usurpation d'identité, limitant en partie les usages. L'exploitation des données personnelles à des fins frauduleuses ou commerciales (ciblage publicitaire, etc.) soulève aussi de nombreuses questions.

## Recommandations

L'importance des TIC pour tous les secteurs n'est plus à démontrer, tant au niveau des emplois, que de la valeur ajoutée ou de l'impact transversal sur l'ensemble de l'économie. La France est plutôt bien positionnée

Pour mieux développer ce secteur, il convient de continuer et d'amplifier les politiques d'aides publiques ciblées sur les technologies clés des TIC, notamment celles présentant un fort caractère générique. Cela vaut notamment pour les pôles de compétitivité et les clusters Euréka, souvent indispensables pour dégager les masses critiques au niveau européen.

Le développement du secteur des TIC repose par ailleurs fortement sur le développement de standards de droit ou de fait, voire d'interopérabilité. L'existence de standards permet un développement plus rapide et moins coûteux de nouvelles solutions et technologies construites à partir des technologies standardisées. Toutes les initiatives permettant de développer des standards sont donc à privilégier. Ces initiatives doivent être déployées au niveau international (européen au minimum) pour profiter d'un effet de masse.

L'implication des pouvoirs publics autour de la régulation des données est centrale. Le rôle joué par la capacité à combiner des données, notamment des données personnelles, dans le développement de nouvelles applications, devient primordial et doit être encadré pour assurer un bon niveau de sécurité et de confiance numérique, levant ainsi les freins au développement des usages par les entreprises et les particuliers.

Le développement des technologies clés repose pour beaucoup d'entre elles sur des infrastructures très coûteuses (haut débit, numérisation de contenus, calcul intensif, informatique en nuages, usines de composants, etc.). Le développement d'approches mutualisées pour partager les coûts et les risques (co-innovation) et l'apport éventuel de financements publics doivent permettre de lever certaines des contraintes financières associées.

Enfin, le développement des TIC nécessite une maîtrise de plusieurs compétences techniques dans différents domaines. La coordination entre les différents segments des TIC est parfois trop faible alors que la convergence numérique est au cœur des nouveaux produits et services. Les fournisseurs de ces nouvelles technologies doivent se préparer à appréhender en direct ou via leurs partenaires (dans une logique d'innovation ouverte) de nouvelles expertises complémentaires nécessaires. L'interdisciplinarité doit être encouragée et même aller plus loin avec l'intégration de compétences non TIC (santé, énergie, etc.), sur lesquelles l'Europe dispose de positions de force. De même la politique des pôles de compétitivité engagée et des centres de compétences comme Saclay Grenoble, Sophia Antipolis ou la Bretagne est à poursuivre.

Au niveau mondial, les grandes entreprises françaises sont aussi bien équipées et compétitives que leurs consœurs étrangères, mais les PME françaises restent relativement peu informatisées. Aider les PME à s'informatiser d'avantage pour gagner en productivité est donc très important.

Les passerelles entre le monde des entreprises et la recherche publique fonctionnent plutôt bien, mais gagneraient à être d'un accès plus facile pour les PME. Les pôles de compétitivité du secteur sont un bon exemple.

Un *Small Business Act* à la française, sujet récurrent depuis des décennies, permettrait de réserver une partie plus importante des commandes publiques aux jeunes pousses. Le ministère de la Défense a mis en place un dispositif de ce type.

La formation est une fois encore le point critique à souligner aussi bien pour les technologies de l'information (afin de disposer de suffisamment de compétences), que pour des disciplines connexes mais critiques afin de faire émerger des entreprises fiables : marketing, juridique, ventes... L'aspect entrepreneurial mis en avant dans toutes ces formations est identifié comme un axe d'amélioration pour la France.



# 13. Robotique

L'asservissement des degrés de liberté d'une machine-outil et leur pilotage par une machine-numérique programmable a conduit à la large diffusion des machines-outils à commande numérique (MOCN).

Par rapport à une machine-outil, un robot industriel permet la préhension et le contrôle spatial et temporel d'un solide dans l'espace de travail du robot. Le robot sera dit complet au sens de la mécanique s'il dispose d'au moins six degrés de liberté.

Toutefois de nombreuses tâches peuvent être assurées avec deux, trois, quatre ou cinq degrés de liberté.

Le robot industriel est généralement un bras manipulateur fixe par rapport à la tâche répétitive qu'il doit effectuer. D'autres robots peuvent se déplacer pour assurer des tâches dans un environnement plus complexe. On parle alors de robotique mobile ou de robots de service.

## Description

Un robot est un système mécanique polyarticulé disposant de moyens de perception, de raisonnement et d'action capable de se substituer totalement ou partiellement à l'homme dans des tâches d'interaction avec le monde physique.

La robotique s'est déployée depuis les années soixante au travers de la robotique dite industrielle ou encore manufacturière.

## Typologie des robots et applications

Les principales applications des robots industriels concernent le chargement et déchargement des machines, le soudage par points ou le soudage continu, la peinture, l'assemblage.

On distingue classiquement quatre classes de robots avec leurs domaines d'applications spécifiques :

**Les robots tout ou rien** (*pick and place*), pour lesquels seuls les points de préhension et de lâcher des objets sont définis. Ils servent principalement au chargement et déchargement des machines. Ils sont le plus souvent pilotés par des automates programmables à l'aide de méthodes telles que le grafset.

**Les robots programmables** ont leurs degrés de liberté asservis en position et éventuellement en vitesse. Ils sont programmés par apprentissage au moyen de consoles ou de pantins. Les trajectoires de consigne sont rejouées (on parle de robot *play back*). Pour les applications complexes, ils peuvent être programmés par CAO ou au moyen de langages textuels. Ces robots servent typiquement au soudage, à la peinture, à la découpe laser ou au jet d'eau, au montage, à l'assemblage. Pour ces tâches, le robot manipule le plus souvent un outil relativement à la pièce. Pour des applications telle le contrôle qualité, le robot déplace un capteur par exemple une caméra qui constitue un capteur intelligent.

**La télé robotique.** Il arrive que l'homme doive rester dans la boucle pour le contrôle total ou partiel du robot. On parle alors de configuration maître-esclave qui caractérise la télé robotique. C'est le cas où le robot intervient dans des environnements dangereux pour l'homme comme le nucléaire, le spatial, le milieu sous-marin, les situations d'incendie ...

Dans le domaine médical, on exploite principalement la précision en positionnement et la maîtrise des micro-déplacements que garantit le robot. Le robot n'intervient pas en autonome mais en configuration maître-esclave avec le chirurgien qui peut réaliser la tâche avec assistance en réalité augmentée avec des précisions de quelques millimètres alors que le robot travaille au centième ou au micron.

Dans la méga robotique qui caractérise les travaux publics, le domaine minier, les tunneliers, c'est le contraire, l'homme peut projeter ses actions en multipliant les forces et l'amplitude des déplacements

**Les robots de service** rassemblent les robots qui ne sont pas manufacturiers au sens usuel de la robotique industrielle.

Toutes les activités humaines sont concernées. C'est ainsi que la robotique agricole a vu en quelques années l'apparition des robots de traite des vaches, des robots de cueillette des fruits, des robots de tonte des moutons, des tracteurs autonomes guidés par GPS...

Les applications militaires sont nombreuses et en deçà de ce que la technologie permet aujourd'hui. Les drones d'observation aérienne, les robots de déminage ou porteur de charges lourdes sont autant d'exemples.

Les armées de terre, de l'air et la marine sont concernées. On parle de *UXV Unmanned X Vehicle* avec X pouvant être *Aerial, Ground, Surface et Underwater*.

Les systèmes de transports intelligents et en particulier l'automatisation de la conduite automobile s'appuient sur les technologies clés de la robotique et contribuent à faire avancer la robotique.

La robotique dite de service comprend aussi la robotique humanoïde très en vogue dans la recherche académique actuelle. Les applications sont surtout ludiques même si on avance le concept de robot compagnon pour l'assistance à domicile.

## Enjeux et impacts

La robotique est critique pour la compétitivité du secteur industriel. Les deux pays développés les plus exportateurs au monde, le Japon et l'Allemagne sont aussi les plus équipés en robots industriels. Cela renforce leur spécialisation dans les segments de haut de gamme et accroît leur compétitivité en remplaçant une force de travail comparativement chère par un investissement en capital (les robots). Ces pays ont ainsi une différenciation compétitive très forte sur les marchés internationaux.

Le nombre de robots en activité est en pleine explosion depuis une quinzaine d'années, et cela sous les effets combinés des progrès techniques (électronique, nanotechnologies, énergie, intelligence artificielle...) et de la baisse des coûts (divisés par quatre pour les robots industriels entre 1990 et 2009).

Cette croissance sera fortement stimulée par la croissance des robots à usage privé, des plus simples (aspirateurs, robots piscines, jouets...) aux plus complexes (robots humanoïdes).

Le marché global de la robotique, estimé à 11 milliards de dollars en 2005, pourrait passer à 30 milliards de

### Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

### Degré de diffusion en France

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

dollars en 2015. C'est un marché où le potentiel en services associés est très important.

Le robot autonome satisfait à trois fonctions essentielles : la perception, le raisonnement et l'action. Si plusieurs robots interagissent entre eux ou avec leur environnement, il convient d'ajouter la fonction communication et on parle alors de robotique collaborative.

Le verrou principal de la robotique est la perception de l'environnement. Le robot doit se localiser, percevoir et modéliser son environnement et élaborer les plans d'actions qui lui permettent de réaliser sa mission.

La perception utilise plusieurs capteurs : caméras, radars, lidars, centrale inertielle, GPS associés à des cartographies numériques. La fusion des informations implique des outils logiciels puissants d'acquisition et de datation précise de toutes les informations élémentaires pour assurer la cohérence spatiale et temporelle.

Le dernier enjeu est celui de l'intelligence artificielle. Une des pistes les plus intéressantes est la technologie multi-agent, qui s'apparente à l'intelligence collective d'insectes sociaux. On arrive ainsi à ce que l'on nomme la robotique cognitive.

Ce marché conserve de très fortes relations avec l'ingénierie de systèmes complexes et de systèmes de systèmes, la sémantique et l'intelligence artificielle.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : LAAS (Toulouse), LIRMM (Montpellier), Isir (Paris UPMC), LIPS6 (Systematic), Ircyn (Nantes), SRI (Orleans), LISV (Versailles), CEA List, HeudyasicCompiègne), Gipsa, LIG, TIMC(Grenoble), Inria, Ensta, Mines-Paristech...
- **Industriels** : Cybernetix, EKIUM, Thales, Sagem, EADS, Easyrobotics, Hexagone, BA Systemes, Robotics Concept, Aldebaran Robotics, ERI, Automation, Robosoft, Intempora, Gotsai
- **Syndicat professionnel** : Symop : Opération « Robotcaliser » pour les PME, GDR Robotique pour la recherche

## Position de la France

Le marché de la robotique civile est largement dominé par le Japon, en particulier grâce à des conditions culturelles et démographiques particulières. Le gouvernement a fait de la robotique un axe majeur.

Les industriels japonais, et les industriels allemands, sont aussi les champions de la robotique industrielle. Ils se basent sur leur marché local qui est très dynamique. Ainsi, selon IFR, l'Allemagne représente 42 % du parc européen et la France 10 % en troisième position derrière l'Italie. De fait, ce parc est vieillissant avec des robots qui ont en moyenne cinq ans de plus que leurs équivalents allemands. Les champions de ce segment sont allemands ou japonais.

Le marché de la robotique militaire est, pour des raisons politiques, dominé par les États-Unis et Israël. Les robots ont vu leurs crédits militaires quintupler.

La France reste bien positionnée grâce à une excellente maîtrise de l'intelligence artificielle. Ainsi la plateforme multi-agent développée au LIRMM équipe plusieurs robots japonais.

## Analyse AFOM

### Atouts

Industrie high-tech, qui possède l'ensemble des disciplines nécessaires, capacité en ingénierie de systèmes complexes, intelligence artificielle.

### Faiblesse

Focus politique, barrières culturelles, mais surtout un manque d'intégrateurs de systèmes robotiques industriels.

### Opportunités

Les logiciels pour robots, les transports intelligents, les environnements à risques.

### Menaces

L'avance japonaise.

## Recommandations

À l'instar du gouvernement japonais dans le civil ou américain dans le militaire, la robotique doit être une priorité des aides publiques, car c'est la « nouvelle frontière » des TIC. Il convient de développer les formations correspondantes. Pour lever les verrous, il est crucial de rapprocher les domaines d'excellence française qui sont connexes à la robotique : systèmes complexes, intelligence artificielle, batteries, nanoélectronique...

## Liens avec d'autres technologies clés

1	7	11
16	18	19
21	23	27
55	65	

### Maturité (échelle TRL)

	Émergence (TRL : 1-4)
	Développement (TRL : 5-7)
	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

	Leader ou Co-Leader
	Dans le peloton
	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

	Faible
	Moyen
	Fort



## 14. Technologies réseaux sans fil

### Description

Un réseau mobile est constitué de stations de base qui assurent la couverture d'une zone géographique donnée et gèrent la communication avec les équipements terminaux.

La durée de vie d'une génération de système mobile est d'environ vingt ans. Les réseaux GSM, lancés en 1993, sont totalement matures et seront remplacés d'ici cinq à dix ans par des réseaux 3G ou 4G. Les réseaux 3G connaissent encore des améliorations et resteront en service encore dix à quinze ans. Les réseaux LTE (*Long term evolution*) seront lancés en 2011-2012 en France et verront apparaître leur évolution 4G à partir de 2015. Cette dernière permettra de porter les débits en mobilité à environ 100 Mbps crête par utilisateur en voie descendante. Ce débit atteindra 1 Gbps maximum en situation de nomadisme.

La technologie WiMAX Mobile qui fournit des caractéristiques proches de LTE ne connaît pas le même développement et souffre d'un écosystème très limité.

Les évolutions des réseaux mobiles sont, outre l'amélioration continue de l'efficacité spectrale et donc des débits, le passage d'une architecture en mode circuit à une architecture paquet IP qui autorise notamment une intégration plus poussée avec les réseaux fixes. Une évolution également notable est celle de la radio logicielle, dans laquelle les fonctions physiques liées au processus de transmission (modulation, filtrage, etc.) sont réalisées par des calculateurs numériques, permettant une grande évolutivité des matériels.

Le développement des *chipsets* pour terminaux mobiles et objets communicants se caractérise par une puissance accrue, une intégration très poussée et le support de plusieurs standards.

### Applications

Les technologies de réseaux sans fil s'appliquent dans les marchés et domaines applicatifs de la mobilité et autorisent des applications de voix, de messages courts et de transmission de données. L'ajout de fonctions de géolocalisation et de services de paiement et de loisirs (vidéo, télévision, jeux...) augmente l'attractivité des terminaux mobiles.

Elle permet également les communications M2M (*Machine-to-machine*) que ce soit la transmission de faibles quantités d'information (exemple relevé de compteurs), ou de plus gros débit pour la vidéo (télésurveillance par exemple).

Dans certains cas, les technologies mobiles peuvent servir de substitut lorsqu'aucun réseau fixe n'est disponible. Avec les évolutions de la 3G et l'arrivée du standard LTE,

les réseaux mobiles peuvent offrir des services d'accès à Internet dans des zones blanches. La couverture de ces zones sera néanmoins soumise à des contraintes réglementaires éventuelles et à des soutiens des collectivités locales comme auparavant pour le GSM.

Le déploiement des réseaux de prochaine génération LTE est conditionné à l'attribution de spectre dans les bandes des 2,6 GHz et 800 MHz. Cette technologie sera disponible dans un premier temps dans les grandes villes pour apporter de la capacité alors que les réseaux 3G commencent à connaître des phénomènes de saturation.

Le marché français des services mobiles a représenté un chiffre d'affaires de 20,4 Md€ en 2009 selon l'Arcep. Il correspond à 101 milliards de minutes de communications et 63 milliards de SMS et MMS.

### Enjeux et impacts

Les technologies de réseaux radio mobile permettent d'offrir des services sur une grande partie du territoire aux personnes en situation de mobilité. Elles permettent également de répondre à des besoins sociétaux grandissants comme :

- étendre la zone d'utilisation des terminaux à l'international grâce à la standardisation de la technologie mobile et au *roaming* (itinérance) international ;
- rendre possible un certain nombre de soins médicaux à domicile et ainsi limiter les déplacements de patients ;
- faciliter l'accès aux contenus éducatifs concernant la formation ;
- réduire les déplacements des professionnels grâce à l'utilisation facilitée de la visiophonie.

Il s'agit d'une technologie diffusante et d'avenir en constante amélioration sur le plan technologique et dont le coût d'utilisation baisse significativement grâce à sa diffusion mondiale.

Enfin, les contraintes de consommation électrique sont de plus en plus prises en compte avec une réduction de l'encombrement et de la consommation des stations de base.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

#### Degré de diffusion en France

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D publique** : CEA Leti, Institut Telecom, LAAS, Inria, IMS, Labsticc, Irisa, IETR, Irit, LIG, LIP6
- **R&D privée** : Alcatel-Lucent, SagemCom (notamment femtocells), Gemalto, EADS, Thales, ST-Ericsson, Sequans sur le LTE, etc.
- **Opérateurs** : SFR, France Telecom/Orange, Bouygues Telecom Free Mobile (en 2011-2012)
- **Intégrateurs-supports** : de nombreuses PME (Astellia, etc.)
- Arcep, Afom (Association des opérateurs mobiles français), pôles de compétitivité (Images et Réseaux, Systematic, etc.)

## Position de la France

La France a joué un rôle moteur avec l'Allemagne dans la définition du GSM, qui est depuis devenue une norme mondiale, et est très impliquée dans le développement des nouvelles normes de téléphonie mobile.

Les infrastructures mobiles sont très développées en France assurant une bonne couverture et qualité de service.

Masse critique des acteurs : Alcatel-Lucent est un fournisseur d'infrastructures mobiles dans le Top 5 mondial ; Gemalto est le leader mondial de la carte à puce ; Orange est un opérateur présent dans de nombreux marchés à l'international (présence dans 38 pays). La Défense est impliquée dans la mise au point de la radio logicielle.

Aucune difficulté spécifique n'est à noter dans l'adoption de la technologie mobile, en dehors de retards dans le décollage des générations précédentes, principalement en raison du manque d'attractivité des premiers terminaux.

## Analyse AFOM

### Atouts

Un secteur concurrentiel et une innovation technologique très dynamique.

### Faiblesses

Des engagements de couverture 3G non tenus dans les délais par les opérateurs, couverture à l'intérieur des bâtiments perfectible, saturation des réseaux mobiles.

### Opportunités

Desserte des zones non couvertes par les réseaux fixes avec le dividende numérique.

### Menaces

Besoins en débit sans cesse croissants des applications mobiles ; saturation du spectre électromagnétique, acceptabilité sociale vis-à-vis des rayonnements électromagnétiques.

## Recommandations

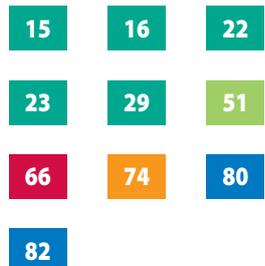
Le spectre radioélectrique qui constitue une ressource rare doit être optimisé afin de permettre de supporter l'explosion du trafic de données mobiles. Cela passe par une coordination internationale et par l'anticipation des besoins futurs.

Des initiatives autour des services mobiles doivent être supportées car la position des acteurs français peut être fragilisée par le manque de compétitivité dans les autres secteurs (terminaux, services).

Il est nécessaire de soutenir les initiatives des collectivités locales qui permettent d'accélérer la disponibilité du très haut débit mobile pour l'ensemble de la population en particulier grâce à l'apport du dividende numérique.

Enfin, il serait nécessaire de développer des activités de R&D aux frontières entre le matériel et le logiciel et dans les domaines qui concernent l'interopérabilité.

### Liens avec d'autres technologies clés



### Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



# 15. Réseaux haut débit optiques

## Description

Les réseaux basés sur la fibre optique se sont beaucoup développés depuis le milieu des années 2000, en particulier dans les pays du nord de l'Europe et en Asie. Ils sont considérés à juste titre comme plus pérennes et performants que les réseaux basés sur le cuivre.

Les évolutions actuelles portent davantage sur les technologies mises en œuvre que sur les architectures à proprement parler. En effet, plusieurs technologies coexistent :

- Ethernet point à point: une fibre de bout en bout entre le central de raccordement et l'abonné ;
- Ethernet point à multipoint (communément appelé *Active Optical Network*) : technologie utilisant un commutateur pour démultiplexer la fibre arrivant du central ;
- PON (*Passive Optical Network*) : technologie la plus déployée dans le monde aujourd'hui, s'appuyant sur un coupleur optique, équipement dit passif.

Les standards actuels permettent d'atteindre des débits théoriques très élevés, dépassant le Gbps. En réalité, en France, les offres actuelles sont de l'ordre des 100 Mbps. À l'avenir, les évolutions technologiques permettront de fournir des débits au-delà des 10 Gbps.

Néanmoins, le principal frein au déploiement des réseaux FTTx reste le coût de déploiement, car ils nécessitent des travaux de génie civil très onéreux. Les technologies et architectures mises en œuvre sont donc choisies en fonction de l'intérêt technique mais aussi du coût qu'elles représentent au regard du territoire concerné (urbain vs rural notamment).

## Applications

Les réseaux de type FTTx sont utilisés pour améliorer les connexions Internet et donc s'appliquent à l'ensemble des secteurs d'activités pour lesquels Internet devient un mode de communication inévitable.

Si pour l'heure aucune application ne justifie des débits de plusieurs Gbps, le déploiement de réseaux FTTx permet d'anticiper les besoins futurs, notamment ceux relatifs au développement de services liés à la santé ou à l'éducation en ligne.

En parallèle, certains secteurs en particulier requièrent déjà des débits élevés et de la symétrie, comme le jeu en ligne, la visiophonie et la télévision (TVHD, vidéo à la demande, TV3D). Aujourd'hui, les acteurs du très haut débit misent beaucoup sur ces types de services pour valoriser leurs nouvelles infrastructures fibre optique à court et moyen terme.

Les déploiements FTTx ne sont cependant pas encore généralisés et, hormis dans les pays les plus avancés comme le Japon où le FTTx est désormais la technolo-



gie d'accès Internet la plus répandue (le nombre d'abonnés FTTx a dépassé le nombre d'abonnés DSL courant 2009), seules les zones les plus denses des territoires sont concernées. La très grande majorité des opérateurs impliqués dans le haut débit a aujourd'hui défini une stratégie très haut débit intégrant de futurs déploiements de réseaux FTTx. D'autres acteurs, notamment publics, sont également impliqués mais doivent encore trouver les bons modèles économiques et positionnements dans la chaîne de valeur pour assurer un certain équilibre entre niveau d'investissements et tarifs pratiqués.

Au cours du dernier semestre 2009, la croissance mondiale du marché FTTx s'est confirmée puisque l'on compte fin 2009 plus de 63 millions d'abonnés FTTx à travers le monde (ce qui représente une croissance supérieure à 16 % sur six mois). En France, on comptait quelques 308 000 abonnés FTTH/B pour plus de 5,7 millions de foyers raccordables fin 2009.

## Enjeux et impacts

La technologie permet d'apporter sécurité et confort des connexions Internet directement liées à des besoins sociétaux grandissants et permettront par exemple de :

- favoriser le lien social et l'inclusion par le partage de photos, de musique, jeux en ligne ;
- faciliter l'accès aux contenus éducatifs concernant la formation ;
- réduire les déplacements grâce à l'utilisation facilitée de la visiophonie ;
- rendre plus performantes les entreprises par le partage instantané de données, la mise en relation des acteurs, des *process* ;
- favoriser le développement du commerce en ligne ;
- faciliter l'accès aux services publics en lignes ;

### Degré de diffusion dans l'absolu

<input checked="" type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



- faciliter l'usage du «télétravail» avec des capacités de communications améliorées ;
- rendre possible un certain nombre de soins médicaux à domicile et ainsi limiter les déplacements de patient.

Elle permet de lever un verrou majeur dans la problématique de l'évolution des débits, qui sont de toute façon limités par les capacités des réseaux cuivre actuels. Il s'agit d'une technologie diffusante de part la pérennité du support physique considéré (la fibre optique), qui, lorsqu'elle sera largement déployée, permettra d'assurer la connectivité et d'améliorer les échanges avec un impact inévitable sur la performance des entreprises, l'accès aux services en ligne, à la connaissance et l'information, tout comme sur le déplacement de personnes

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D publique** : Ill-V Lab, LPN, XLIM, Ircica
- **R&D privée** : au niveau industriel, Alcatel Lucent ; au niveau des opérateurs télécoms : Numéricable, France Télécom/Orange, SFR, Free/Iliad ; au niveau des acteurs du génie civil et des opérateurs d'infrastructure : Vinci/Covage, LD Collectivités, Sogetrel, Nexans, etc.
- ARCEP, Associations type Avicca (villes de France), pôles de compétitivité (Systematic, etc.)

## Position de la France

Après certaines réticences de la part des opérateurs en raison des incertitudes réglementaires, les déploiements se sont accélérés courant 2009. L'implication de Numéricable, mettant à niveau son infrastructure en

« poussant la fibre » jusqu'aux immeubles dans ses foyers existants, a eu un effet considérable sur nombre de foyers.

Le rôle du régulateur est prépondérant et les autorités nationales s'impliquent pour définir des règles visant à assurer un déploiement relativement homogène sur l'ensemble du territoire et à éviter une nouvelle fracture numérique.

Malgré un niveau d'offres commerciales relativement proches du haut débit actuel, la pénétration reste faible au regard du niveau de la couverture. Ce constat peut être fait dans d'autres pays où les tarifs sont parfois plus élevés, ce qui peut être un frein supplémentaire.

Alcatel-Lucent fait incontestablement partie des principaux équipementiers FTTx au niveau mondial en concurrence avec les Chinois Huawei et ZTE. Il fournit des réseaux PON aux opérateurs tels que France Télécom et SFR en France mais également des références outre-mer comme Verizon aux États-Unis ou encore Hanaro Telecom au Japon.

## Analyse AFOM

### Atouts

Réglementation qui se précise, plusieurs acteurs impliqués et volontaristes.

### Faiblesses

Diversité des technologies mises en œuvre par les différents opérateurs, incertitudes quant aux possibilités de mutualisation des infrastructures.

### Opportunités

Programme national THD pour lequel le gouvernement va abonder à hauteur de 2 Md€.

### Menaces

Efforts à fournir pour améliorer le taux de pénétration de la technologie auprès des foyers raccordables, concurrence par les technologies mobiles de quatrième génération.

## Recommandations

Suivre le programme national THD (très haut débit), dont l'objectif est de raccorder 70 % des Français au THD en 2020.

Volets spécifiques des investissements d'avenir.

Résoudre l'équation économique.

Mettre l'accent sur la qualité de service et la garantie de la disponibilité du service (essentiel pour les entreprises). Se focaliser sur la commercialisation des offres fibre optique.

## Liens avec d'autres technologies clés

14

16

22

29

### Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input checked="" type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input checked="" type="radio"/>	Moyen
<input type="radio"/>	Fort



## 16. Objets communicants

### Description

Le concept d'objets communicants fait essentiellement intervenir des technologies de communication, telles que le RFID (*Radio Frequency Identification*), incluant notamment le NFC (*Near Field Communications*), les communications dites de courte portée (Bluetooth, ZigBee, UWB, etc.) et les technologies mobiles (cellulaires mais également satellites).

Pour l'heure, cette technologie très jeune (phase de lancement) est en forte croissance.

Les principaux leviers de croissance résident dans :

- les retours d'expérience réussis (satisfaction du consommateur via les économies réalisées) ;
- la régulation au sein des différents marchés verticaux favorisant l'automatisation ou incitant à plus de suivi ;
- le niveau de maturité des technologies utilisées (technologies peu coûteuses).

Néanmoins, il existe encore de nombreux points de blocage :

- investissement initial et coûts d'installation élevés ;
- améliorations techniques nécessaires sur le *roaming* (ou itinérance internationale) pour le M2M par exemple ou les interférences sur le RFID ;
- chaîne de valeur très fragmentée avec une myriade d'acteurs (souvent PME voire TPE), pouvant mener à une identification plus complexe des fournisseurs et donc à une intégration technique plus difficile ;
- performances techniques pures autour de la sécurité des données (au niveau de l'accès), de la qualité de service (*end-to-end*), de la standardisation (favorise la massification).

### Applications

Cette technologie est utilisée dans plusieurs marchés verticaux à travers diverses applications :

- automobile/transport (télématique, gestion de flotte, logistique, etc.) ;
- énergie (télérelève de compteurs, smart grid, etc.) ;
- sécurité (télésurveillance, alertes, etc.) ;
- industrie (logistique, traçabilité, etc.) ;
- commerce de détail (paiement mobile, logistique, terminaux de paiement, etc.) ;
- électronique grand public (avertisseurs de radars, livre électronique, navigateurs GPS connectés, etc.) ;
- santé (e-santé).

L'objectif principal de ce type de technologie est de réduire les coûts opérationnels via l'automatisation, la réduction des déplacements et la réduction des erreurs. Les entreprises utilisatrices espèrent donc un retour sur investissement (ROI) rapide. Néanmoins, à plus long terme, certaines d'entre elles comptent générer des revenus significatifs

supplémentaires grâce à cette technologie en proposant de nouveaux services (service client, maintenance préventive, facturation à l'usage, etc.).

L'intégration de la technologie dans les processus ne se fait pas de façon automatique. Elle requiert le plus souvent une éducation-formation pour maîtriser les capacités du M2M ou du RFID et en profiter. Un certain temps d'adaptation est parfois nécessaire quant à la mise en œuvre de la technologie (problèmes lors de l'installation, taux d'erreurs plus importants que prévus). Ceci a donc un impact sur les processus en interne mais également sur le système d'information lui-même. Celui-ci doit intégrer de nouvelles données (engendrant donc de nouveaux coûts) et voit l'établissement de nouveaux modèles économiques avec un impact sur le service client. Par ailleurs, la réduction de coûts engendrée par la mise en place de la technologie est aussi une réduction de coûts en termes de ressources humaines.

Selon l'Idate, le marché total (matériel, connectivité, et services) du M2M devrait atteindre 14 Md€ en 2010 et 32 Md€ au niveau mondial en 2014. Selon le cabinet IDTechEx, le marché du RFID s'élevait à 5 Md\$ en 2008 avec 2,16 milliards de tags. Les projections font état d'un marché évalué à 17 Md\$ en 2013.

### Enjeux et impacts

La technologie répond aux enjeux sociétaux suivants :

- développement durable grâce aux applications de télérelève et *smart grid* permettant un meilleur contrôle des consommations énergétiques ;
- sécurité des biens, des personnes (physique ou alimentaire) et du territoire, grâce à un suivi à distance ;
- vieillissement de la population, avec des solutions d'e-santé permettant le maintien à domicile tout en maîtrisant les coûts.

Il s'agit d'une technologie diffusante car elle s'appuie sur des technologies matures, et elle se déploie dans le temps de manière croissante et durable.

Plusieurs effets positifs sont attendus notamment en termes de :

- productivité (plus d'automatisation) ;
- consommation énergétique (réduction des transports humains facilitée par les communications entre objets-machines, suivi de la consommation en temps réel permettant d'adapter les usages) ;
- fiabilité des produits et des processus (meilleure logistique, signalisation des pannes, etc.).

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D publique** : laboratoire LRIT, CEA-LIST, CEA-Leti LIG, Irit, LAAS, LIP6, RFTLab, Inria, Irisa, etc.
- **R&D privée** : France Telecom, SFR, Bouygues Telecom, Gemalto, Oberthur Technologies, Kerlink, SagemCom, Erco Gener, Violet, Tagsys, ASK, Withings, etc.
- **Pôles de compétitivité** (Images et Réseaux, Cap Digital, Systematic, Minalogic, SCS, AESE, etc.), association RFID Bretagne Développement, Centre National RFID, Forum des services mobiles sans contact, etc.

## Position de la France

Les acteurs français sont très présents et sur plusieurs maillons de la chaîne de valeur : le français Gemalto a racheté en juin 2010, Cinterion, leader mondial des fabricants de modules M2M ; Orange est très impliqué sur les problématiques de standardisation avec la présidence de l'Etsi (organisme de standardisation européen) sur la thématique M2M. Orange est également impliqué sur l'Internet des objets puisqu'il a été sélectionné pour mettre en œuvre une racine ONS (système de nommage pour les objets, équivalent au DNS pour le web) en France, posant ainsi la première brique d'un futur Internet des objets sur la base du réseau EPCglobal. La plateforme développée par GS1 France (entité française d'EPCGlobal) et Orange Business Services dépasse les frontières hexagonales et se positionne comme l'ONS Root Européen. Le régulateur Arcep est également très impliqué puisqu'il reste l'un des seuls (avec la CMT en Espagne) à prendre en compte le niveau d'avancement du M2M.

## Analyse AFOM

### Atouts

Plusieurs acteurs impliqués (notamment opérateurs) et volontaristes ; forte concurrence avec un impact sur les prix permettant une meilleure adoption ; de nombreux grands comptes intéressés par une telle technologie (automobile, aviation, énergie, transport, etc.) ; arrivée de l'électronique grand public connectée (livres électroniques, etc.) permettant une adoption massive plus rapide.

### Faiblesses

La crise a eu un effet retardateur sur le niveau de déploiement et donc sur l'adoption, et les retours sur investissements restent encore plus incertains en temps de crise. Par ailleurs, de nombreux efforts sont à fournir dans l'IHM pour favoriser les usages.

### Opportunités

Régulation et politiques publiques incitatives par secteur vertical ; développement de solutions plus fiables (qualité de service, sécurité) et plus complètes (*roaming*) ; appel à projet national « Usages innovants de la RFID et services mobiles sans contacts » Iper-SMSC.

### Menaces

L'Arpu reste encore très faible pour les opérateurs, limitant leur implication à court terme (pas encore d'investissement dans un réseau dédié).

## Recommandations

Les aspects relatifs à la normalisation auront un effet accélérateur sur le développement de la technologie. En effet, la standardisation rassurera les clients sur la compatibilité de la technologie et entraînera sa promotion par tous les industriels.

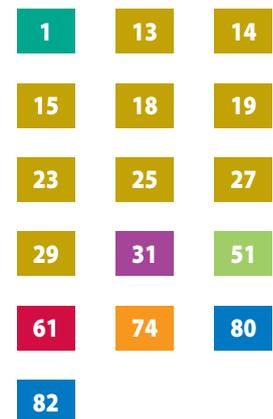
Les problèmes de sécurité liés d'une part, à la diffusion non maîtrisée d'informations, ainsi que d'autre part, aux attaques informatiques (attaques directes, virus, etc.), devront être étudiés.

Les aspects liés à la protection de la vie privée devront être transparents afin de dissiper toute possibilité de violation des ces données (accès, stockage, détournement de ces données) et renforcer ainsi le développement des usages.

Il sera important de travailler sur l'intégration matériel-logiciel ainsi que sur la problématique d'interopérabilité.

La fiabilité des réseaux de capteurs sans fils devra faire l'objet d'une attention particulière tout comme leur tolérance aux fautes.

### Liens avec d'autres technologies clés



### Maturité (échelle TRL)

● Émergence (TRL : 1-4)
● Développement (TRL : 5-7)
● Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

● Leader ou Co-Leader
● Dans le peloton
● En retard

### Potentiel d'acteurs en France

● Faible
● Moyen
● Fort



## 17. Technologies 3D



### Description

Les technologies 3D regroupent ici deux grands ensembles de technologies distinctes :

- la vidéo 3D relief, permettant d'offrir aux utilisateurs une immersion visuelle stéréoscopique : grâce à la projection d'images 3D et au port de lunettes spécifiques (sauf dans le cas d'écrans autostéréoscopiques), l'utilisateur est immergé dans l'image ;
- la réalité virtuelle, domaine scientifique et technique ayant pour objectif de simuler, dans un monde entièrement virtuel, le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou plusieurs utilisateurs en immersion pseudo-naturelle.

Avec l'arrivée de la 3D, la chaîne technique audiovisuelle doit s'adapter. Le principal point en suspens reste le format d'image retenu en l'absence de standard dans l'industrie. De plus, pour apprécier la 3D, le consommateur final doit s'équiper d'un nouvel écran (téléviseur-moniteur) compatible.

Les problématiques majeures de la réalité virtuelle sont quant à elles à la fois liées à la création du monde virtuel et à l'interfaçage entre le sujet et le monde virtuel :

- il faut modéliser et traiter informatiquement un monde virtuel évoluant en temps réel. Or les modèles peuvent être simplement descriptifs, au comportement déterministe, ou autonomes ce qui induit des temps de calcul généralement très importants ;

- dans les cas de la réalité virtuelle, les technologies 3D sont généralement propriétaires et faiblement interopérables ;
- la 3D sur le web doit encore faire face à la complexité technico-économique de la création de contenus 3D dans un environnement temps réel ;
- la complexité de la 3D est accrue sur mobile, du fait des processeurs plus lents sans carte graphique, mais la situation devrait progressivement s'améliorer avec l'accroissement des performances des terminaux ;
- enfin, le coût des équipements reste encore relativement élevé même si les coûts ont quelque peu baissé, notamment grâce à l'industrie du jeu vidéo qui a permis de réduire les coûts de cartes graphiques.

D'un point de vue connexe, la réalité virtuelle peut être associée à la réalité argumentée. Cette technique permet de financer des informations mesurées, évaluées sur des objets modélisés.

### Applications

L'industrie du jeu vidéo a permis de démocratiser la réalité virtuelle auprès du grand public.

Le succès des films d'animation en 3D, ainsi que la sortie prochaine de consoles de jeu vidéo 3D comme la Nintendo 3DS permet au grand public de se familiariser progressivement avec la 3D relief.

Mais au-delà de l'univers des loisirs, la 3D et la réalité virtuelle, sous leurs formes les plus simples comme les plus sophistiquées, deviennent progressivement des outils de travail parmi d'autres dans les entreprises :

- modélisation, prototypage virtuel, maquette numérique (industrie, architecture, urbanisme) ;
- simulation des processus de production, permettant de visualiser les activités, les contraintes et les risques ;
- formation professionnelle par le biais des *serious games* ;
- formation par simulateur (conduite de véhicules, aéronautique, médecine) ;
- téléprésence et visiophonie ;
- visualisation scientifique (visualisation du système nerveux central en 3D par exemple).

Après le son, l'image et la vidéo, le Web s'enrichit également de représentations totales ou partielles (objets) en 3D temps réel.

S'il n'existe pas de chiffres précis, le potentiel de la réalité virtuelle se chiffre d'après les spécialistes en milliards de dollars. À lui seul, le secteur des jeux vidéo a généré près de 51 Md€ dans le monde en 2009 selon l'Idate.

Les marchés du *serious game* et de la réalité augmentée sur mobile devraient connaître une croissance significative à moyen terme, avec respectivement 10,2 Md€

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

en 2015 (1,5 Md€ dans le monde en 2010) et 732 M\$ dans le monde en 2014 (2 M\$ d'après JuniperResearch en 2010).

Enfin, concernant la vidéo 3D relief, iSuppli prévoit que 4,2 millions de TV 3D devraient être commercialisées en 2010 dans le monde.

## Enjeux et impacts

Si l'ensemble de la chaîne technique dans le cinéma 3D semble répondre aux problématiques posées par la 3D, au vu de l'accroissement du nombre de films produits et de l'équipement des salles, l'horizon de la télévision 3D semble moins clair. Les contenus sont rares, les modèles économiques non établis et le niveau d'équipement des ménages en équipements terminaux compatibles est faible.

Quant aux enjeux liés à la diffusion de la réalité virtuelle, ceux-ci sont multiples :

- amélioration de la sécurité au travail et diminution des risques ;
- diminution des coûts de production grâce à la faculté d'anticiper dès la phase de conception des produits les difficultés liées aux cas complexes d'assemblage ;
- augmentation de l'attrait et de l'efficacité des formations par rapport aux méthodes traditionnelles ;
- thérapies comportementales de personnes malades (traitement des phobies, anxiétés, dépression) ;
- tourisme, visualisation de représentations 3D de territoires urbains de grandes dimensions (Google Earth, Ville en 3D de PagesJaunes, etc.).

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D publique** : Clarte, INT-Artemis, Irisa, CEA-List, Centre Européen de Réalité Virtuelle (CERV), Centre de Réalité Virtuelle de la Méditerranée (CRVM), IGN, Inria-Labri, INRS, Ircam, LIMSI, LRI, CSTB, etc.
- **R&D privée, réalité augmentée, réalité virtuelle** : Dassault Systèmes, Technicolor, Orange Labs, EADS, Thales, CS Communication & Systèmes, Ubisoft, SC2X, MASA Group, Immersion, Archivideo, Alioscopy, TechViz, Virtual I.T., Vertice, Haption, XD Productions, Optis, Simtean, Lumiscaphe, Genesis, Darkworks, TriOviz, Total Immersion, présence de petits acteurs comme Int13, Presselite, Niji, AFRV, APRV (Clermont- Ferrand), SELL, SNJV, SPFA, pôles de compétitivité (Images et Réseaux, Systematic, Imaginove, Cap Digital, EMC2 et Advancity), etc.

## Position de la France

La France bénéficie de la présence de plusieurs acteurs majeurs :

- Dassault Systèmes, leader mondial des solutions 3D et de gestion du cycle de vie des produits ;
- Thales, expert reconnu pour ses simulateurs de vols, ses systèmes d'entraînement et de formation et ses outils de modélisation ;
- Technicolor, qui se positionne sur le cinéma 3D, notamment en post-production.

La recherche française est au plus haut niveau, aux côtés des Américains, des Allemands ou encore des Japonais.

Relativement répandue au sein des grandes entreprises (Peugeot PSA Citroën, EDF, SNCF, etc.), la réalité virtuelle est toutefois encore peu utilisée par les PME.

Les *serious games* sont de plus en plus pris en compte dans le milieu professionnel, et principalement chez les PME encore peu sensibilisées à ces outils.

## Analyse AFOM

### Atouts

De grands leaders français, un tissu de PME particulièrement dynamique, une recherche française visible au niveau international et qui bénéficie de liens avec les entreprises.

### Faiblesses

Coût encore élevé des solutions de réalité virtuelle ; faible diffusion au sein des PME ; manque d'équipement des ménages en terminaux 3D.

### Opportunités

Réalité augmentée sur mobile ; 3D relief pour le cinéma et l'industrie du jeu vidéo.

### Menaces

Pas de standard sur la vidéo 3D ; industrie grande consommatrice de calcul engendrant des coûts importants ; risque d'augmentation de la fracture numérique (hausse significative des débits).

## Recommandations

Favoriser l'émergence d'un standard unique afin de ne pas renouveler la guerre de format HD et permettre à toute la chaîne de valeur de se structurer.

Mutualiser les infrastructures afin de baisser les coûts. Soutenir des appels à projets communs comme celui d'Oséo et du CNC destiné aux PME du multimédia et de l'audiovisuel.

## Liens avec d'autres technologies clés

18

24

29

### Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input checked="" type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

<input checked="" type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input checked="" type="radio"/>	Fort



# 18. Interfaces homme-machine

## Description

Les interfaces homme-machine utilisent un ensemble de technologies très diverses, qui utilisent des logiciels et des algorithmes en association avec des équipements très variés. Ainsi, les technologies d'IHM relèvent de plusieurs axes technologiques :

- les interfaces matérielles : joysticks, claviers, souris, écrans tactiles, télécommandes, manettes (spécifiques ou utilisées dans le jeu vidéo comme la wiimote de la console Wii de Nintendo) interfaces haptiques (ou à retour d'effort), caméras, microphones, moyens d'affichage (écrans, casques de visualisation, affichage holographique, etc.), tablettes de saisie, capteurs biométriques ou biomédicaux, etc. ;
- la conception des interfaces : ergonomie, design, psychologie cognitive, adaptation au contexte à partir d'hypothèses, etc. ;
- l'électronique et l'informatique de gestion des interfaces.

Les interfaces homme-machine existent depuis longtemps en ce qui concerne les interfaces avec les programmes informatiques. Une offre complémentaire s'est développée concernant les interfaces liées à Internet, avec de très nombreux usages dont le téléenseignement, le travail coopératif à distance et bien d'autres.

Grâce à la multiplication des logiciels embarqués et des microprocesseurs dans les équipements autres que des ordinateurs, les IHM se sont multipliées et enrichies. Les jeux vidéo constituent un facteur majeur d'innovation en introduisant de nouvelles techniques d'interaction (Wii de Nintendo, Kinect de Microsoft, PS3Move de Sony).

Les domaines algorithmiques et informatiques couvrent par ailleurs de nombreuses fonctions, parmi lesquelles on peut citer l'analyse et la compréhension des demandes d'un utilisateur humain à travers son observation (gestes, paroles, émotions), simulation et modélisation, manipulation et synthèse d'images 3D, prise en compte du temps réel, gestion d'interface « rich media », de widgets, etc.

Il faut ajouter les interfaces dites « surface computing », dont le multi-touch d'Apple, le tableau noir interactif, l'écran Surface de Microsoft, mais aussi les murs d'images interactifs.

Au-delà de ces diverses interfaces spécialisées, se développent des recherches dites multimodales permettant une immersion totale ou partielle dans un monde virtuel, avec des applications multiples. En effet, les plateformes de réalité virtuelle permet d'immerger l'utilisateur et de lui offrir une interaction intuitive avec l'environnement : grâce à un système de capture de mouvements (caméras infrarouges qui mesurent les mouvements de mar-

queurs posés sur l'utilisateur, gant de données, interfaces haptiques, etc.), les images sont recalculées en temps réel pour correspondre au point de vue de l'utilisateur et/ou s'adapter aux mouvements réalisés avec son corps (mouvement des doigts, des mains, des jambes, etc.). Des interfaces utilisateurs plus classiques de type clavier, souris ou manette peuvent néanmoins être utilisées. La parole peut également être utilisée, aussi bien pour commander que pour communiquer de la machine vers l'utilisateur.

## Applications

Il existe une offre importante d'outils d'aide aux développements d'IHM. Elle fait partie d'offres globales de grands acteurs de l'informatique comme Microsoft, Borland, IBM, Google ou Adobe. Au delà de ce marché, il existe une offre de service importante. Existent également des logiciels spécialisés pour la modélisation, la simulation et la génération d'interfaces dédiées à différents types d'équipements.

Les IHM sont centrales pour de nombreux secteurs d'application : électronique grand public, environnements industriels, automobile, défense, aéronautique, éducation, formation, travail coopératif etc.

Dans le domaine matériel, l'usage des interfaces haptiques se développe. Un volant, un gant, un bras haptique ou une manette à retour de force servent à recréer les effets de résistance liés à la conduite d'un avion ou d'une voiture, mais aussi d'une opération chirurgicale ou à la télémanipulation dans un milieu hostile.

Les interfaces neuronales directes viennent par ailleurs d'atteindre aux États-Unis le stade des toutes premières applications commercialisées (jeux vidéo, aide au handicap : écriture directe de texte).

En ce qui concerne les équipements, le marché des écrans tactiles est en forte croissance grâce au succès de terminaux comme l'iPhone, la Nintendo DS ou plus récemment l'iPad. Selon iSuppli, le marché des écrans tactiles a atteint, en 2008, 341 millions d'unités et 3,4 Md\$ en valeur et atteindrait 6,4 Md\$ en 2013 pour 833 millions d'unités. En 2009, l'office des brevets américains a décidé d'attribuer à Apple un brevet à une couverture très large sur l'interface *multi-touch* de l'iPhone.

## Enjeux et impacts

Il s'agit d'une technologie à très fort potentiel diffusant. Les enjeux sont multiples :

- les IHM facilitent, voire permettent le développement de produits, outils ou services innovants, dans l'ensemble des secteurs. L'usage de la réalité virtuelle permet de plus la conception d'IHM plus intuitives ;

### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



- elles sont un enjeu de productivité, notamment pour l'efficacité de l'usage de logiciels complexes. Elles constituent également un outil de compétitivité, car l'interface joue un rôle dans la décision d'achat d'un produit. Les producteurs d'automobile haut de gamme considèrent l'IHM comme une part stratégique de leur offre, qui fait partie de l'image liée à la marque, et est souvent développée en interne ;
- les IHM jouent également un grand rôle en matière de sécurité. En effet, le design et l'ergonomie d'un système peuvent avoir un rôle critique dans la prise en main d'un outil, l'efficacité d'une tâche à réaliser, le taux d'erreur de l'opérateur, etc. ;
- les IHM peuvent créer de nouveaux types de relation entre l'homme et les équipements qu'il utilise, en augmentant la « compréhension » par la machine des demandes humaines, mais aussi en facilitant le contrôle par l'homme de la machine. Cela peut faciliter l'accès à des services vers un plus grand nombre de personnes, personnes âgées ou handicapées notamment. Cela peut également modifier la façon dont nous jouerons, dont nous communiquerons et dont nous travaillerons ;
- le développement des espaces numériques de travail (ENT) sont un grand enjeu pour l'éducation et la formation.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D publique** : Inria, CEA, Télécom Paristech, l'Inserm, LIRMM-IHMH, Cena-PIL, Ircam, Institut de la Cognitique à Bordeaux (ENSC), Paris 8, LIMSI, etc.
- **R&D privée** : Orange Labs, Stantum Technologies, IntuiLab, Haption, Andelia, Axance, groupe Guillemot Corporation, Vocally, Kayentis, Immersion, etc.
- Logiciels professionnels la société PC Soft et de nombreuses sociétés de services
- AFIHM (Association francophone d'interaction homme-machine), pôles de compétitivité (Images et Réseaux, Imaginove, Systematic, Cap Digital Minalogic, Mov'eo), etc.

## Position de la France

Présence d'une recherche importante sur les diverses technologies utilisées dans les IHM.  
Présence de sociétés et d'agences offrant services et produits avec une expertise forte, combinant ergonomie, design et technologie, notamment sur Internet.  
Position plus faible dans les logiciels d'entreprise.

### Liens avec d'autres technologies clés

17

29

61

73

84

## Analyse AFOM

### Atouts

Existence d'une industrie de la défense et des jeux vidéo, compétences en médecine, en sciences cognitives, etc.

### Faiblesses

Les designers sont peu sollicités en amont.

### Opportunités

Beaucoup de synergies avec des activités proches : téléprésence, réalité virtuelle, robotique, RFID ; fortes avancées en reconnaissance vocale et en réalité augmentée ; enjeu important pour l'éducation et la formation.

### Menaces

Domination des États-Unis pour la partie logicielle.

## Recommandations

Encourager la structuration de la recherche au niveau de la conception et du design de systèmes fortement automatisés prenant en compte le facteur humain (psychologie cognitive, sociologie, physiologie, etc.).

Penser à solliciter les designers en amont dès la phase de conception.

Une mise en œuvre appropriée de techniques IHM spécifiques est essentielle pour le développement de l'environnement numérique de travail (ENT), qui vise l'ensemble de la communauté éducative.

### Maturité (échelle TRL)



Émergence (TRL : 1-4)



Développement (TRL : 5-7)



Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France



Leader ou Co-Leader



Dans le peloton



En retard

### Potentiel d'acteurs en France



Faible



Moyen



Fort



# 19. Ingénierie de systèmes complexes et systèmes de systèmes

## Description

Un système de systèmes (SdS) est un ensemble de systèmes autonomes interconnectés et coordonnés pour satisfaire une capacité et/ou réaliser un ensemble d'effets prédéterminés qu'aucun des systèmes constitutifs ne peut assurer seul. Une autre définition peut-être l'intégration de systèmes multiples afin de réaliser le comportement désiré de l'ensemble du système. L'ingénierie des systèmes de systèmes est un ensemble de *process* de développement, outils et méthodes pour designer, redesigner et déployer des systèmes de systèmes.

On parle de système complexe lorsqu'il devient très difficile de prévoir le comportement du système par le calcul. Ces méthodes fortement utilisées au niveau militaire et spatial sont de plus en plus appliquées et applicables au domaine civil (transport, santé, réseaux de télécommunications, exploration spatiale etc.). Un consensus général estime que l'ingénierie de systèmes traditionnels a atteint ses limites en terme de capacité à résoudre les problèmes d'intégration complexes.

L'informatique et les mathématiques avancées fournissent des solutions pour résoudre une partie de cette complexité. Ainsi ces systèmes complexes sont assez liés aux systèmes d'intelligence artificielle en particulier les systèmes multi-agents.

## Applications

Les applications sont nombreuses dans des domaines où la France est un acteur reconnu : électronique, industrie des télécoms, IT, défense, nucléaire, environnement, transport, santé, recherche spatiale, énergie...

De nombreux secteurs sont susceptibles d'utiliser l'ingénierie des systèmes complexes, mais son coût et sa maîtrise délicate la cantonne dans les solutions les plus pointues et les plus génératrices de valeur ajoutée.

Les mathématiciens français sont réputés pour la qualité de leurs algorithmes financiers et leurs capacités à optimiser ces mêmes réseaux financiers.

La génétique est un autre exemple de système complexe où les capacités de calcul ont permis à l'industrie de faire des avancées notables.

IBM et le gouvernement Irlandais utilisent la connaissance des systèmes complexes du premier pour optimiser les ressources de pêche du second.

Une autre application civile, avec un impact sociétal fort, est le projet *GAIA Virtual Sky* de Steria qui offre, par exemple, la possibilité d'optimiser différents processus de vol afin d'économiser la consommation d'énergies fossiles, etc.

En France, le SIGLE (Système de gestion logistique) de la Marine nationale est un système complexe de maintien en conditions opérationnelles. Sa complexité faisait que les bâtiments n'étaient opérationnels qu'à 55 %. Avec une approche méthodologique et outillée, une jeune pousse lyonnaise (rachetée depuis par SQLI) a fait grimper ce taux jusqu'à quasiment 70 %...

## Enjeux et impacts

L'ingénierie des systèmes de systèmes permet de répondre à des enjeux sociétaux, économiques et politiques de plus en plus complexes via la mise en partage des différents systèmes et ressources d'acteurs verticaux afin d'améliorer les processus et les produits pour ce secteur donné.

Cette approche, qui touche à quasiment tous les types de technologies, exige des profils de très haut niveau, métiers, informatique et organisationnels.

La maîtrise des systèmes complexes et leur ingénierie va devenir de plus en plus essentielle à mesure que la compétition s'étoffe, que la complexité de notre environnement s'accroît et qu'un seul acteur ne peut répondre seul à toutes les problématiques posées par son secteur.

C'est en maîtrisant un des systèmes les plus complexes qui soit, tant technique qu'organisationnel, à l'aide d'un système d'information solide qu'Airbus a pu développer l'A 380.

C'est une technologie essentiellement basée sur les services : organisation, modélisation, ingénierie, informatique, réseaux...

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : Inria, CEA-Leti, RNSC, CNRS (LAAS), École Polytechnique, Centrale Paris, CNRS LIRM, Systematic, Lips6, Cemagref, LySic, Université Paris 7
- **Éditeurs** : Ipanema, Oslo Software
- **SSII** : Altran, Akka, Alten, Steria, SQLI, Atos Origin, Groupe Helice, Ausy, Cybernetix
- **Utilisateurs** : EDF, EADS, Sagem, DCN, Dassault Aviation, Thales, Schneider Electric, Alcatel-Lucent, Vinci, Areva...

### Degré de diffusion dans l'absolu

<input checked="" type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



## Liens avec d'autres technologies clés

20

21

27

47

52

62

69

## Position de la France

La France a une longue tradition et une solide expérience d'ingénierie et de maîtrise de systèmes et de systèmes complexes.

Une bonne partie des points forts de l'économie française fait appel aux systèmes de systèmes et aux systèmes complexes.

La France dispose aussi d'une bonne école de mathématiques ainsi que de plusieurs instituts qui forment spécifiquement à ces approches.

## Analyse AFOM

### Atouts

Expérience, importantes industries clientes, école de mathématique, intelligence artificielle.

### Faiblesses

Discipline qui reste méconnue, difficulté à fédérer les parties prenantes pour monétiser des projets pilotes.

### Opportunités

Reconnaissance plus importante sur le marché, développement vers de nouveaux secteurs cibles : distribution, jeux en ligne, marketing...

### Menaces

La perte de nos capacités en mathématiques, nombre de compétences.

## Recommandations

Favoriser la collaboration entre les laboratoires publics, les PME innovantes et les grands comptes.

Disséminer plus largement ces concepts au sein des autres technologies.

Encourager la formation.

### Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



## 20. Calcul intensif

### Description

Depuis l'invention de l'ordinateur, on n'a cessé de vouloir augmenter ses performances, en particulier pour répondre aux besoins des secteurs les plus exigeants tels que le nucléaire ou le militaire.

L'augmentation des capacités de calcul conformément à la loi de Moore (doublement tous les deux ans) et la baisse du coût relatif de la puissance de calcul ont offert la possibilité aux entreprises de s'équiper avec des matériels informatiques suffisamment puissants pour utiliser des logiciels de simulation particulièrement gourmands en opérations.

Le calcul intensif, ou calcul à haute performance (HPC, *High Performance Computing* en anglais) est le processus d'utilisation de systèmes informatiques très avancés pour effectuer des tâches ou résoudre des problèmes complexes. Cette informatique se différencie de l'informatique classique qui est plus orientée transactions que puissance brute de calcul.

Le calcul intensif se base sur deux types d'architectures :

- les macroordinateurs ;
- les grilles de calcul, qui sont l'architecture la plus performante à l'heure actuelle.

Il existe trois types de calcul :

- le calcul vectoriel, qui était réservé aux macroordinateurs mais qui a été remis au goût du jour par les puces issues du monde du jeu vidéo ;
- le calcul parallèle ;
- la fusion de ces deux approches.

Le calcul intensif est basé sur des « super calculateurs », des machines fortement optimisées, intégrées à tous les niveaux (composants, bus, mémoires, entrées-sorties, etc...) et souvent conçus pour des tâches spécifiques.

Avec l'atteinte des limites de la loi de Moore, l'augmentation de la puissance de calcul réside dans la multiplication du nombre de cœurs, et en particulier pour le calcul intensif, dans le développement d'architectures massivement parallèles (jusqu'à plusieurs centaines de milliers de processeurs). Les architectures fortement distribuées, en grille et dans le « nuage » permettent aussi la création de capacités de calcul intensif à partir de matériels peu intégrés et totalement banalisés, comme un PC ou un serveur virtuel.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input checked="" type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input checked="" type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

### Applications

Les applications du calcul intensif concernent essentiellement la simulation et la recherche.

La simulation numérique désigne le procédé de représentation d'un phénomène physique. Elle exige une étape préalable, celle de la modélisation (traduction d'un



phénomène en langage mathématique).

On peut distinguer trois types de simulation :

- la simulation de conception qui s'effectue à partir d'une représentation approchée produite par la maquette numérique (CAO). Domaines d'applications : la mécanique, la mécanique des fluides, la science des matériaux...
- la simulation prédictive (simulation des phénomènes). Cette simulation exige une architecture déployant une grande puissance de calcul. On parle d'architecture parallèle. Domaines d'applications : nucléaire, météorologie...
- la simulation comportementale est une approche multi-agent consistant à décrire le comportement de chaque entité qui s'adapte à la situation courante. Domaines d'applications : systèmes complexes (trafics routiers, phénomènes biologiques et sociaux).

Pour la recherche, les applications sont tout aussi vastes : criblage statistique, synthèse de nouvelles molécules, recherche spatiale...

D'autre part, les applications tertiaires sont un des domaines qui se développent le plus rapidement du fait de la démocratisation des capacités de calcul et aussi, car ceux qui les possèdent ont maintenant la possibilité (offerte par les technologies du nuage) de les partager en toute sécurité avec des utilisateurs tiers. Les domaines les plus en vue sont :

- décisionnel en temps réel ;
- analyse prédictive fine des comportements humains ;
- marketing relationnel ;
- calcul, analyse financière...

### Enjeux et impacts

Le calcul intensif est un outil de souveraineté et de compétitivité nationales. Depuis 2007, la France et l'Europe l'ont bien compris et rattrapent leur retard avec plusieurs initiatives communes comme le Genci et Prace.

Le calcul intensif est très important pour la France, car ses industries de pointe en sont très consommatrices :

énergie, nucléaire, militaire, aérospatial, automobile... Cependant, les investissements correspondants sont très onéreux.

À titre d'exemples, le calcul intensif permet :

- d'éviter les essais physiques, (comme par exemple les essais nucléaires militaires) ;
- de réduire les coûts de prototypage nécessaires aux développements de nouveaux produits, et le délai de mise sur le marché (ainsi Renault a réduit de 50 % le temps de développement d'un nouveau véhicule) ;
- une optimisation des ressources et donc un accroissement de la productivité des entreprises, comme par exemple l'optimisation de la chaîne logistique des grands distributeurs.

Le développement d'architectures massivement parallèles basées sur des microprocesseurs banalisés induit un déplacement de la création de valeur et des verrous technologiques, susceptible de rebattre les cartes au niveau mondial. Ce tournant nécessite un vaste effort de R&D afin notamment de concevoir des logiciels adaptés à ces nouvelles architectures.

La démocratisation du calcul intensif se poursuit également par l'accès en ligne à ces outils en particulier en mode nuage. En ce sens, l'accès pour les PME à des capacités de calcul intensif est et sera, de plus en plus important pour leur compétitivité.

La dissipation thermique du calcul intensif, l'optimisation de la consommation et du refroidissement sont également des enjeux techniques forts pour cette filière.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- Genci (dont dépendent le CCRT, le Cines et l'Idris), Teratec (Systematic), CNRS (IDRIS & INS2I), École Polytechnique (LIX), Aerospace Valley, Minalogic
- CEA, EADS, Dassault Aviation, Snecma, Total, Thales, Areva...
- Bull, Schneider Electric
- Dassault Systèmes
- Ansys, HPC Project, CAPS, ActiveEon, Distene, Adacsys, Scilab Entreprises, Sogeti High Tech, Oxalya, Akka Technologies, Easy Group, etc.

## Position de la France

La France dispose d'atouts solides : une école mathématique et des laboratoires publics reconnus, la maîtrise technologique de la conception des architectures de calcul intensif, un tissu industriel actif regroupant des fournisseurs de certaines technologies et des utilisateurs de

calcul intensif. La France bénéficie de l'expérience de ses industries de défense, aérospatiale et nucléaire.

En revanche, la France dispose de peu de capacités de production de composants matériels.

La France a lancé plusieurs initiatives importantes pour rester dans le peloton mondial :

- projet européen Egi-Inspire, de grille de calcul distribuée à partir de PC mis en réseaux, et pouvant être utilisé par les centres de recherche. Le chef de file français est le CNRS ;
- Genci : Grand équipement national de calcul intensif (représentant français au sein du programme européen Prace) pour la recherche et pour partager des capacités de calcul entre centres de recherche français ;
- Teratec : pôle fédérateur pour le calcul intensif créée par le CEA et englobé dans Systematic. Ce centre est en train de déployer le TGCC qui abrite le Tear 100, le plus puissant ordinateur d'Europe. Teratec veut démocratiser l'usage du calcul intensif notamment par les PME.

## Analyse AFOM

### Atouts

Industries clientes puissantes et de pointe au niveau mondial, bons mathématiciens français, systèmes complexes, intelligence artificielle, logiciel libre.

### Faiblesses

Maîtrise de la couche matérielle.

### Opportunités

Calcul distribué en architecture nuage sur composants totalement banalisés.

### Menaces

Arrivée d'offres qui sont de plus en plus industrialisées de la part d'acteurs américains que ce soit du super ordinateur (IBM) ou du nuage (Amazon).

## Recommandations

Comme dans tous les pays développés, l'importance des investissements rend quasiment obligatoire l'intervention de l'État.

Collaboration européenne au niveau de la recherche et des partenariats public-privé.

Il est nécessaire de pérenniser le GENCI, car le calcul intensif sera toujours très important à l'avenir.

Développer les formations et les compétences.

Intensifier le couplage entre la recherche publique et les entreprises en particulier les PME.

Pérenniser l'industrie française du calcul intensif, en particulier l'intégration de systèmes.

## Liens avec d'autres technologies clés

1

23

26

### Maturité (échelle TRL)

	Émergence (TRL : 1-4)
	Développement (TRL : 5-7)
	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

	Leader ou Co-Leader
	Dans le peloton
	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

	Faible
	Moyen
	Fort



# 21. Progressive/Intelligent Manufacturing

## Description

Afin d'engendrer des gains de productivité significatifs, l'informatique dans les usines doit gagner en agilité, en intégration, en automatisation et en intelligence entre les multiples fonctions qui la composent. Pour ce faire, beaucoup de solutions développées pour l'informatique de gestion peuvent être adaptées à l'informatique de production.

Un système de production a donc une dimension technique et une dimension économique.

La dimension technique comprend les éléments suivants :

- le PLM (*Product Lifecycle Management*) qui englobe les outils de conception, de gestion des données et de collaboration ;
- la CAO (Conception assistée par ordinateur). La CAO mécanique regroupe tous les logiciels destinés à la modélisation ou à la définition. La CAO électronique regroupe tous les logiciels d'étude, d'analyse utilisés dans les étapes de conception logiques ou physiques des circuits, qu'il s'agisse de circuits imprimés, intégrés ou spécifiques, ou encore de systèmes électroniques ;
- le PDM (*Product Data Management Systems* ou Système de gestion des données techniques) regroupe tous les logiciels et toutes les procédures permettant aux industriels de gérer les données d'ordre technique, que ces dernières soient liées à la définition des produits conçus par l'entreprise ou liées aux procédés utilisés pour les fabriquer. Un système de PDM est un lieu de convergence et un outil d'intégration des informations provenant des différents systèmes informatiques de l'entreprise ;
- la simulation permet de développer des solutions de manière virtuelle ; sa maîtrise est également un important facteur de compétitivité, car elle permet de repousser sans cesse la limite technique et scientifique pour que

le virtuel parvienne à représenter le réel de manière la plus exacte possible. La simulation enregistre des avancées très fortes, grâce à la disponibilité de capacités de calcul haute performance, le développement de logiciels et solveurs capables de coopérer pour prendre en charge des problèmes multiphysiques et multiéchelles et l'émergence en France de pôles de compétence capables de faire le lien entre les problèmes concrets des entreprises et les capacités logicielles et matérielles les plus avancées disponibles (Teratec, EHPOC, CSDL, IOLS).

La dimension économique est composée des éléments suivants :

- le MES ou (*Manufacturing Execution System*) le système de gestion de la production et des ressources. Le système d'exécution des fabrications est une solution logicielle qui s'intercale entre le niveau du contrôle commande (occupé par les automatismes et la supervision) et le niveau de planification (ERP). Il assure l'exécution des fabrications et devient un outil essentiel pour la maîtrise et l'optimisation d'un système de production ;
- le SCM (*Supply Chain Management*) pour la gestion de la chaîne logistique, voire des entrepôts et des stocks ;
- le PGI (progiciel de gestion intégré), qui gère financièrement l'ensemble des activités de la société ;
- un ou plusieurs des systèmes suivants : PPM (gestion de projets et de portefeuille de projets), ordonnancement, gestion des temps, portails...

Le *progressive & intelligent manufacturing* a pour vocation d'intégrer tous ces silos, comme ce fut le cas avec les approches portail (IHM), BPM (*process*), EAI (logique applicative), ETL (données) dans l'informatique de gestion. Cette intégration, donnant une meilleure vision et de meilleurs moyens d'action sur la production, permet d'obtenir un système agile et flexible, voire proactif.

## Applications

Tous les secteurs de l'industrie, mais on peut mentionner en particulier des secteurs historiques tels que : la pharmacie, l'automobile... Les domaines privilégiés sont la mécanique, l'électronique et la construction: automobile, matériel de transport (aéronautique...) et l'électronique. Par extension, le PLM, dans le sens de gestion des données durant l'ensemble du cycle de vie, touche tous les secteurs et notamment les biens de consommation, les télécoms...

## Enjeux et impacts

Le PLM permet de réduire les temps de conception des produits afin de répondre à la volatilité actuelle de la demande et au souhait de dépersonnalisation du produit, à la réduction des coûts (une maquette virtuelle coûte



### Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

### Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

moins cher qu'une maquette physique). Elle répond aussi aux problématiques organisationnelles actuelles de l'entreprise étendue en facilitant la conception en collaboration avec les sous-traitants.

Cela permet également de répondre aux exigences traditionnelles : performance-productivité (automobile...). Les avancées très fortes de la simulation numérique, ont été rendues possibles par la convergence de trois facteurs :

- des capacités de calcul intensif ;
- des logiciels et solveurs devenus capables de coopérer pour prendre en charge des problèmes multiphysiques et multiéchelles ;
- l'émergence en France de pôles de compétence capables de faire le lien entre les problèmes concrets des entreprises et les capacités logicielles et matérielles les plus avancées disponibles. Cette nouvelle offre concrète se développe autour de grands projets de pôles comme Teratec, EHPOC, CSDL, IOLS.

Par ailleurs, la maîtrise de la simulation numérique est un facteur de compétitivité très important car elle permet de développer en avance de phase des solutions de manière virtuelle. L'enjeu consiste à repousser sans cesse la limite technique et scientifique pour que le virtuel parvienne à représenter le réel de manière la plus exacte possible.

Un autre enjeu de taille est la très lente convergence sur des décennies des univers de la technique et de l'économie. Parmi les raisons qui expliquent cette observation nous pouvons citer :

- la lenteur de la mutation des organisations industrielles ;
- la complexification induite par la mondialisation en termes d'allocation de ressources industrielles ;
- le partage historique du marché entre les acteurs de la technique et de la gestion, qui ont eu chacun à subir de profondes mutations dans leur domaine informatique propre.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- Systematic, Minalogic, Aérospatiale Valley, LIESP, ENS Cachan, LNE
- Altran, Alten, Akka, Thales, SQLI, Steria, Courbon, Bodet...
- Dassault Systèmes, Lectra Systèmes, Missler Software, Courbon, Planisware, Ortems, Lascom, Spring

## Position de la France

La France est un des pays développés où l'industrie reste importante, certes moins qu'en Allemagne, mais plus qu'en Grande-Bretagne. La France est aussi positionnée dans des industries à forte valeur ajoutée comme l'aérospatial et la défense.

Concernant les technologies, la France est bien positionnée :

- plusieurs éditeurs de logiciel sur des domaines comme le MES, l'ordonnancement et le PLM ;
- une forte expérience et de nombreuses compétences dans les entreprises d'ingénierie ;
- la recherche dans le domaine est de bon niveau ;
- les compétences fortes en systèmes embarqués ;
- fusion croissante entre l'informatique et l'ingénierie.

## Analyse AFOM

### Avantages

Base industrielle Hi-Tech solide, Dassault Systems, de nombreuses compétences et société de services, des éditeurs logiciels et la maîtrise de certaines technologies clés (algorithmique, optimisation, intelligence artificielle...).

### Faiblesses

Mauvaise intégration de l'informatique sur les chaînes de production, coupure assez nette entre l'informatique de production et l'informatique de gestion.

### Opportunités

Il n'y a pas encore de champion(s) sur ce marché, les places sont à prendre, consolidation et écosystème autour de Dassault Systèmes, les SSII.

### Menaces

Arrivées prochaines d'IBM, Oracle et SAP sur ce segment, rachat d'entreprises nationales par des géants mondiaux.

## Recommandations

Développer la recherche publique autour de ces technologies.

Protéger les champions français du domaine, et leur permettre d'accéder plus facilement à la recherche publique.

Développer les formations sur ces technologies dès le niveau bac.

Créer des passerelles avec les technologies connexes : systèmes complexes, embarqué, robotique...

## Liens avec d'autres technologies clés

13

18

20

27

### Maturité (échelle TRL)

	Émergence (TRL : 1-4)
	Développement (TRL : 5-7)
	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

	Leader ou Co-Leader
	Dans le peloton
	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

	Faible
	Moyen
	Fort



## 22. Optoélectronique

### Description

L'optoélectronique (ou photonique) se présente comme la rencontre de trois sciences, l'optique, l'informatique, l'électronique.

Les systèmes optoélectroniques sont des dispositifs qui permettent de générer, conduire, traiter et détecter la lumière. La nature, l'échelle et les longueurs d'ondes des systèmes considérés sont très variées allant jusqu'au TéraHertz et aux rayons X ou gamma.

Selon un travail de l'Agence française de l'optique photonique (AFOP), de la Société française d'optique (SFO) et les pôles d'optique, basé sur une consultation de 150 experts scientifiques et industriels, la photonique intervient dans six grands domaines rassemblant 21 technologies :

- télécoms : transmissions optiques courtes distances, fibres et composants, systèmes et réseaux ;
- santé et vivant : systèmes photoniques d'analyse pour la santé, systèmes d'imagerie médicale, capteurs photoniques pour le vivant, lasers pour la santé ;
- énergie, éclairage, affichage : LED et OLED, photovoltaïque, photonique et infrastructures de recherche, affichage et réalité augmentée ;
- *manufacturing* et contrôle : lasers et procédés industriels, techniques de fabrication de systèmes optiques, procédés industriels et mesures optiques ;
- surveillance, sécurité, spatial : systèmes d'imagerie complexes pour l'observation et la surveillance, capteurs d'images, sources capteurs et réseaux de capteurs ;
- matériaux et technologies génériques : nanophotonique et couches minces optiques, microélectronique et photonique, technologies et sources lasers, nouveaux matériaux et nouveaux composants.

### Applications

L'optoélectronique est une technologie applicable à de nombreux marchés. Elle est extrêmement répandue car elle couvre l'énergie et l'environnement, les sciences de la vie et la santé, la défense et la sécurité, les matériaux et la recherche.

Le marché mondial de l'industrie photonique a un fort potentiel de croissance avec 267 Md€ en 2008 et une estimation à 370 Md€ d'ici à 2020.

La croissance annuelle du marché de la photonique atteint 15 % en moyenne faisant de ce secteur l'un des plus dynamiques. La part de l'Europe est estimée à environ 43 Md€.

La France est, avec l'Allemagne et l'Angleterre, un acteur majeur de la R&D en photonique en Europe. Elle représente, en effet, environ un tiers de l'activité R&D dans ce domaine au niveau européen.

### Enjeux et impacts

La photonique permettra de développer de nouvelles technologies et de nouveaux produits durables.

L'industrie française de la photonique représente actuellement environ 50 000 emplois, auxquels il faut ajouter environ 150 000 emplois induits. Du point de vue économique, c'est aussi plus de 1000 entreprises réalisant 10 Md€ de chiffres d'affaires. La recherche française en optique photonique représente 200 laboratoires et 13 000 chercheurs. Son développement est susceptible de permettre la création de nombreux emplois à forte qualification.

L'activité industrielle française en photonique est répartie sur l'ensemble du tissu industriel, allant de quelques grands groupes, aux PME et start-ups. En comparaison avec l'Allemagne, le tissu français est comparable par sa taille, voire supérieur au niveau des grands groupes mais plus faible pour les PME et les entreprises de taille intermédiaires (ETI).

De plus, la photonique est reconnue par la commission européenne comme une des cinq technologies clés aux côtés des matériaux avancés, des nanotechnologies, de la micro-nanoélectronique et des biotechnologies.

Il s'agit donc de maintenir une excellence scientifique et technologique française, sur des marchés cibles et des marchés de prestige, comme l'astrophysique, le spatial, la défense, le nucléaire.

### Acteurs

#### Principaux acteurs français

• **R&D** : CEA et Leti, Cnes, CNRS, Foton, Femto-ST, IEF, IEMN, INL, Institut d'Optique Graduate School, Institut Fresnel, LAAS, Laboratoire Kastler Brossel, LCFO, LPN, Observatoire de Paris - Meudon, Onera, CPMOH

• **Intégrateurs et utilisateurs** : Amplitude, Alcatel-Lucent, BFI Optilas, Dassault, Cilas, Cnes, Cognex France, Cristaux&Détecteurs, EADS, Essilor, I2S Vision, Imagine Optic, Kinoptik, Quantel, Lord Ingénierie, Optis, Peugeot, Renault, Sagem, Satimage, Saint Gobain Horiba Jobin Yvon, Seso, SOITec, ST Microelectronics, Teem Photonics, Tekcm, Thales, Ulis. Autres membres de l'afop, de la SFO et des pôles

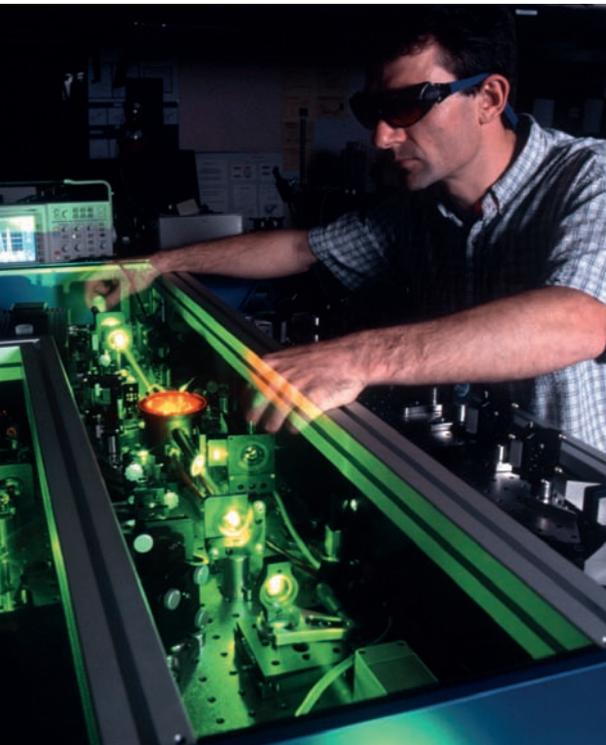
• **Centre de compétences** : AFOP, Anticipa, Elophys, la Société française d'optique, ALPhA-Route des lasers, Minatec, Minalogic, Optics Valley, Popsud-Optitec, Irepa Laser, Rhenaphotonics Alsace, Systèmes complexes d'optique et d'imagerie

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



## Position de la France

Au niveau européen la France se positionne en deuxième position derrière l'Allemagne. En effet, le nombre de PME et d'ETI y est plus fort qu'en France. Un écart qui pourrait s'accroître avec les problématiques liées à la transmission de ces entreprises en France.

Cependant, le territoire français dispose d'une grande force R&D et d'un tissu de PME très attractives, de qualités mondiales, certaines leaders sur leur marché. La spécificité française est sa capacité à innover et la très haute valeur ajoutée de ces produits. Par ailleurs, la France possède des savoir-faire et une recherche académique et industrielle de pointe.

## Analyse AFOM

### Atouts

Convention de partenariat entre Elopsys, Route des Lasers et Optitec qui va permettre d'engager des synergies sur les axes stratégiques, un fort potentiel académique et la participation à de grands projets européens (ITER, Extremely Large Telescope, Cérimed, ELI).

### Faiblesses

Filière industrielle fragile et des pôles manquant de moyens pour réaliser des applications plus larges (imagerie, éclairage, etc.) ; manque d'ETI bien positionnées en France et sur le marché mondial.

### Opportunités

De nombreux secteurs sont concernés (électronique, énergie, environnement, défense, santé et biomédical, transport, grands instruments scientifiques, équipement scientifique, équipement industriel, TIC, astronomie et spatial, aéronautique, etc.) et un secteur très dynamique bénéficiant d'une forte croissance (15 %).

### Menaces

Développement de technologies issues des programmes de recherche actuels des pays concurrents ; des savoir-faire présents en Asie et aux USA avec une concurrence euro-dollar (le chiffre d'affaires à l'export représente 50 % du chiffre d'affaires total de l'optique photonique française).

## Recommandations

Renforcer la complémentarité entre les systèmes et les composants optiques, dans une perspective d'industrialisation de la filière.

Investir sur des technologies émergentes et de croissance à fort débouché marché (photonique pour l'imagerie médicale, systèmes d'éclairages intelligents, matériaux optiques pour le photovoltaïque, vision artificielle). Renforcer le développement économique des pôles, en adressant des marchés applicatifs plus larges (imagerie médicale, éclairage LEDs et OLEDs, green photonics).

Il est nécessaire de favoriser l'émergence d'ETI bien positionnées capables de dynamiser les grands groupes et de tirer les PME vers des marchés mondiaux.

Afin de renforcer le lien entre industrie et milieu académique, il faut favoriser les collaborations entre industriels français et laboratoires. Cela peut être réalisé en associant l'expertise industrielle aux grands programmes de recherche nationaux.

De plus, le soutien à la R&D industrielle sur les technologies où le tissu de PME et d'ETI est particulièrement actif doit être accru. L'innovation dans ce secteur doit, en effet, être soutenue.

La France doit également influencer sur les orientations de la commission européenne en soutenant la participation des entreprises françaises dans les instances de réflexion et les appels à projets.

En outre, dans un contexte mondial, il est important d'accroître la présence française à l'international.

Tous les grands pays industrialisés ont aujourd'hui des programmes en cours concernant la recherche photonique excepté la France et cela devrait être corrigé.

### Liens avec d'autres technologies clés

14

15

#### Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input checked="" type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

#### Position de la France

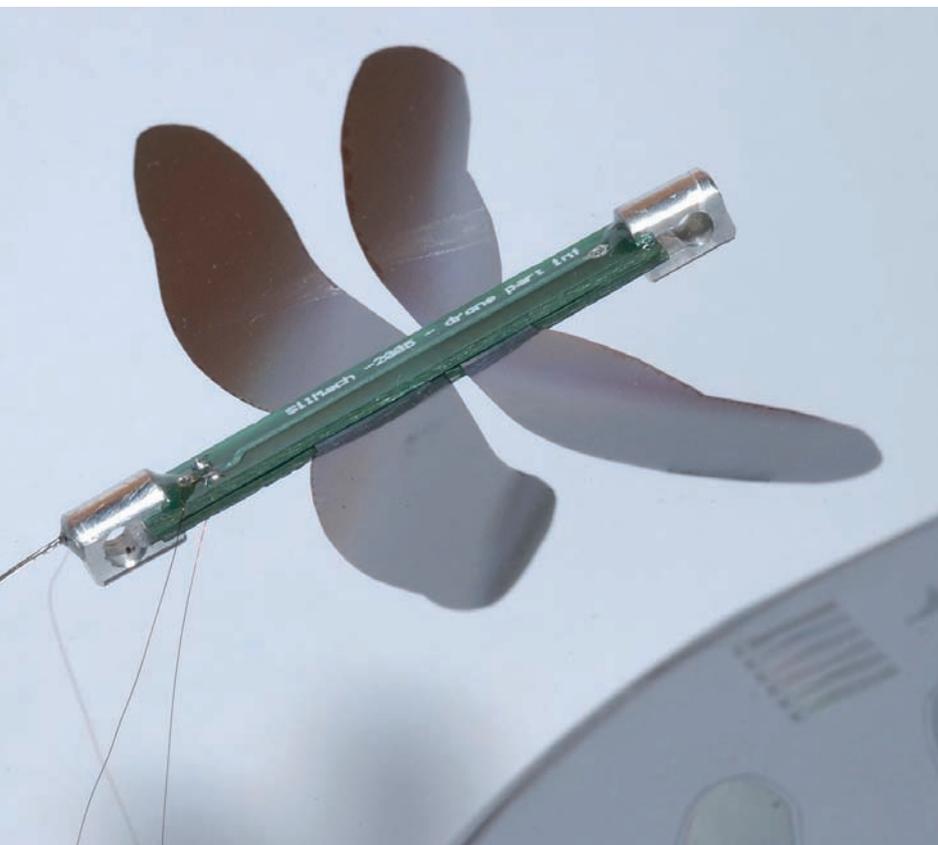
<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

#### Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input checked="" type="radio"/>	Fort



## 23. Nanoélectronique



l'électronique moléculaire et l'usage de nanomatériaux (nanotubes de carbone), qui permettraient de passer outre les limites physiques de la technologie.

Les développements technologiques, mais aussi la taille des tranches de silicium, qui atteint maintenant 300 mm (avec des initiatives controversées pour développer des tranches de 450 mm) ont contribué à une croissance considérable du prix des usines de production (une ligne de production peut atteindre 4,5 Md€). Les technologies de production, l'obtention de rendements élevés sont des facteurs clés de succès technologique. Une recherche en cours est le développement des « minifab », permettant de produire à des coûts compétitifs des circuits en moindre volume.

La structure de l'industrie nanoélectronique a subi des modifications majeures. Face aux producteurs intégrés (IDM pour *Integrated Device Manufacturers*) qu'étaient les grands acteurs européens et américains, se sont développées les fonderies asiatiques, centrées sur le développement des techniques de production, mais aussi les sociétés « fabless ». Par ailleurs, l'ampleur des coûts de production et de R&D a amené de nombreux acteurs à développer des stratégies de mutualisation, d'externalisation des coûts et de concentration sur les produits les plus rentables.

Les acteurs des microsystèmes sont souvent les producteurs de semi-conducteurs, mais aussi des développeurs et intégrateurs de systèmes électroniques (Thales, e2v, Martec, Elvia, Eurofarad ou 3D-Plus, *spin off* de Thomson).

### Description

A l'approche des limites physiques, les nouveaux développements sont désormais classés en deux catégories : « More Moore » consiste à poursuivre le plus loin possible les progrès technologiques (*next génération CMOS*), « More than Moore » vise à tirer le meilleur parti des technologies existantes, en utilisant de nouveaux concepts architecturaux : *system on a chip* (SoC), *system in package* (SiP). On parle alors notamment d'intégration hétérogène, dont un procédé majeur consiste à empiler des puces identiques (mémoires), mais aussi de différentes natures tels que circuits numériques, circuits analogiques, circuits de puissance, capteurs, composants RF, diodes, etc. en utilisant de courtes interconnexions verticales. En ce qui concerne l'intraconnexion dans le silicium, la principale filière technologique est le TSV (*through-siliconvias*).

De tels développements imposent aux acteurs un effort permanent de R&D qui place l'industrie de la nanoélectronique parmi les industries consacrant le plus important pourcentage de leur chiffre d'affaires en R&D, avec une valeur située entre 18 % et 20 %.

Le mot nanoélectronique est aussi utilisé pour des recherches beaucoup plus avancées, qui concernent notamment

### Applications

Il est difficile de trouver un équipement professionnel ou grand public n'utilisant pas des circuits intégrés. La baisse considérable des coûts a contribué à cette diffusion (le prix d'une mémoire 1 Mo est passé de 75 000 € en 1973 à 0,03€ en 2005, et devrait passer à 0,01 € en 2017). C'est un marché dont la croissance mondiale n'a pas cessé, et dont les potentialités de croissance sont encore considérables. Elle est caractérisée par des cycles économiques très marqués, liés notamment aux évolutions anticipées des industries clientes. Selon les données du WSTS, le marché mondial des semi-conducteurs va atteindre 291 Md\$ en 2010, contre 226 en 2009 mais 270 en 2008. Les croissances prévues pour 2011 et 2012 sont respectivement de 5,6 % et 4,2 %.

Les industries utilisatrices ont lié des liens forts de coopération et de partenariat dans la R&D, voire dans la production. Ces liens permettent aux producteurs de semi-conducteurs de développer et de produire les produits les plus avancés pour les nouveaux marchés, et aux indus-

#### Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

#### Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

tries utilisatrices de disposer de produits performants et innovants par rapport à la concurrence. De ce fait, l'industrie microélectronique européenne est forte pour les circuits spécifiques visant notamment les domaines de l'automobile, des équipements industriels, des télécommunications ou des cartes à puce. Pour les produits de très grand volume, et notamment les mémoires, on a assisté à une très forte concentration, et une domination du marché par les acteurs asiatiques.

## Enjeux et impacts

Un enjeu direct est le maintien d'une activité française, ou au moins européenne dans ce secteur clé. De 2004 à 2010, la part du marché européen dans le marché mondial a baissé de 18 % à 13 %, et la part de la production en Europe a baissé de 12,5 % en 2004 à 9,6 % en 2009.

Les évolutions technologiques permettent non seulement d'introduire de nouvelles fonctions, mais aussi d'abaisser de 40 % le coût d'une fonction chaque année. La baisse permanente des coûts et l'augmentation continue des performances contribue à l'apparition de produits et applications innovants dans tous les secteurs.

Ces technologies permettent la miniaturisation des nombreux objets portables (téléphone mobile, mais aussi passeport électronique ou carte de santé).

La nanoélectronique contribue également aux gains de productivité et de compétitivité de l'ensemble des industries, mais aussi des services et des services publics. La baisse de la consommation énergétique des solutions s'appuyant sur les microsystèmes devrait aussi bénéficier à tous les secteurs.

Garder une présence et une compétence forte en microélectronique, avec une capacité tant de production que d'innovation est considéré comme une condition clé de la compétitivité pour les principaux pays industriels.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D publique** : CEA-Leti, Minatec, LAAS, LTM, IEMN, IEF, LPN, LIRMM, Tima, etc.
- **R&D privée** : STMicroelectronics, ST Ericsson, Soitec, Thales Micro, Altis, FREESCALE, Eurofarad, etc.
- **Pôle de compétitivité** : Minalogic, Catrene, Aeneas (Eniac), cluster Euripides du programme Eurêka, etc.
- **Instituts Carnot**, **Coordination Nationale de la Formation en Microélectronique et en nanotechnologies (GIP CNFM)**, etc.

## Position de la France

Présence d'un leader mondial STMicroelectronics, seul industriel européen dans les dix premiers mondiaux.

Existence d'un pôle majeur de R&D à Grenoble-Crolles. Présence d'un grand nombre de sociétés spécialisées notamment dans la conception de circuits et systèmes (Catrene a une centaine de membres en France).

En ce qui concerne l'activité microsystèmes, la France est le premier acteur du cluster européen qui lui est dédié, Euripides.

## Analyse AFOM

### Atouts

Présence de STMicroelectronics et d'utilisateurs industriels, acteurs mondiaux dans leur secteur ; niveau important de R&D publique et privée, présence d'une recherche et d'une industrie au niveau mondial.

### Faiblesses

Quasi absence en mémoires avec une concentration très forte des producteurs de microprocesseurs et la domination d'Intel.

### Opportunités

Systèmes embarqués ; recherche en nanoélectronique avancée.

### Menaces

Compétition très forte des acteurs mondiaux ; poids de la R&D et des investissements.

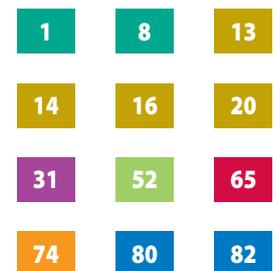
## Recommandations

Stimuler la demande pour de nouvelles applications.

Soutenir l'effort de R&D face à des besoins forts et croissants, et une concurrence mondiale, même si cet effort vise plusieurs domaines (*More Moore, More than Moore*, interconnexions et microsystèmes).

Encourager le développement de la production en France, ainsi que des outils, méthodes, équipements et matériaux nécessaires pour les nouveaux développements.

## Liens avec d'autres technologies clés



### Maturité (échelle TRL)

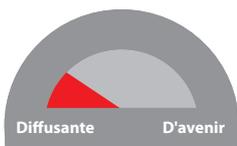
●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



## 24. Technologies de numérisation de contenus

### Description

La numérisation de contenus est un procédé visant à construire une représentation discrète d'un objet du monde réel (pellicule vidéo, image, audio, caractères d'imprimerie, bâtiments, etc.) sous la forme d'un fichier informatique et donc numérique. Une conversion est ensuite possible dans différents formats numériques. Par ailleurs, le développement de la numérisation fait également appel à d'autres technologies telles que les techniques d'indexation pour classer ces contenus et faciliter leur accès.

La numérisation de contenus fait typiquement intervenir un scanner, des outils de reconnaissance optique de caractères (OCR), des technologies de quantification, d'échantillonnage et de compression, des éléments de stockage, etc. Par ailleurs, la numérisation de contenus bénéficie de nombreuses innovations tel le procédé de numérisation de livres fermés (sans avoir à les ouvrir), de documents imprimés ou manuscrits, reliés ou en liasses, sans avoir à les séparer, au moyen d'un système d'imagerie d'un objet en trois dimensions par ondes térahertz (1 THz = 1012 Hz).

Pour l'heure, la numérisation de contenus est en forte croissance car très jeune (phase de lancement) et concerne potentiellement des milliards d'œuvres artistiques (littéraires, musicales, cinématographiques, voire sculpturales), mais aussi environnementales (zones naturelles, sous-marines, villes numériques) ou autres (doubles numériques de personnalités, etc.). Elle adresse notamment des contenus anciens, de nombreux contenus étant désormais directement créés sous forme numérique, mais adresse également des objets voués à être réalisés sous forme physique. Dans le cas de contenus créés directement sous forme numérique, des conversions peuvent être nécessaires selon le réseau de distribution et/ou le terminal de lecture du contenu.

Les principaux leviers de croissance résident dans :

- l'essor d'Internet et l'explosion de la demande de la part des utilisateurs qui veulent consulter ces œuvres à distance, et à travers le monde ;
- l'accès à l'information plus rapide et parfois moins cher (baisse des coûts de distribution) ;
- la standardisation des supports numériques ;
- la compression avec la possibilité de stocker des centaines de titres musicaux, littéraires, etc. dans un tout petit objet ;
- le niveau de maturité des technologies utilisées (intérêt technique et économique) ;
- la numérisation des réseaux de diffusion (TV et Internet).

Néanmoins, il existe encore de nombreux points de blocage :

- les problèmes liés au respect du droit d'auteur et la question de la monétisation des contenus avec la possibilité de copier à l'infini sans altération du contenu ;
- l'industrialisation due à la fragilité du support (état ou niveau d'usure selon l'œuvre) reste faible avec un impact direct sur les coûts de numérisation ;
- la chaîne automatique de reconstruction 3D est particulièrement complexe ;
- pour certaines œuvres, la version numérisée n'égalera jamais la version originale, à cause de l'absence du contexte (les sculptures par exemple).
- le manque de techniques visant à garantir la conformité de la version numérisée par rapport à l'original (notamment pour l'architecture, l'urbanisme) ;
- l'application à grande échelle de la numérisation, dont les coûts sont parfois plus élevés que la valeur du contenu numérisé (contenu de niche).

### Applications

Cette technologie est utilisée essentiellement dans les industries suivantes à travers diverses applications :

- l'industrie de la culture, notamment dans le cadre de la numérisation d'œuvres artistiques, ainsi que pour l'accès à distance aux bibliothèques. Cela a un impact direct dans le secteur de l'éducation et la formation ;
- l'urbanisme et le tourisme avec la représentation 3D de monuments et de certains bâtiments. Le projet Terra Numerica, dont Thales est le chef de file, a notamment pour objectif le développement des technologies nécessaires à la production et à l'exploitation visuelle de représentations 3D de territoires urbains de grandes dimensions ;
- l'électronique grand public pour la consommation des contenus numérisés (livres électroniques, baladeurs numériques, ordinateurs, etc.).

Mais elle peut aussi être mise en œuvre dans toutes les industries et administrations disposant de fonds patrimoniaux importants (état civil, etc.).

L'objectif principal de ce type de technologie est de sauvegarder, diffuser et valoriser le patrimoine (notamment national) mais aussi tous les contenus au sens large. Elle permet aussi aux utilisateurs de stocker leurs contenus personnels.

L'intégration de la technologie dans les processus ne se fait pas de façon automatique. Elle requiert une généralisation de lecteurs compatibles (audio, vidéo, fichiers texte, etc.). Par ailleurs, la diffusion de cette technologie nécessite une standardisation qui n'est pas encore géné-

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input checked="" type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

ralisée sur les œuvres littéraires (Amazon a par exemple un format propriétaire non interopérable). Ceci implique de convertir sous plusieurs formats les contenus numérisés, ce qui ralentit la diffusion de ce type de technologie et l'adoption par le grand public.

Dans le domaine du livre numérique, la numérisation concerne rapidement des volumes impressionnants. Par exemple, Gallica, la bibliothèque numérique de la Bibliothèque nationale de France (BNF), propose déjà plus d'un million de documents en ligne (livres, manuscrits, cartes, images, partitions, etc.). De même, en février 2010, Google Books comptait 12 millions d'ouvrages numérisés. Par ailleurs, en termes de coûts, la BNF estime que la numérisation d'un livre coûte entre 0,12 et 0,74 € par page, suivant la complexité de la page.

## Enjeux et impacts

La technologie répond aux enjeux sociétaux suivants :

- accès rapide aux contenus et à l'information, n'importe où dans le monde, permettant une meilleure diffusion de la connaissance, qui joue un rôle majeur dans les pays avancés qui poussent le développement d'une économie de la connaissance ;
- sauvegarde, diffusion et valorisation du patrimoine culturel dans un contexte de croissance forte du volume de contenus disponibles. Les versions numériques sont par ailleurs plus faciles à indexer, ce qui facilite la découverte de l'information et donc les usages.

Un enjeu important est la pérennité des supports de données dans le temps.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D publique** : Ina (numérisation d'anciens documents audiovisuels), BNF, Inria, IGN, Armines, ENS Louis Lumière, Ircam, etc.
- **R&D privée** : Thales, Jouve, Diadeis, laboratoires Eclairs, Universciné (plateforme de vidéo à la demande de films indépendants, contribuant à numériser d'anciennes œuvres cinématographiques), etc.
- **Pôle de compétitivité** : Cap Digital, APIE, Polinum (plateforme collaborative de R&D pour la numérisation et la valorisation des fonds patrimoniaux) regroupant i2s, Arkhenom, Exalead, Amanager, le CEA-LIST, LaBRI et Isako, etc.

## Position de la France

La France est leader sur cette technologie avec les États-Unis.

Beaucoup d'acteurs français sont présents, en qualité de fournisseurs de technologie (conception, etc.) ou comme clients utilisateurs permettant une bonne diffusion.

## Analyse AFOM

### Atouts

Plusieurs acteurs impliqués et volontaristes (politiques et culturels) ; conscience nationale vis-à-vis de la préservation du patrimoine culturel.

### Faiblesses

Peu d'investissements privés en raison d'un coût très élevé et avec introduction de formats propriétaires ; débat autour des droits d'auteur.

### Opportunités

L'État consacre 750 M€ à la numérisation du patrimoine culturel dans le cadre des investissements d'avenir

### Menaces

Monétisation des œuvres une fois numérisées assez difficile ; piratage et falsification croissants.

## Recommandations

Promouvoir le traçage des contenus via des techniques de tatouage numérique visant à ajouter des informations de droit d'auteur, voire un identifiant unique dans le fichier numérisé, afin de mieux protéger les contenus.

Les systèmes de gestion collective des droits sont devenus d'une très grande complexité. Ils nécessitent des simplifications via de nouvelles solutions techniques facilitant le suivi des usages.

Harmonisation des formats de méta-données pour favoriser le développement d'applications.

## Liens avec d'autres technologies clés

17

28

### Maturité (échelle TRL)

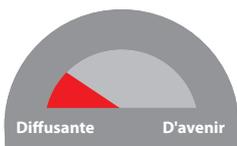
	Émergence (TRL : 1-4)
	Développement (TRL : 5-7)
	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

	Leader ou Co-Leader
	Dans le peloton
	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

	Faible
	Moyen
	Fort



## 25. Sécurité holistique

### Description

Les systèmes logiciels de sécurité visent à prévenir, détecter et limiter les attaques malveillantes de manière quasiment holistique à l'encontre des systèmes, des contenus, des services et des personnes. Ils se fondent en particulier sur la cryptologie et la sécurité au niveau de la donnée elle-même.

Ces systèmes doivent assurer l'intégrité, la confidentialité, la disponibilité et la traçabilité de la donnée et de ses traitements.

En effet, les SOA, le Cloud, le Web 2.0, etc. impliquent une imbrication de plus en plus forte. Ils rendent désormais nécessaire la mise en place d'une politique de sécurité au niveau de la donnée. Elle se base fortement sur la gestion d'identités, mais aussi sur la sémantique.

Cette approche complète la sécurité « traditionnelle », dite « périmétrique » : anti-virus, pare-feu, UTM, gestion des identités, SSO...

La sécurité doit aussi être déployée sur une multiplicité de terminaux avec des besoins et des failles de sécurité très différentes.

Ces technologies sont en cours de développement et encore peu déployées sauf dans des environnements très spécifiques et critiques, et sous forme de développements spécifiques.

### Applications

La sécurité holistique a des applications dans tous les secteurs et à tous les niveaux de l'entreprise. Cependant, certains secteurs sont très demandeurs : finance, administration, services informatiques, fabrication des composants électroniques, militaire, défense, aérospatial...

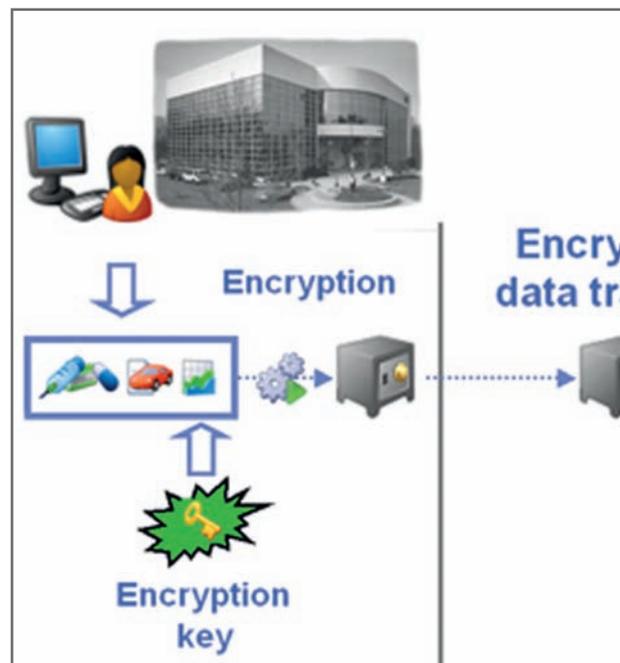
Le *Cloud Computing*, qui est en train de fortement impacter les systèmes d'information ne peut se concevoir sans des niveaux élevés de sécurité globale.

C'est tout aussi critique pour les entreprises qui basent leur modèle sur l'informatique : le commerce électronique bien sûr, mais aussi la banque, l'assurance, les télécoms...

Même des secteurs plus traditionnels comme l'automobile ont des besoins croissants de sécurité que ce soit pour la confidentialité de leur R&D ou pour la sécurisation de leur chaîne logistique.

### Enjeux et impacts

Premièrement, la sécurité est un marché dynamique et le marché de la sécurité progresse continuellement malgré la récession économique. Le rachat de McAfee par Intel ou d'ISS par IBM montre tout l'intérêt qu'il y a autour de ce marché où les marges sont très fortes (30 % de marge opérationnelle pour Symantec).



La Sécurité n'est plus vue comme un monde à part mais comme une composante essentielle et intrinsèque de tout système d'information.

Selon PAC, les revenus des éditeurs de solutions de sécurité atteindraient 11,3 M€ en 2010 au niveau mondial avec une croissance supérieure à 10 % en 2010 par an jusqu'en 2015.

Plus généralement, le marché mondial de la sécurité des systèmes d'information était estimé à 43 M€ en 2009 avec une croissance de 11 % par an.

La sécurité holistique est un catalyseur pour les autres technologies informatiques.

Elle est critique pour la confiance dans l'économie numérique et la protection de la vie privée.

L'informatique devenant de plus en plus importante dans l'activité des entreprises et dans la vie privée des Français, la sécurité informatique devient ainsi critique. Elle peut même être la source de défaillances d'entreprises.

La sécurité informatique est critique pour la souveraineté nationale : espionnage industriel et militaire, altération de services clés (énergie, réseaux, finance...), cyber terrorisme, cyber criminalité...

La sécurité est une discipline assez intensive en services associés. Les compétences en sécurité sont souvent très spécifiques ce qui en fait des populations assez à part.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : CNRS Renater, Inria (Laboratoire de la haute sécurité Informatique à Nancy), INT-Artémis, Systematic (projets SIC, Mobisic), LRI (Paris 11/CNRS), Laboratoire d'informatique de l'École Polytechnique, LSE (Epita/Groupe Ionis), CEA List, GET/INT
- **Matériels** : Gemalto (via Gemplus), Oberthur, Trusted Logic
- **Industriels** : Thales (Cryptage), EADS (Sodern), Sagem, Alcatel-Lucent, Orange
- **Logiciels** : Arkoon, Netasq, Bull Evidian, Edenwall, Sinovia

## Position de la France

La France a précisé sa position en commençant à aligner ses moyens de sécurité autour des recommandations du « Livre blanc de la défense » qui définit les orientations pour se préparer aux attaques informatiques majeures. La France est championne incontestée des cartes à puces.

Parmi les champions pour les systèmes de sécurité critiques et complexes de par sa bonne maîtrise de l'algorithmique, en particulier dans le domaine militaire, la cryptologie et les PKI.

En revanche, la France est peu présente sur les outils les plus matures de sécurité « périmétrique » comme les anti-virus ou les pare-feu. Les champions sont les Américains et les Israéliens.

Plusieurs initiatives publiques ont été lancées comme le soutien aux pôles de compétitivité Images et réseaux, systématic, SCS (Solutions communicantes sécurisées), TES (Transactions électroniques sécurisées)...

## Analyse AFOM

### Atouts

Cryptologie, laboratoires, technologies militaires, fabricants de cartes à puce, prise de conscience gouvernementale.

### Faiblesses

Peu présent dans les marchés de masse et à l'international.

### Opportunités

De grands industriels (télécoms, aérospatial et défense) sont impliqués.

### Menaces

Arrivée des géants de l'informatique sur ce marché.

## Recommandations

- Encourager la recherche fondamentale en algorithmique, qui est la base de la sécurité.
- Mise en place de filières intégrées autour de la sécurité informatique, incluant le matériel, la cryptologie, le logiciel, les services...
- Sensibiliser le grand public et les entreprises au conséquences d'une sécurité informatique négligée.
- Exiger plus de sécurité des systèmes qui sont en dépeinement dans le « nuage ».
- Renforcer le pouvoirs de l'ANSSI, le BSI allemand étant un bon exemple.

## Liens avec d'autres technologies clés

26

28

29

### Maturité (échelle TRL)

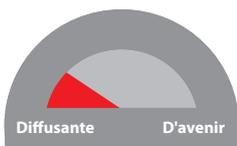
●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



## 26. Virtualisation et informatique en nuages

### Description

La virtualisation en soi n'est pas une technologie jeune mais la virtualisation sur architecture X86 l'est. La virtualisation est l'étape technique vers le concept de *cloud computing*.

Le « Cloud Computing » ou informatique en nuages, est un concept majeur de l'informatique, celui qui mobilise le plus d'investissements à l'heure actuelle.

C'est un environnement de stockage et d'exécution élastique de ressources informatiques impliquant plusieurs acteurs, connectés par Internet.

Cet environnement délivre un service mesurable, à la demande, à granularité variable et qui implique des niveaux de qualité de services. On passe progressivement pour certaines parties du système d'information à une informatique à la demande, mutualisée et automatisée. Cette optimisation de l'utilisation des machines permet aussi à l'informatique d'être plus verte. La technologie critique est le multi-tenant.

### Applications

Il y a trois principaux niveaux d'interactions de l'informatique en nuages :

- IaaS (*Infrastructure as a Service*), qui fournit de la capacité informatique pour le stockage ou pour obtenir plus de puissance de calcul ;
- PaaS (*Platform as a Service*), qui fournit une plateforme d'outils de conception, de développement et de test ;
- SaaS (*Software as a Service*), qui fournit des services applicatifs comme le CRM ou la messagerie.

Il y a aussi trois types d'informatique en nuages :

- Public : capacités mutualisées chez un opérateur tiers (Amazon, Google, Salesforce, OBS, Microsoft...);
- Privé : architecture en nuages réalisée en interne (e-Bay),
- Hybride : qui mixe public et privé.

Les applications de l'informatique en nuages « publique » concernent potentiellement tous les secteurs, pour leurs applications et infrastructures banalisées : CRM, RH, bureautique, stockage, développement et test. C'est particulièrement prometteur au niveau des PME.

Pour ce qui est de l'architecture en nuage privée, ce sont plutôt les moyennes et grandes entreprises qui vont la mettre en place, pour tous types d'applications. Par la suite, ces entreprises pourront aussi avoir recours aux offres publiques pour des besoins soit très généralistes comme la messagerie, soit pour des besoins très spécifiques comme du calcul intensif ou des besoins ponctuels de puissance informatique.

Les premières entreprises françaises à déployer ces technologies sont les opérateurs télécoms, à la fois pour leurs



besoins internes et pour fournir des applications, avec des tiers, au marché.

### Enjeux et impacts

C'est le marché le plus dynamique en France, en Europe et dans le monde : 780 M€ en France, 4 000 M€ en Europe en 2009 et un taux de croissance annuel moyen de 33 % jusqu'en 2015.

L'informatique en nuages va impacter l'ensemble de l'écosystème IT : constructeurs, éditeurs, prestataires de services, opérateurs télécoms...

En mutualisant et automatisant fortement certaines fonctions informatiques pour la plupart banalisées, l'informatique en nuages libère des budgets pour des projets plus porteurs de valeur ajoutée. Par ailleurs, par la flexibilité qu'elle induit, elle donne aussi beaucoup d'agilité au processus métiers des entreprises.

Comme pour le haut débit, l'infrastructure en nuages (le IaaS) devrait être considérée comme une infrastructure essentielle à la compétitivité de la France. En effet, si les entreprises et administrations françaises dépendent de fournisseurs étrangers, cela peut entraîner des problèmes de sécurité et de dépendance. Une plateforme

#### Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

#### Degré de diffusion en France

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

ouverte en logiciel libre serait très certainement un atout pour les entreprises françaises.

De plus, une telle infrastructure pourrait aussi résoudre la problématique du sous-équipement chronique des PME françaises en informatique.

L'informatique en nuages étant en partie une industrie lourde, nécessitant de lourds investissements en centres de données, elle va avoir besoin de mesures de soutien. Cette nouvelle architecture va permettre aux éditeurs logiciels d'étendre leur potentiel en se libérant des contraintes physiques, mais il va leur falloir redévelopper leurs logiciels et digérer le changement de mode de facturation (des problèmes de trésorerie sont à prévoir).

L'informatique en nuages est aussi la base des réseaux sociaux et des jeux sur Internet, deux segments très prometteurs.

Au niveau du service, la technologie est assez riche en services d'intégration de haut niveau, mais en automatisant des tâches simples, elle supprime aussi certaines activités riches en services.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : laboratoire MAS de Centrale Paris, Inria, CNRS, Irla, LRI, École normale supérieure de Lyon, Linria...
- **Logiciel libre** : projet OSCI d'OW2 en cours de déploiement chez France Télécom. C'est une plateforme logicielle complète libre
- **Opérateurs télécoms** : OBS, SFR
- **Éditeurs** : Dassault Systems, Cegid, Esker, Oodrive...
- **Spécialistes** : Systancia, CommomIT, Taleo, RunMyProcess, Faascape...
- **SSII** : Caggemini, Atos Origin, Linkbynet, ASPway...
- **Industriels** : Thales, Priceminister.com, Bull, Société Générale, La Poste...

## Position de la France

Sur le segment SaaS, la France a quelques acteurs spécialisés et des éditeurs traditionnels qui commencent à se positionner. Sur les autres segments de l'informatique en nuages, on retrouve les opérateurs télécoms. Les opérateurs télécoms européens devraient structurer une bonne partie du marché « Nuage » en Europe. Mais le marché est encore largement dominé par les américains tant au niveau de la technologie (VMware) que de la prestation de services : Amazon, Google Salesforce, Microsoft...

La France est une zone attractive pour installer un centre d'informatique en nuages : sa position géostratégique, son important marché accessible, la réglementation de la CNIL, de l'énergie peu chère, de bons réseaux télécoms...

La France héberge le projet en logiciel libre le plus abouti : OSCI d'OW2.

Vue à juste raison comme un segment crucial pour la souveraineté de la France, l'informatique en nuages fait l'objet de toutes les attentions. Le gouvernement français prévoit aussi d'allouer 780 M€ du « grand emprunt » pour le développement de l'informatique en nuage. Un appel à contribution pour Andromède a été lancé ; il s'agit de la principale plateforme nationale en nuages pour un budget estimé à 500 M€.

## Analyse AFOM

### Atouts

Pays le plus « intensif en logiciel libre », importante industrie des télécoms et du service informatique.

### Faiblesses

Un marché comparativement petit pour une industrie basée sur les volumes, pas d'acteurs d'envergure mondiale.

### Opportunités

Une plateforme en logiciel libre, des aides publiques pour l'infrastructure en nuages.

### Menaces

Lock-in d'acteurs nord-américains sur leurs technologies, asphyxie des acteurs français.

## Recommandations

Il faut considérer la partie infrastructure du *Cloud Computing*, l'IaaS (capacité de calcul et de stockage) comme une infrastructure critique, un enjeu de compétitivité et de souveraineté nationale à l'instar du haut débit.

Les administrations ne doivent pas dépendre de plateformes en nuages « étrangères », il faut donc une plateforme française de IaaS.

La régulation sur l'expatriation des données et sur la sécurité des plateformes devrait être renforcée.

Un canevas de développement (PaaS) *a minima*, doit être accessible aux entreprises françaises, afin d'éviter tout « emprisonnement » de leurs développements sur des plateformes non standardisées.

## Liens avec d'autres technologies clés

15

20

25

28

29

### Maturité (échelle TRL)

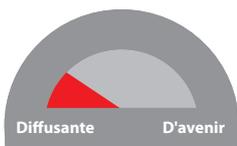
●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



## 27. Logiciel embarqué et processeurs associés

### Description

Un logiciel embarqué est un logiciel permettant de faire fonctionner une machine équipée d'un ou plusieurs microprocesseurs, censés réaliser une tâche spécifique avec une intervention humaine limitée.

Les systèmes embarqués sont des systèmes combinant logiciel et matériel, fonctionnant de manière autonome mais pas isolée et délivrant des fonctions élaborées. Ces systèmes sont soumis à des règles de sûreté assez diverses mais généralement fortes.

L'enjeu des prochaines années sera d'effectuer la transition vers des microprocesseurs tenant compte des problèmes quantiques.

Ces dernières années ont été témoins de la diffusion des processeurs multi-cœurs. Leur utilisation s'étend aux *devices mobiles* (exemple netbooks), tirés par le développement des applications multimédias. Les processeurs multi-cœurs montent en complexité et, après des produits à architecture symétrique (cœurs identiques), commencent à apparaître les processeurs à architecture asymétrique (cœurs différents).

Au niveau logiciel, les applications existantes doivent être révisées afin d'exploiter la puissance de plusieurs processeurs. Le marché évolue également vers les systèmes intégrés (SoC : système complet sur puce avec un ou plusieurs microprocesseurs (MPSoC), de la mémoire, etc.) et vers les systèmes programmables (FPGA : reprogrammable après fabrication) et des systèmes spécifiques (ASIC, ASSP). Les nanotechnologies trouvent également ici toutes leurs applications (nanocomposant, miniaturisation).

Du microprocesseur au SoC, les problématiques restent la réduction de la taille des composants, l'amélioration des performances, la dissipation de la chaleur, la basse consommation, la réduction des courants de fuite, l'usage de nouveaux matériaux, etc. Ce segment englobe aussi les problématiques de conception des SoC complexes de conception intégrant les aspects matériels et logiciels. L'intégration de ces processeurs avec des logiciels embarqués est de plus en plus courante et reste une force de l'industrie française.

Cette capacité d'intégration est critique et exige par ailleurs des compétences de modélisation et d'architecture de systèmes très poussées, et nécessite donc beaucoup de services associés. Tout le cycle de vie du développement et de l'intégration du module embarqué est primordial, en particulier les tests qui permettent la certification selon les standards nationaux ou industriels.

### Applications

De nombreux secteurs, parmi les plus importants en France sont friands de ces technologies : high-tech, médical, automobile, aéronautique, spatial, défense, domotique...

Pour des raisons de performance et de coûts, les processeurs embarquent de plus en plus de logiciels. C'est évidemment le cas dans les systèmes embarqués comme l'avionique mais c'est aussi de plus en plus le cas dans des architectures d'informatique de gestion.

Ainsi, dans un an, les puces Intel vont embarquer les outils de sécurité de McAfee, pour faire face aux contraintes de l'informatique en nuages.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



Les SoC et microcontrôleurs se retrouvent à tous les niveaux, industrie comme produits finis de grandes consommations, et ils viennent apporter de la puissance et de l'agilité aux couches applicatives. Les problématiques soulevées par ces équipements rejoignent celles de l'embarqué : performances, coûts, taille...

## Enjeux et impacts

La France compte 220 000 emplois dans les systèmes et logiciels embarqués. L'embarqué représente 15 % du marché du logiciel et des services, soit près de 5 500 M€ en France en 2009.

Les systèmes embarqués trouvent leur place dans de nombreux véhicules, outils nomades, et dans les domaines de haute technologie : spatial, défense, nucléaire, militaire, vidéosurveillance... Ce sont des domaines d'excellence de l'industrie française.

Certaines de ces applications sont très porteuses : intelligence artificielle, objets communicants, transports intelligents, *progressive manufacturing*, robotique...

Enjeux de recherche technologique :

- les architectures multi-cœurs homogènes et hétérogènes ;
- la programmation des architectures massivement parallèles ;
- l'intégration de composants nano dans les systèmes ;
- les *Operating Systems* temps réel critiques ;
- la sûreté de fonctionnement des systèmes embarqués ;
- la fiabilité et la robustesse des systèmes dans leur environnement.

Les logiciels embarqués sont riches en services associés, car ce sont des systèmes généralement assez spécifiques.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : Systematic, Aerospace Valley, Inria, CEA/List, CNRS-INPG-Verimag
- Altran, Alten, Esterel Technologies, Geensys, Capgemini/Sogeti, Assystem, Akka Technologies, Thales, EADS, Dassault Aviation, ST Microelectronics, Aonix
- **Alcatel, Altera, Achronix, Atmel, BlueSilicon, Cypress, Latti**
- **Acteurs des microprocesseurs** : Actel, Altera, Achronix, Atmel, BlueSilicon, Cypress, Lattice Semiconductor, Nallatech, QuickLogic, SiliconBlue, Tabula, M2000, Tier Logic, Xilinx

## Position de la France

La France est un des champions au niveau mondial avec les États-Unis (industrie militaire), l'Allemagne et le Japon (robotique).

Il y a une très forte utilisation dans les secteurs les plus importants de l'économie française : aéronautique, défense, automobile, télécoms.

Par contre, la France maîtrise peu les composants et les processeurs qui sont au cœur de ses systèmes.

## Analyse AFOM

### Atouts

Nombreuses compétences, forte expertise, de solides industriels, performances à l'exportation.

Maîtrise de certaines briques technologiques comme les processeurs standardisés.

### Faiblesses

Pas assez d'ouverture internationale de certains donneurs d'ordre.

### Opportunités

Mobilité, objets communicants, robotique, *progressive manufacturing*, sécurité globale, meilleure participation aux standards internationaux.

### Menaces

Déploiement de plus en plus important de technologies machines standardisées, difficulté de la certification de microsystèmes réalisés chez des fondeurs étrangers.

## Recommandations

Aider les spécialistes français du service à surmonter la crise qui a lourdement affecté leurs marchés.

Considérer les prestations de services comme partie intégrante du processus industriel.

Renforcer les filières de formation, les industriels prévoyant une pénurie de compétences à moyen terme.

Développer encore plus les partenariats public-privé à l'instar de certains pôles de compétitivité.

## Liens avec d'autres technologies clés



### Maturité (échelle TRL)

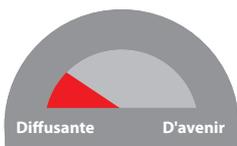
●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



## 28. Valorisation et intelligence des données



### Description

On regroupe sous cette dénomination la gestion et l'exploitation des données structurées et non structurées. Cela inclut les sous-segments suivant : les bases de données, les outils de *Business Intelligence* et les ETL, PIM et EII, le MDM et les outils ECM, BI, sémantique et moteurs de règles métiers. Indépendamment de leurs tailles ou de leurs secteurs, les sociétés considèrent à une quasi-unanimité, que leurs informations (données structurées et non structurées) sont un actif stratégique. Les éléments les plus souvent déployés sont les solutions d'intégration de données et de *Business Intelligence*. On trouve ensuite la qualité des données, et enfin, la gouvernance des données.

Parmi les premiers bénéfices attendus d'une gestion unifiée des informations, le référentiel unique se détache nettement. En effet, ce référentiel est très important pour améliorer l'efficacité de l'organisation et respecter les différentes réglementations nationales et sectorielles.

Les principales problématiques liées à la gestion unifiée des informations sont surtout de deux ordres : coûts et organisation. Les avantages métiers qu'apporte une gestion unifiée des informations sont avant tout l'amélioration et l'optimisation de la production, la gestion globale de la connaissance au sein de l'entreprise, la meilleure gestion financière de l'entreprise et des meilleures capacités en marketing et en ventes de l'entreprise.

### Applications

Tous les secteurs sont susceptibles d'implémenter des solutions de valorisation et d'intelligence des données. Les secteurs les plus friands sont les secteurs qui utilisent un grand nombre de données : les télécoms, la finance, la distribution, mais aussi la défense nationale...

Il y a trois étapes :

- l'utilisation de tous les types de données présentes dans l'entreprise ;
- l'utilisation des données externes à l'entreprise comme celles qui sont sur les réseaux sociaux ;
- la corrélation et l'analyse de ces données en vue de trouver des moyen d'action.

Ce sont ces technologies (moteur de web sémantique, moteur ontologique, moteur de règles) qui ont permis de réaliser le référentiel unique des données de l'A 380 d'Airbus.

Le moteur de recherche est en train de devenir l'outil décisionnel et de gestion de la connaissance des architectures Internet. Ainsi toutes les caisses du Crédit Agricole sont en train de basculer vers une architecture de poste client qui sera basée sur le moteur de recherche Sinequa.

À l'heure actuelle, les applications les plus en vue sont l'analyse prédictive (du comportement, de l'efficacité d'une chaîne logistique...), la sémantique, la CAO, le PLM et le marketing sur Internet.

Quelques éléments de cadrage :

- plus de 130 milliards de requêtes sont effectuées tous les mois sur Internet d'après comScore. En décembre 2009, plus de 22,7 milliards de requêtes ont été effectuées aux États-Unis, tandis qu'en France, près de 5,5 milliards de requêtes ont été effectuées ;
- en janvier 2010, Google détenait 89,2 % de part de marché en France selon AT Internet Institute. Aux États-Unis, la part de marché de Google s'élevait à 65,4 % en février 2010 selon comScore ;
- IBM y a investi 10 milliards USD, en R&D et en acquisitions : Cognos, SPSS, Filenet...
- Baidu, en Chine, a supplanté Google entre 2005 et 2010.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input checked="" type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

## Enjeux et impacts

La donnée est la matière première de l'informatique. On s'est rendu compte, après avoir successivement optimisé la plupart des couches des systèmes d'information, que la prochaine « frontière » était la donnée. De plus, on a réalisé qu'on n'utilisait qu'une partie du potentiel des données auxquelles on avait accès.

Le principal enjeu de ces technologies, c'est l'optimisation de l'actif informationnel dans l'entreprise et au dehors, la clé de la société du savoir.

Cela se révèle particulièrement important dans un environnement où les départs à la retraite se multiplient et où se posent les problèmes de conservation du savoir et des connaissances.

Il s'agit d'un segment critique qui impacte toutes les autres technologies clés de l'informatique: SOA, Nuage, portails, collaboration, objets communicants...

Ce segment est aussi fortement lié à la sécurité, voire à l'intelligence artificielle et aux systèmes de systèmes.

Un des segments les plus en vogue est celui des bases de données réparties, notamment celles qui sont utilisées par les plateformes de web social et l'informatique en nuages : Hadoop/Cloudera (Apache), Cassandra (Apache), Terrastore... La plupart de ces solutions sont en logiciel libre.

Avec les bases de données SQL en logiciel libre, elles pourraient éventuellement ébranler l'oligopole américain sur les bases de données (Oracle, IBM, Microsoft).

Le foisonnement de jeunes pousses montre bien le dynamisme de ce segment en France.

C'est un marché très intensif en services, car ce sont des disciplines complexes, très proches des métiers et à très forte valeur ajoutée.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : Inria, INT-Artemis, CNRS (LE2I et Toulouse Mirai), LLE (Bordeaux 3), Projet Quaero, IASI du LRI, Capdigital, Imaginove, Systematic, Paris 8 (Paragraphe), CEA List, Insa Rouen, INST, Labri, Limsi...
- **Industriels** : Dassault Systems (Exalead & blue Kiwi), Capgemini, Atos Origin, Stéria, Sopra, GFI, Devoteam, B&D...
- **Neteco**, Talend, Sinequa, Mondeca, Nuxeo, Exoplatform, Temis, Ever Team, Vinci Consulting, Jalios, Orchestra networks, Pertimm, Yacast, Safig etc...

## Position de la France

La France est mal positionnée sur ce domaine avec beaucoup d'acteurs mais de taille trop petite et souvent cantonnés au marché national. Les principaux acteurs sont : IBM, EMC, Oracle, SAP, etc. Les centres de recherche de BO subsistent en France.

La France a cependant d'excellentes capacités en sémantique, dans les moteurs de recherches et dans les moteurs de règles. Ces capacités en logiciel libre permettent l'accès à de nombreux projets innovants.

Certaines des jeunes pousses les plus en vue dans le domaine (Talend, Exoplatform...) sont des sociétés françaises issues du logiciel libre.

Plusieurs initiatives ont été prises :

- soutien des pôles Cap Digital et Imaginove ;
- projet Infom@gic ;
- appel à projets «services numériques culturels innovants» ;
- programme Quaero.

## Analyse AFOM

### Atouts

Sémantique, R&D, moteurs de recherches, moteurs de règles logiciel libre.

### Faiblesses

Taille des acteurs nationaux et un marché de la base de données qui est devenu oligopolistique.

### Opportunités

Logiciel libre, bases non SQL.

### Menaces

Les bases de données sont de plus en plus incluses dans des « packages » de solution. Les acteurs sur ce marché sont de plus en plus importants.

## Recommandations

Renforcer la recherche sur ce domaine et les passerelles vers les entreprises privées.

Aider les nombreuses PME du segment à passer à la vitesse supérieure, à s'internationaliser plus (aides directes, accord avec des Epic, participations du FSI...)

Renforcer la législation sur la sécurité des données.

## Liens avec d'autres technologies clés

24

25

28

### Maturité (échelle TRL)

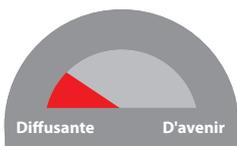
<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input checked="" type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

<input checked="" type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input checked="" type="radio"/>	Fort



## 29. Portail, collaboration et communications unifiées

### Description

Portail, collaboration et communications unifiées sont des solutions qui permettent aux employés, aux partenaires et aux fournisseurs d'interagir et d'échanger entre eux, d'optimiser et de conserver leur savoir ; et cela tout en réduisant de manière significative la mise sur le marché, la complexité opérationnelle et, de manière générale, les coûts.

Le segment des portails et des outils de collaboration comprennent les navigateurs, la sémantique, la gestion de documents, les logiciels de *groupware*, les plateformes d'échanges et de collaboration, *workflow*, intranet et extranet, les portails, les moteurs de recherche et les plateformes Internet riches.

Les communications unifiées incluent des services de téléphonie IP (gestion des appels), la messagerie instantanée, la vidéoconférence, la gestion des calendriers, la gestion de la présence, *email*, *fax*, *voicemail*, la téléprésence, ainsi que des applications de communications sur mesure.

Le développement des communications IP (intégrant la voix et la data) a permis de proposer des services convergents. Les solutions avancées de communications unifiées, telles que la VoIP ou la messagerie unifiée, permettent aux PME de rester compétitives et réactives face aux grandes sociétés tout en améliorant leur image professionnelle.

Ces technologies permettent de relier l'informatique à ses utilisateurs, mais surtout d'optimiser cette relation. C'est le pendant logiciel de l'IHM.

Ce segment est très dynamique car le partage de l'information et la gestion des connaissances deviennent cruciaux au sein des sociétés privées.

### Applications

Tous les secteurs sont susceptibles d'implémenter des solutions de collaboration, de portail et de communications unifiées.

Le marché se segmente en deux parties : les solutions à forte valeur ajoutée et les solutions banalisées.

Les principales applications à forte valeur ajoutée sont :

- la relation avec les clients, que ce soit dans les centres d'appels ou en agence, où l'acteur doit avoir à sa disposition le maximum d'informations de la manière la plus économique possible ;
- ingénierie et R&D, un des secteurs les plus demandeurs de ces outils de productivité, en particulier à l'heure actuelle où l'innovation est de plus en plus collaborative ;
- la finance de marché.

Les applications banalisées vont, quant à elles, se répan-

dre sur l'ensemble du marché où elles vont remplacer, compléter et unifier les anciennes approches.

À moyen terme, l'accès à l'informatique se fera dans sa majorité à partir de portails collaboratifs, en particulier avec l'avènement de l'informatique en nuages. On peut ainsi faire abstraction du matériel, du poste client et bénéficier d'une intégration légère mais performante de son informatique.

### Enjeux et impacts

Le marché est évalué à près de 2,4 milliards de dollars pour 2010, avec un fort potentiel de croissance au niveau mondial (CAGR 2009-2011: + 23,7 %).

C'est un segment stratégique pour la plupart des acteurs de l'informatique car c'est celui où ils sont en contact direct avec les utilisateurs.

Ce marché est fortement lié à l'IHM, aux objets communicants, à l'informatique en nuages, à la sécurité et à la valorisation et l'intelligence des données.

Le segment restera très dynamique car le partage de l'information et la gestion des connaissances sont cruciaux au sein de nos sociétés. C'est particulièrement le cas pour des pays vieillissants à fort contenu intellectuel comme la France.

La partie à forte valeur ajoutée est cruciale pour la hausse de la productivité et de l'efficacité au sein des sociétés concernées même si l'impact organisationnel n'est pas à négliger. Cela va aussi permettre de faire face à la pénurie de certaines compétences, pénurie imputable en partie aux changements démographiques qui commencent à affecter la France.

Cela est d'autant plus vrai pour des entreprises ayant une activité internationale, une forte R&D et qui doivent maintenir une force de travail mobile.

Du fait de sa position quasi monopolistique sur les PC, c'est un marché dominé par Microsoft, mais essentiellement sur les approches traditionnelles et à faible valeur ajoutée du poste de travail. À noter que le PC va être bien moins hégémonique dans un futur proche, perdant des parts de marché face aux nouveaux outils mobiles comme les tablettes et les téléphones intelligents. Ces terminaux sont plus friands d'accès de type portails collaboratifs que les PC.

Le SaaS a également un impact non négligeable sur ce secteur avec des acteurs comme Google qui cherchent à grandir sur ce segment, offrant des suites collaboratives à bas prix. Microsoft connaît par ailleurs un très fort succès en France avec ses offres de messagerie et de bureautique en SaaS.

Le logiciel libre a lui aussi banalisé l'accès à ces logiciels, d'autant plus que les outils pour internet et le Nuage sont

#### Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

#### Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation



très souvent bâtis avec des technologies libres. De plus en plus d'entreprises font le choix de ces technologies. En conséquence, sur la partie banalisée du marché, la compétition s'est renforcée et les prix sont en baisse. Cela permet d'allouer les budgets à des fonctions plus créatrices de valeur. C'est un marché reposant assez fortement sur le service informatique.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **Industriels** : Systematic, CapDigital, Alcatel-Lucent, Orange Business Services, Dassault Systèmes (Exalead, Blue Kiwi), Sinequa, Nuxeo, Exoplatform, Ever Team, Jalios, Vdoc etc...
- Capgemini, Atos Origin, Sopra Group, Stéria, SQLI, etc.

## Position de la France

On retrouve sur le segment des éditeurs (Microsoft, Teleware, Adobe, Citrix, SAP, Oracle), des vendeurs de matériels (Alcatel-Lucent, Avaya, Cisco, Nortel, Siemens etc.) et des opérateurs télécoms (BT, Verizon, OBS, Comcast etc.). En France, Orange et Alcatel-Lucent font partie du peloton de tête, avec une année 2009 difficile pour Alcatel-Lucent.

Les leaders sur ce marché sont américains avec IBM, Microsoft et Google. La France est compétitive sur des sous-segments tels que les moteurs de recherche.

Il existe peu de projets de ce type dans la recherche publique.

La France, pour rester dans la course, devra miser en bonne partie sur le logiciel libre.

## Analyse AFOM

### Atouts

Pays le plus intensif en logiciel libre, industrie des télécoms.

### Faiblesses

Pas d'acteurs logiciels de poids, faible implication de la recherche publique.

### Opportunités

Marché des terminaux mobiles, plateformes en logiciel libre, informatique dans les nuages.

### Menaces

Puissance et présence des grands acteurs américains du marché, non standardisation du poste client.

## Recommandations

Aider les communautés libres qui créent de la valeur en France.

Développer les formations : logiciel libre, couplage téléphonie informatique.

Renforcer la législation sur les standards ouverts, la localisation et la sécurité des données.

Renforcer l'implication de la recherche publique sur ces technologies qui sont plus des technologies de développement que de recherche pure.

## Liens avec d'autres technologies clés

25

26

28

### Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input checked="" type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

<input checked="" type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input type="radio"/>	Fort

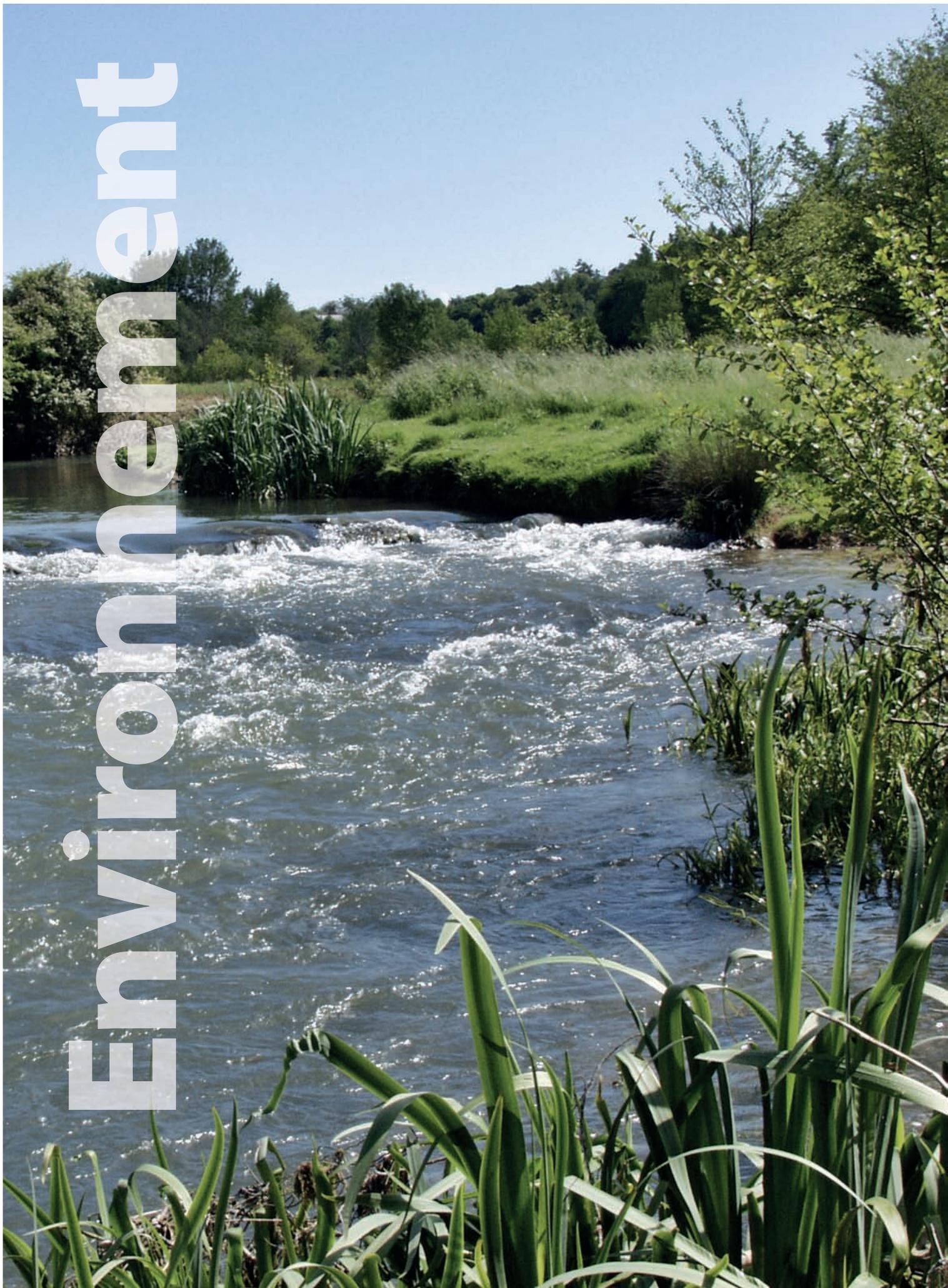


## BIBLIOGRAPHIE

- Premières assises françaises du logiciel embarqué : *Cartographie du secteur des fournisseurs de logiciels et services dans le domaine des systèmes embarqués*, 2007. [www.telecom.gouv.fr](http://www.telecom.gouv.fr)
- Enterprise 2.0 Conference : *Enterprise 2.0: What, Why and How*, 2009. [www.e2conf.com](http://www.e2conf.com)
- OPIEC : *Étude sur le marché et les compétences autour des logiciels embarqués*, 2008. [www.fafiec.fr](http://www.fafiec.fr)
- OCDE : *OECD 2009 - Innovation in the software sector*, 2009. [www.oecd.org](http://www.oecd.org)
- DGA : *Plan stratégique de recherche et technologie de défense et de sécurité*, 2009. [www.ixarm.com](http://www.ixarm.com)
- JRC-IPTS : *The Impact of Social Computing on the EU Information Society and Economy*, 2009. <http://ipts.jrc.ec.europa.eu>
- CE RFID : *A Roadmap for RFID, Applications and Technologies*, 2008. [www.rfid-in-action.eu](http://www.rfid-in-action.eu)
- Celtic : *The Celtic Purple Book*, 2010. [www.celtic-initiative.org](http://www.celtic-initiative.org)
- Cultural Human Resources Council : *Digital Media Content Creation - Technology Roadmap*, 2009. [www.culturalhrc.ca](http://www.culturalhrc.ca)
- DGA : *Plan stratégique de recherche et technologie de défense et de sécurité*, 2009
- European Internet Foundation : *The Digital World in 2025 - Indicators for European Action*, 2009. [www.eifonline.org](http://www.eifonline.org)
- EIFFEL think tank : *EIFFEL Report - Future Internet*, 2009. [www.future-internet.eu](http://www.future-internet.eu)
- EITO : *European Information Technology Observatory*, 2010. [www.eito.org](http://www.eito.org)
- European Commission : *Future Networks & Services*, 2008. <http://cordis.europa.eu>
- European Commission: *The Future of Software and Software Based Services*, 2010. <http://cordis.europa.eu>
- European Commission: *White Paper on Cloud Computing*, 2010. <http://cordis.europa.eu>
- European Commission : *Future Internet 2020*, 2009. [www.future-internet.eu](http://www.future-internet.eu)
- Pew Research Center : *The Future of the Internet*, 2010. [www.pewinternet.org](http://www.pewinternet.org)
- Fing, Isoc France et Silicon Sentier : *Internet du futur : vers un « cahier des charges »*, 2009. <http://internetdufutur.wordpress.com/>
- IBM : *CEO Study*, 2010. [www.ibm.com/services/us/ceo/ceostudy2010/](http://www.ibm.com/services/us/ceo/ceostudy2010/)
- IBM : *CIO Study*, 2010. [www.ibm.com/services/us/cio/ciostudy/](http://www.ibm.com/services/us/cio/ciostudy/)
- Inria : *Plan stratégique 2008-2012*, 2008
- ITEA 2 : *ITEA Roadmap for Software-Intensive Systems and Services*, 2009. [www.itea2.org](http://www.itea2.org)
- ITU : *The Future Internet*, 2009. [www.itu.int](http://www.itu.int)
- European Commission : *Networked Media Current Research, Results and Future Trends*, 2009. <http://cordis.europa.eu>
- European Commission : *Research on Future Media Internet*, 2009. <http://cordis.europa.eu>
- Deloitte : *Telecoms predictions 2010*, 2010. [www.deloitte.com](http://www.deloitte.com)
- Media Delivery Platforms Cluster : *Multimedia Delivery in the Future Internet*, 2008. <http://cordis.europa.eu>
- Deloitte : *Telecommunications Predictions - TMT Trends 2009*, 2009. [www.deloitte.com](http://www.deloitte.com)
- Deloitte : *Technology Predictions - TMT Trends 2009*, 2009. [www.deloitte.com](http://www.deloitte.com)
- Deloitte : *Media Predictions - TMT Trends 2009*, 2009. [www.deloitte.com](http://www.deloitte.com)
- JRC-IPTS : *The 2010 report on R&D in ICT in the European Union*, 2010. <http://ipts.jrc.ec.europa.eu>
- Europeana Group : *Highlights of Europeana v1.0*, 2010. <http://version1.europeana.eu>
- IDATE, *DigiWorld Yearbook 2010*, IDATE, 2010.
- PAC, *CIO Board*, 2010
- PAC, *SITSI 2010*. [www.sitsi.com](http://www.sitsi.com)
- Pujol M., *Open Source state of the art*, PAC, 2008. [www.pac-online.com](http://www.pac-online.com)
- Ménard E., *L'entreprise étendue, évolution et enjeux métiers*, PAC
- Pujol M., *Le Cloud Computing en France*, PAC 2010.
- Ropert S., *M2M - The Machine-to-Machine Markets, 2009-2013*, IDATE, 2009.
- Bonneau V., *RFID & Internet of Things*, IDATE, 2009.
- Michaud L., *Le marché mondial des jeux vidéo*, IDATE, 2009.
- Sauquet T., *Web 3D, du monde virtuel au web immersif*, IDATE, 2009.
- Michaud L., *Serious game*, IDATE, 2010.
- Montagne R., *FTTx : Stratégies des opérateurs leaders*, IDATE, 2010.
- Montagne R., *FTTx Watch Service*, IDATE, 2010.
- Pujol F., *LTE Watch Service*, IDATE, 2010.
- Pujol F., *Is LTE taking-off? Business models and roadmaps 2010*, IDATE, 2010.
- Carbonne P., *The Future of Mobile Communications*, IDATE, 2009.

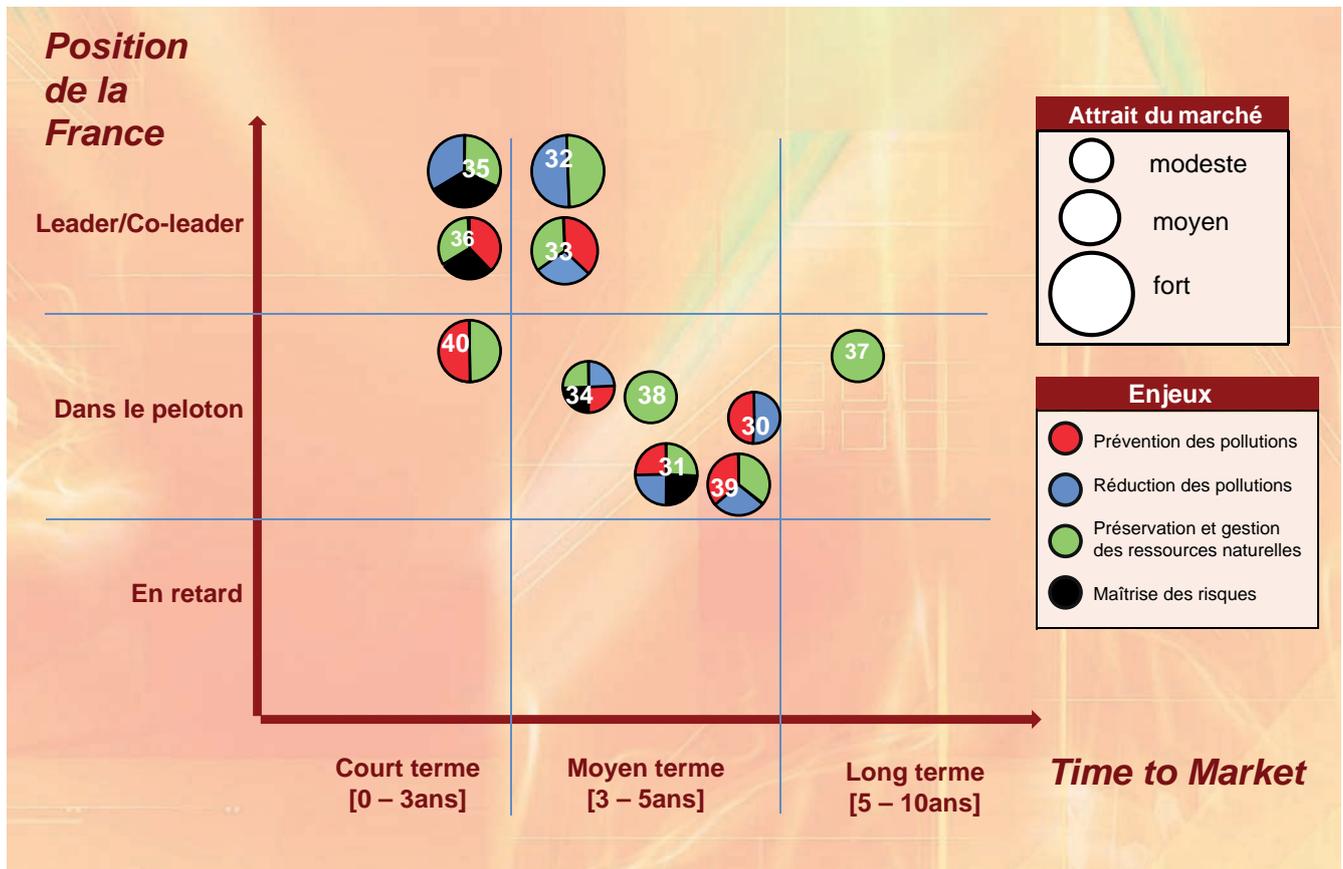


# Environnement



# Environnement

- 30. Technologies pour la captation maîtrisée et le traitement des sédiments pollués
- 31. Capteurs pour l'acquisition de données
- 32. Technologies pour le dessalement de l'eau à faible charge énergétique
- 33. Technologies pour le traitement des polluants émergents de l'eau
- 34. Technologies pour le traitement de l'air
- 35. Technologies pour la dépollution *in situ* des sols et des sites pollués
- 36. Technologies pour la gestion des ressources en eau
- 37. Technologies pour le recyclage des matériaux rares et leur valorisation
- 38. Technologies de tri automatique des déchets
- 39. Valorisation matière des déchets organiques
- 40. Éco-conception

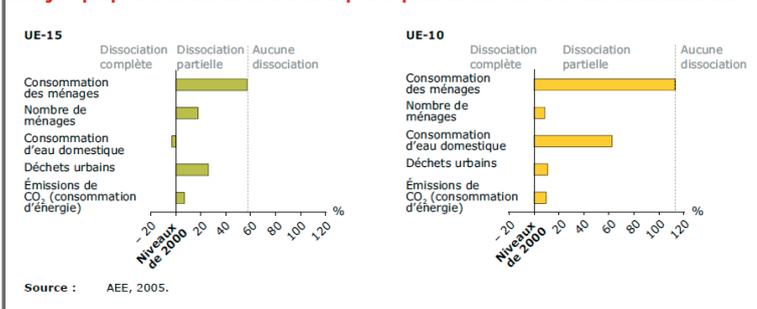


## Contexte et enjeux

Vitesse et ampleur du développement économique, évolution démographique sont autant de menaces sur les écosystèmes et l'intégrité de leurs services écologiques. Il est communément admis aujourd'hui l'existence d'une limite physique à la poursuite de la croissance économique basée sur l'utilisation des ressources.

Nos modes de vie à dominante urbaine, la démographie sont autant de facteurs qui à l'échelle européenne pèsent sur l'environnement de manière toujours plus intense : réchauffement climatique, pollution de l'air, pollution de l'eau, perte de la biodiversité, prélèvement des ressources naturelles... Ainsi, par exemple, l'EEA ne prévoit pas, à l'horizon 2020 de dissociation entre la consommation des ménages et son impact sur les ressources environnementales.

Ménages – perspectives de dissociation d'ici à 2020 pour les pressions et les ressources environnementales des 10



Dès lors, l'accès à la ressource et à son exploitation sur le long terme sont des enjeux majeurs : cela concerne autant l'eau que les ressources minérales, ainsi que l'impact de leur utilisation sur l'environnement (émission de polluants, production de déchets) et sur la population.

Sous l'impulsion donnée par la réglementation, qui joue un rôle moteur dans ce domaine, des progrès ont déjà été faits ces dernières années : diminution sensible des émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone, réduction des émissions atmosphériques entraînant l'acidification et la pollution atmosphérique, accroissement du traitement des eaux usées urbaines et du recyclage de nos déchets ...

Toutefois, la situation reste complexe et beaucoup de défis restent à relever pour faire face à d'autres pressions environnementales qui demeurent importantes : production de déchets restant élevée, émissions de GES, effets négatifs de la qualité de l'air sur la santé humaine, décharges de nutriments par les populations rurales et l'agriculture comme source de pollution de l'eau ...

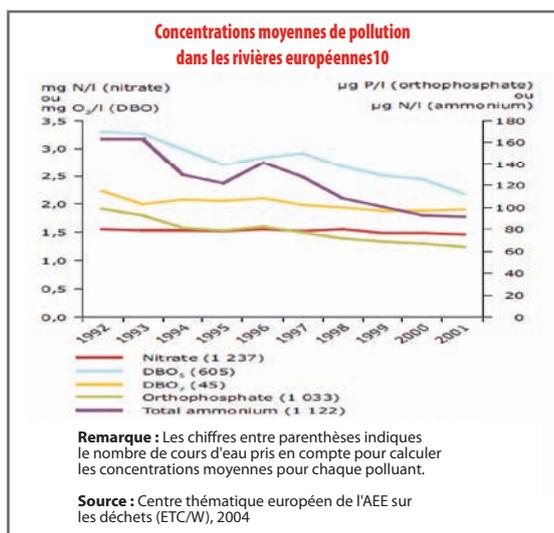
## Eau

Les enjeux liés à la gestion de la ressource en eau sont de deux types, qualitatifs d'une part, quantitatifs d'autre part. Globalement la qualité de l'eau en France et en Europe enregistre une amélioration, notamment sous l'impulsion des différentes directives qui ont été instaurées au cours des dernières années.

Récapitulatif des directives européennes sur l'eau

Directives	Description
Directive traitement des eaux résiduaires urbaines (1991)	Normes sur les équipements de collecte et de traitement des eaux
Directive eau potable (1998)	Norme de qualité minimale à respecter pour les eaux destinées à la consommation humaine
Directive cadre sur l'eau (2000)	Atteinte d'un bon état écologique des eaux et des milieux aquatiques en 2015

Toutefois, la pollution diffuse (à l'opposée d'accidentelle) de l'eau par des polluants dits émergents est de plus en plus préoccupante. Ces polluants dits « émergents » sont très variés et mal connus : substances pharmaceutiques (antibiotiques...), produits de soins corporels, détergents provenant de rejets industriels et/ou urbains, perturbateurs endocriniens, retardateurs de flamme... En plus des composés parents, on trouve également de nombreux composés issus des transformations biotiques et abiotiques de ces molécules mères.



Remarque : Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de cours d'eau pris en compte pour calculer les concentrations moyennes pour chaque polluant.

Source : Centre thématique européen de l'AAE sur les déchets (ETC/W), 2004

La qualité des eaux marines s'est également améliorée à cause de la généralisation du traitement des rejets des eaux usées et de la diminution des pollutions accidentelles et illicites. Cependant les polluants émergents émis par les stations d'épuration sont aussi préoccupants.

Une directive récente, la directive-cadre sur la stratégie du milieu marin (2008) complète la directive sur l'eau et vise l'atteinte du bon état écologique du milieu pour 2020.

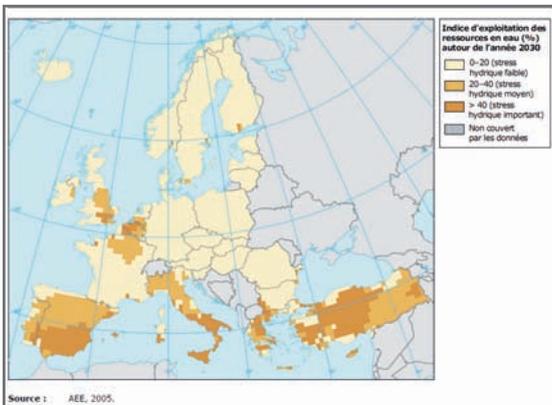
D'un point de vue quantitatif, deux points sont à considérer : d'abord une répartition inégale de l'eau disponible sur terre et ensuite un effet probable du changement climatique, qui induit de changements substantiels au niveau des régimes des précipitations entraînant un stress hydrique important.

La majorité de l'eau sur terre est de l'eau de mer, la quantité globale d'eau douce ne représentant que 2,53 % du total. Le volume global d'eau douce utilisable s'élève à 12 500 milliards de m<sup>3</sup> : ce volume serait suffisant s'il était équitablement réparti, ce qui n'est pas le cas.

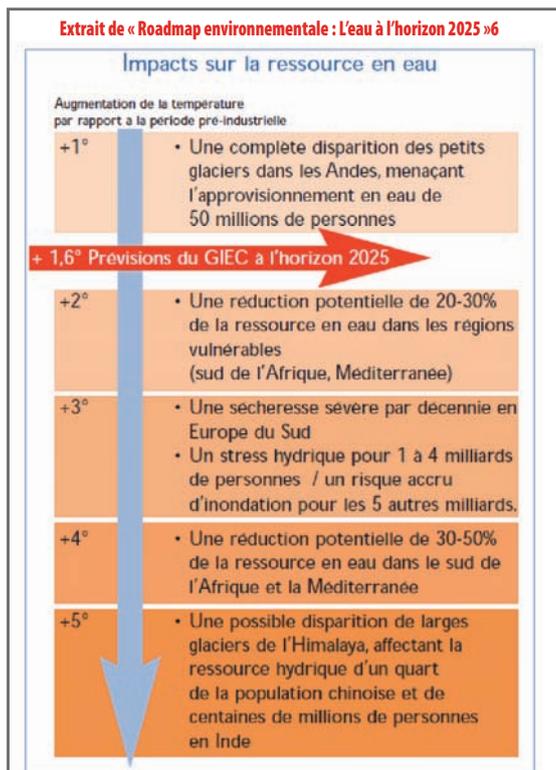
**Disponibilité en eau et population par grandes zones géographiques (source : UNESCO/PHI)**

Zones	Disponibilité en eau	Population
Amérique du Nord et centrale	15 %	8 %
Amérique du Sud	26 %	6 %
Europe	8 %	13 %
Afrique	11 %	13 %
Asie	36 %	60 %
Australie et Océanie	4 %	< 1 %

Phénomènes climatiques extrêmes, inondations, tempêtes, globalement, le nord de l'Europe sera plus sujet aux inondations et le sud, aux sécheresses.

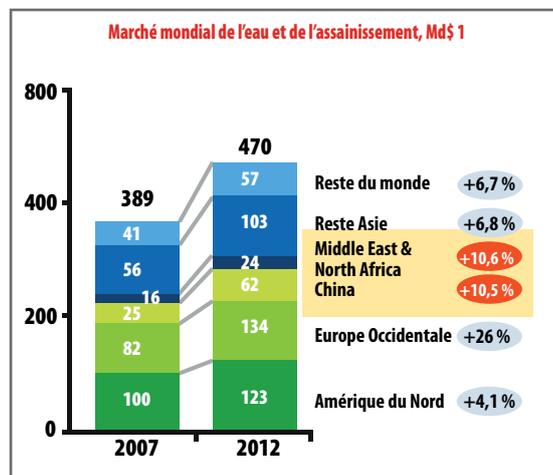


L'Espagne, par exemple, se prépare déjà à de futures pénuries par le biais de programmes visant l'établissement d'un vaste réseau de dessalement dans le pays et la promotion de systèmes d'irrigation plus efficaces.



Le marché de l'eau qui regroupe les activités liées à l'eau potable (captage, transport, traitement, affinage...), aux eaux usées ainsi qu'aux eaux pluviales est globalement mature en Europe (faible croissance liée aux investissements nécessaires pour répondre aux exigences réglementaires). Il atteint un chiffre d'affaires de plus de 15 Md€ en France et représente plus de 112 000 emplois [3]. Près d'un milliard de personnes sont desservies dans le monde en eau et assainissement par le secteur privé, près d'un quart de cette population est servie par Veolia Environnement ou Suez Environnement, les deux acteurs majeurs à l'échelle mondiale, français.

De fait, la croissance se situe à l'international : demande croissante, liée à la croissance démographique, au développement économique des pays émergents, et à l'urbanisation associée.



## Air

La pollution atmosphérique a fait l'objet d'une attention particulière à l'échelle européenne sur la dernière décennie : des réglementations qui concernent aussi bien les sources fixes, et notamment les installations industrielles, que les sources mobiles comme les transports ont été mises en place. Suite au programme européen CAFE « air pur pour l'Europe », la stratégie pour la pollution atmosphérique a été publiée en 2005 : elle ambitionne de diminuer la pollution atmosphérique et d'atteindre un niveau de qualité de l'air n'ayant aucune incidence nuisible sur la santé et l'environnement.

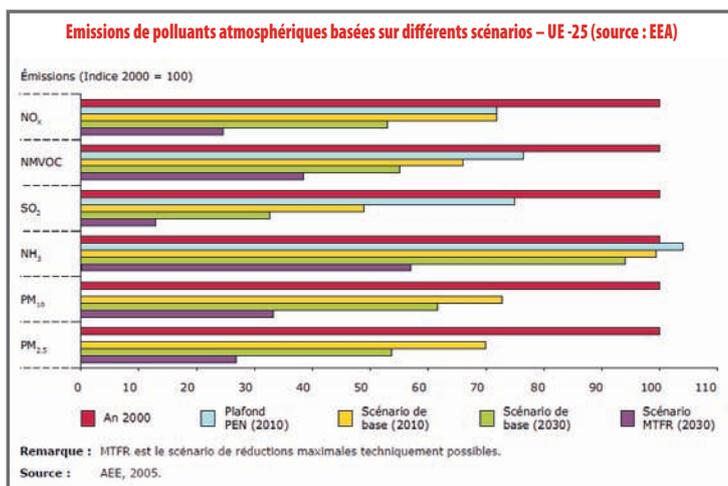
À l'échelle européenne, deux directives marquent la traduction réglementaire de cette prise de position :

- la directive CAFE, adoptée en 2008, concerne la qualité de l'air ambiant : elle fixe pour la première fois des valeurs limites pour la concentration en particules fines ;
- la directive NEC (*National Emission Ceilings*) fixe des limites d'émissions nationales pour quatre polluants : le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et l'ammoniac. Les plafonds fixés pour 2010 vont être difficiles à atteindre pour la majorité des États membres. De nouveaux seuils devraient être fixés pour 2020.

**Objectifs d'émissions retenus pour la France  
dans le cadre de la directive NEC**

	<b>SO2</b>	<b>NO2</b>	<b>COV</b>	<b>NH3</b>
Emissions 1990 (kt)	1342	1905	2451	769
Objectifs 2010 (kt)	375	810	1050	780

Source : CITEPA - inventaire SECTEN 2002



Bien que les émissions soient en baisse régulière, chaque année en France ce sont encore plus de neuf millions de tonnes de polluants qui sont émis dans l'air par les activités humaines (industrie, automobiles, activités domestiques, agriculture, etc.). (Source : Ademe).

Plus que l'exposition à une pollution accidentelle, lourde et massive, de grande ampleur, c'est l'exposition continue, tout au long de la vie à des doses plus faibles qui a un impact sanitaire et environnemental fort. On constate une détérioration diffuse et graduée de la qualité de l'environnement par la dispersion de contaminants issus de l'activité anthropique très souvent dans le cadre de la vie quotidienne de tout un chacun, associée à notre mode de vie.

La lutte contre la pollution atmosphérique est un enjeu de santé publique : chaque européen perd en moyenne une année de vie à cause de la pollution de l'air. Les émissions de particules sont à l'origine en Europe d'environ 370 000 décès prématurés chaque année. (Source : EEA).

## Sols

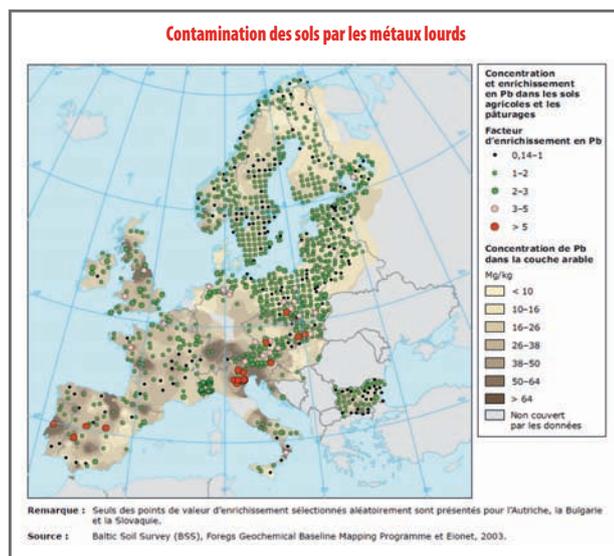
L'anthropisation a eu et a toujours un impact sur cette ressource : l'érosion, la diminution de matières organiques, la contamination, l'imperméabilisation... ont forcément un impact sur les fonctions des sols.

Or les fonctions du sol sont nombreuses et de différentes natures : fonction environnementale d'une part (biodiversité, stockage et épuration de l'eau...), économique (production agricole...), et enfin sociale (support de l'activité humaine). Cette ressource non renouvelable qui présente des processus de formation et de régénération extrêmement lents (plusieurs

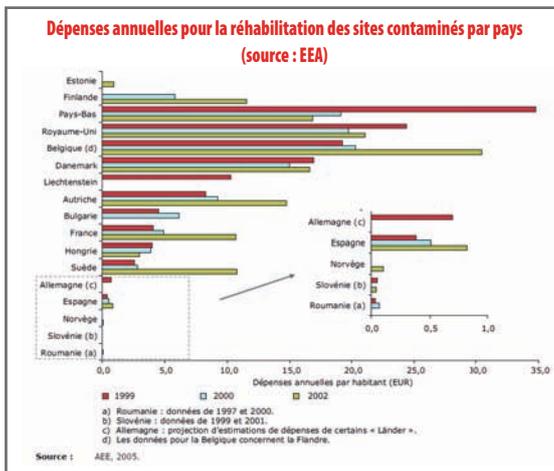
milliers d'années), subit des taux de dégradation potentiellement rapides (quelques années ou décennies).

Les processus de dégradation des sols sont de multiples natures : érosion, diminution des teneurs organiques, tassement, salinisation, glissement de terrain, contamination, imperméabilisation, déclin de la biodiversité... Les coûts de la dégradation des sols, même s'ils sont difficiles à estimer, sont considérables. La seule contamination des sols, due notamment à l'utilisation et/ou à la présence de substances dangereuses dans les nombreux procédés de production industriels touche à l'échelle européenne plus de trois millions de sites dont 500 000 de manière sévère. (Source : EEA, *État des lieux 2005*)

Là encore, comme pour l'air et pour l'eau, la pollution peut être soit accidentelle, massive, localisée (site industriel, station service...) soit diffuse (retombées atmosphériques, pratiques agricoles).



Le marché français de la dépollution des sites s'élevait en 2007 à 0,8 Md€ et devrait atteindre 2,6 Md€ en 2020. 350 000 sites sont potentiellement pollués en France (source : inventaire BASIAS) qui représentent 100 000 ha pour un coût total (hors BTP) de l'ordre de 15 Md€ (source : étude BCG). Ce marché est tiré par le renforcement de la réglementation et par la pression immobilière. La France se situe au niveau des meilleures pratiques européennes : recensement des sites (Basol et Basias), traitement en fonction de l'usage futur, financement... grâce à un renforcement précoce de la réglementation par rapport au reste de l'Europe. Les acteurs français sont plutôt bien positionnés et se développent à l'international, notamment en Europe où le stock de sites pollués a été estimé à 138 Md€. (Source : d'après BCG, étude statistique européenne).



L'émergence d'un nouveau modèle économique devrait contribuer à la croissance du secteur si l'assouplissement de la réglementation en matière de responsabilité en France le permet : il s'agit, à l'image de ce qui a pu être mis en place aux États-Unis, de permettre aux industriels pollueurs de transférer leur responsabilité et risques associés à un tiers (professionnel de la dépollution, fonds d'investissement).

## Déchets

La gestion des déchets recouvre à la fois des activités de collecte et de transport, le recyclage de matériaux pour produire de nouveaux biens, l'incinération avec ou sans récupération énergétique, le compostage pour une récupération biologique, la réutilisation (par exemple de pièces automobiles) et enfin la mise en décharge.

La gestion « moderne » des déchets vise à la fois une réduction de l'impact environnemental de cette pollution potentielle et aussi la récupération de ressources devenues rares et de plus en plus coûteuses, sous l'effet de la demande croissante à l'échelle internationale. À titre d'illustration, entre 2001 et 2005, le coût des matières plastiques est passé d'une base 100 à presque 250. Dans le même temps, le prix du papier a doublé.

On observe ces dernières années une augmentation très forte des prix de certains métaux rares pour lesquels un risque de pénurie se fait sentir. Après le pic de début 2008, puis la très forte chute à partir de l'été 2008 (crise économique), les cours de la plupart des matériaux ont retrouvé en 2010 des valeurs voisines de celles de 2007. Le marché des matériaux issus de déchets est aussi volatil que celui des matières vierges, avec une part croissante d'échanges internationaux de matières issues de déchets.

### Évolution des prix – métaux rares\*

Métal	Date d'épuisement*	Évolution des prix 2000 à 2007*
Zinc	2025	+ 100 %
Étain	2028	+ 173 %
Plomb	2030	+ 445 %
Cuivre	2038	+ 263 %
Nickel	2048	+ 221 %
Fer	2087	-
Aluminium	2139	+ 48 %

Ce déséquilibre des marchés des matières premières minérales est dû à la progression de la demande des pays émergents : en 2025, l'Inde et la Chine pourraient consommer 50 % de l'acier mondial. En parallèle, les gisements les plus facilement exploitables et les plus abondants tendent à s'épuiser.

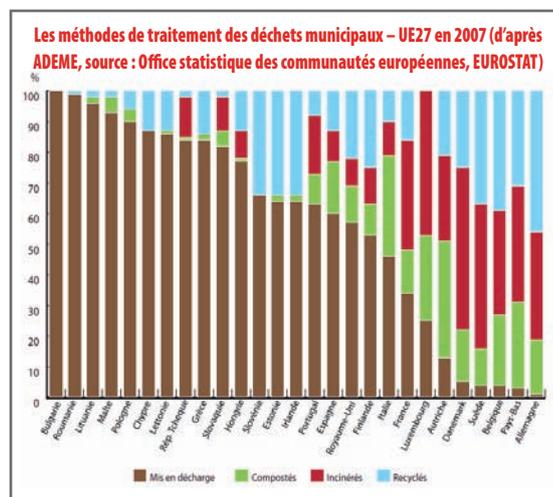
La gestion des déchets s'impose donc à double titre : raréfaction des matières premières et pollution potentielle.

Aujourd'hui, l'augmentation du volume de déchets reste comparable à celle de la croissance économique ; en France, en 2008, 868 millions de tonnes de déchets ont été produites. (Source : Ademe).

Les plus gros secteurs producteurs de déchets en France en 2008 sont l'agriculture et la sylviculture (43 %) et le BTP (41 %). Une bonne partie de ces déchets sont traités *in situ* et ne rentrent pas dans l'économie du déchet (ni par la prestation de service, ni par la vente de matières). Viennent ensuite les entreprises pour 10 % du volume, les ménages (3 % du volume), les collectivités et les déchets d'activité de soins. (Source : Ademe).

En 2007, près de 38 Mt de déchets municipaux ont été collectés, dont 10,8 Mt en déchèterie. 33,5 % des déchets ménagers et assimilés collectés par le service public ont été orientés vers le recyclage (valorisation matière et gestion biologique) et 29 % vers la valorisation énergétique. (Source : Ademe, chiffres clés 2009).

Les pratiques en terme de traitement de déchets municipaux sont assez hétérogènes au niveau européen, l'Allemagne restant le « champion » du recyclage.



Les engagements du Grenelle de l'environnement sur les déchets sont traduits dans le plan d'action sur les déchets publié par le ministère du Développement durable en septembre 2009. L'objectif de la politique nationale traduite dans ce plan est de poursuivre et amplifier le découplage entre croissance et production de déchets. Le plan d'actions mis en place prévoit de :

- réduire de 7 % la production d'ordures ménagères et assimilées par habitant sur les cinq premières années ;
- porter le taux de recyclage matière et organique des déchets ménagers et assimilés à 35 % en 2012 et 45 % en 2015. Ce taux est fixé à 75 % dès 2012 pour les déchets des entreprises et pour les emballages ménagers ;
- diminuer de 15 % d'ici à 2012 les quantités partant à l'incinération ou au stockage.

Il s'inscrit pleinement dans les engagements communautaires, traduits dans la directive européenne du 19 novembre 2008 qui établit une hiérarchisation d'interventions sur les déchets : prévention, préparation en vue du réemploi, recyclage, autres valorisations notamment énergétique, élimination.

La France possède les leaders mondiaux (Veolia Propreté et Sita du groupe Suez) pour industrialiser la filière de recyclage et des acteurs dans l'ensemble de la chaîne de valeur (équipement de collecte, centres de tri, usines d'incinération, service-recyclage).

## Les grandes tendances d'évolution du secteur

### Eau

Le savoir faire au niveau français et plus largement européen en termes de fourniture et de traitement de l'eau est indéniable. En réponse aux enjeux sur la qualité et la quantité de l'eau précisés plus haut, trois axes forts devraient orienter l'activité du domaine dans les années à venir :

- augmenter la quantité d'eau disponible : cela passe tant par la récupération et réutilisation des eaux de pluie, le dessalement de l'eau de mer, le recyclage et filtration de l'eau, le rechargement des nappes phréatiques... ;
- réduire son utilisation : accroissement du rendement agricole, réduction de l'intensité hydrique de certains procédés industriels, systèmes de détection des fuites dans les réseaux ;
- travailler à améliorer la lutte contre la présence des polluants émergents : identification, détection, élimination... toute la chaîne est concernée. Pour les eaux marines, l'amélioration de la qualité doit se poursuivre notamment par une meilleure gestion des bassins versants.

De manière transversale, un suivi métrologique fin est un prérequis à la gestion de cette ressource, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Ces systèmes de mesure devront être adaptés à l'acquisition de données sur les substances émergentes.



### Air

La lutte contre la pollution atmosphérique doit continuer, que cela soit en amont au titre de la prévention ou en aval, sur le traitement des effluents contaminés.

Il s'agit de développer des procédés et technologies propres pour la réduction des émissions à la source. Ceci est évidemment transverse en termes de secteurs applicatifs concernés : transports bien sûr avec par exemple des systèmes de post-traitement mais aussi bâtiment, peintures, ameublement... La libération de formaldéhyde par les meubles fabriqués à partir de panneaux de particules en est un exemple issu de l'actualité récente. Travailler en amont à l'utilisation de nouvelles colles ou à une diminution de la concentration devrait permettre de diminuer la quantité de formaldéhyde dans l'air. Plus largement, la qualité de l'air intérieur a plus récemment attiré l'attention des spécialistes. Relevant de la sphère privée, elle ne fait pas pour l'instant l'objet de valeurs limites définies et donne lieu à des difficultés d'investigation.

Au-delà de la prévention et de la réduction à la source, le développement de technologies de traitement des effluents gazeux, adaptées notamment aux polluants émergents doit faire l'objet d'une attention particulière.

Ceci nécessite le développement de la métrologie à la source, avec une approche allant de l'exposition individuelle à une vision globale, typiquement satellitaire. Ces deux visions sont com-



plémentaires et permettent d'apporter une réponse à la nécessité de collecter des données précises et spatialisées. Un couplage sol-satellite donnant une image fortement résolue dans l'espace et complète est largement plébiscité.

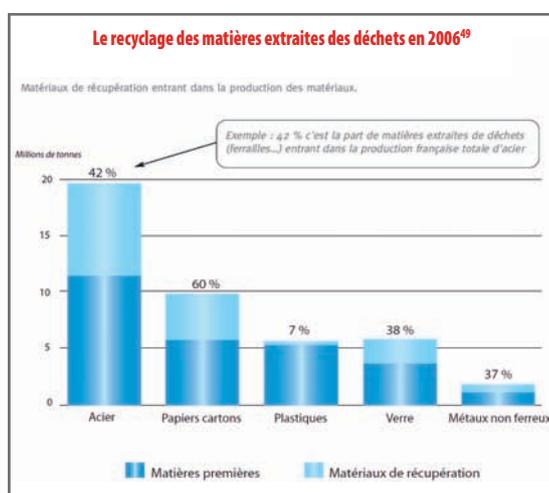
### Déchets, production et consommation durables

Dans le domaine de la gestion des déchets, on assiste au passage d'une approche environnementale de la gestion des déchets à une approche davantage économique : le déchet n'est plus seulement une contrainte à minimiser mais une ressource à optimiser, permettant l'émergence d'une véritable économie circulaire. Ainsi, le recyclage et la valorisation des déchets ont été identifiés (étude BCG en 2008, puis étude CGDD, mars 2010) comme l'une des 18 filières vertes, avec un potentiel de croissance et d'emploi significatif.

Quatre axes majeurs figurent dans le plan d'actions 2009-2012 du MEEDDM et devraient orienter l'activité dans le domaine dans les années à venir :

- la priorité est mise à la réduction à la source : réduction des emballages, diminution des quantités de matière utilisées, allègement... ceci implique aussi forcément une évolution des usages et des pratiques des consommateurs, des entreprises ;
- le développement de la réutilisation et du recyclage doit être un axe fort : au-delà des questions purement technologiques

que cela soulève, cela nécessite en amont le renforcement ou la mise en place des actions de collecte et de tri ; l'harmonisation des consignes de tri, et surtout l'extension de la responsabilité élargie des producteurs à systèmes spécifiques d'organisation et de financement, qui seront étendues progressivement à de nouveaux flux de déchets comme les déchets dangereux diffus des ménages, les déchets d'activités de soins à risques infectieux et les déchets encombrants. Cela complètera les filières existantes pour les emballages, papiers, équipements électriques et électroniques, piles et batteries, textiles, pneumatiques et véhicules hors d'usage ;



- mieux valoriser les déchets organiques : sur les déchets collectés par le service public en 2007, seuls 14 % faisaient l'objet d'une gestion biologique, alors que plus de 50 % des ordures ménagères résiduelles sont constituées de déchets organiques (source : MEDDTL, politique de déchets 2009-2012). Compostage domestique, obligation pour les gros producteurs, travail sur les débouchés, méthanisation, les pistes sont nombreuses ;
- mieux gérer les déchets du BTP : aujourd'hui, si deux tiers des déchets du bâtiment sont valorisés, les marges de progression restent nombreuses car ils représentent à eux seuls plus de 40 % du volume de déchets produits chaque année. La politique de déchets 2009-2012 prévoit à ce titre la mise en place de système d'aides aux bonnes pratiques de recyclage, incitations fiscales, et en aval encourage la déconstruction sélective, l'orientation vers les filières adaptées... Un objectif pourrait être la réutilisation au maximum sur site, du moins pour la reconstruction. Les enjeux principaux concernent le diagnostic, la modélisation, la collecte, ainsi que la formation des acteurs. Une question se pose en termes d'acceptabilité par les acteurs, la profession étant globalement peu encline au changement. Plus largement, la question de la gestion des déchets est à rapprocher de la consommation et de la production durables. Il est de plus en plus admis que nos schémas actuels de consommation et de production, ainsi que leurs impacts environnementaux en termes de cycle de vie doivent évoluer.

## Les tendances technologiques et les technologies clés

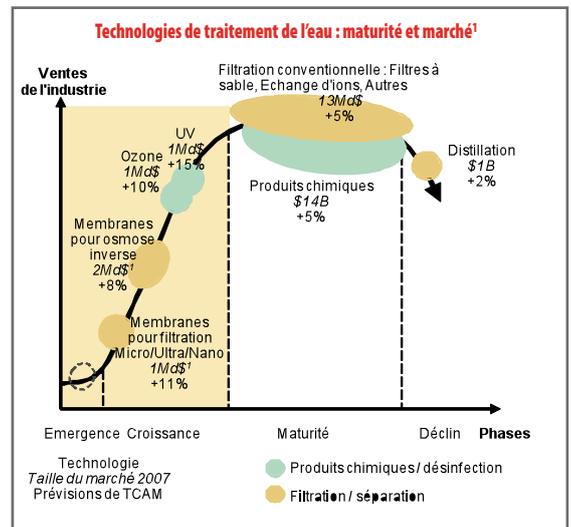
D'un point de vue technologique, deux tendances sont structurantes pour le secteur :

- la place croissante de la métrologie environnementale est indispensable au diagnostic, à la prévision et à l'évaluation de la pollution, de l'eau, mais aussi de l'air, des sols... Cela se traduit à la fois par un besoin croissant de capteurs, mais aussi d'intégration, de réseaux de capteurs, de mesure en continue. Des solutions logicielles de gestion et de diagnostic environnemental sont à développer. Par ailleurs, la prévention des risques naturels à partir d'observation satellitaire doit être un axe à développer : le couplage de données hydrographiques, météo, terrain doit permettre d'apporter un outil pertinent pour la prévention des risques naturels, par exemple dans le cadre des plans de prévention des collectivités locales ;
- avoir une approche durable de la production et de la consommation. Notre façon de produire et de consommer contribue au réchauffement climatique, à la pollution, à l'utilisation des matières premières et à l'épuisement des ressources naturelles. Une utilisation plus efficace des ressources est un facteur d'innovation important, et un facteur de différenciation pour la compétitivité de l'industrie française. Il convient de favoriser l'émergence des innovations, des technologies, des matériaux qui seront nécessaires à la mise en œuvre de nouvelles solutions éco-responsables. L'approche de la production en termes de cycle de vie est à favoriser, le concept d'éco-conception a bien sûr un rôle central à jouer.

L'éco-conception correspond à l'intégration des aspects environnementaux dans la conception ou la re-conception de produits.

Il s'agit de prendre en compte les exigences environnementales sur le produit : réglementation, image de marque, etc... ainsi que les conséquences environnementales du produit : consommations de ressources, émissions atmosphériques, production de déchets, valorisation du produit en fin de vie, etc.

Dans le domaine de l'eau, les savoir-faire de nos champions nationaux doivent être valorisés pour développer des technologies de dessalement de l'eau à faible charge énergétique. Des opportunités existent également sur plusieurs niches technologiques : systèmes de gestion efficace de l'eau, technologies innovantes pour le traitement de l'eau, capteurs de mesure de qualité...



Les acteurs français maîtrisent l'intégration de ces systèmes, même sans capacité de fabrication.

Dans le domaine de la réhabilitation des sols contaminés, les tendances technologiques concernent essentiellement le développement de technologies de traitement sur site, des sols pollués. Les technologies pour la captation et le traitement des sédiments pollués sont également clés.

Dans le domaine de la gestion des déchets, les enjeux sont autant dans le mode de collecte (tri amont), que dans les technologies permettant le tri industriel des déchets et dans les technologies permettant une nouvelle utilisation. Dans ce secteur, les seules technologies ne peuvent pas répondre à tous les enjeux : l'arrivée sans cesse de nouveaux types de produits sur le marché impose un renouvellement permanent des processus de démontage et de tri. La prise en compte en amont de cet aspect, notamment via la diffusion de l'éco-conception devrait permettre de faciliter ces étapes.

Des technologies, mais aussi des sites industriels pour le recyclage et la valorisation des matériaux rares doivent être développées. De même, les déchets organiques doivent faire l'objet d'une attention particulière, tant sur l'aspect des technologies de tri que de leur valorisation. De nouvelles perspectives apparaissent dans le domaine de la chimie, en lien avec le recyclage, notamment pour le développement du taux de recyclage des plastiques, encore beaucoup trop faible [65]

Les « équipementiers du déchet », fabricants de matériels et d'équipements pour une gestion optimisée de nos déchets, sont appelés à jouer un rôle croissant, car le recyclage et la valorisation par flux génèrent plus de besoins en équipement que l'enfouissement ou l'incinération de déchets en mélange, rapportée à la tonne collectée. Il s'agit pour ces fabricants d'être en capacité à proposer des outils, machines, pour la manutention, le transport, le tri automatisé, le broyage, le conditionnement... L'offre française apparaît encore trop fragmentée et pourrait être mieux organisée, notamment vis-à-vis de l'export. Certaines de ces technologies sont stratégiques car conditionnant l'accès à de nouveaux gisements de matières issues de déchets.



Enfin, des progrès sont à réaliser au niveau des technologies pour l'exploration, l'extraction et le traitement des ressources minérales pour faire face à l'amenuisement des ressources disponibles et à l'explosion des besoins.

### Les technologies clés du secteur de l'environnement

- 30. Technologies pour la captation maîtrisée et le traitement des sédiments pollués.
- 31. Capteurs pour l'acquisition de données.
- 32. Technologies pour le dessalement de l'eau à faible charge énergétique.
- 33. Technologies pour le traitement des polluants émergents de l'eau.
- 34. Technologies pour le traitement de l'air.
- 35. Technologies pour la dépollution *in situ* des sols et des sites pollués.
- 36. Technologies pour la gestion des ressources en eau.
- 37. Technologies pour le recyclage des matériaux rares et leur valorisation.
- 38. Technologies de tri automatique des déchets.
- 39. Valorisation matière des déchets organiques.
- 40. Éco-conception.

## Analyse de la position de la France

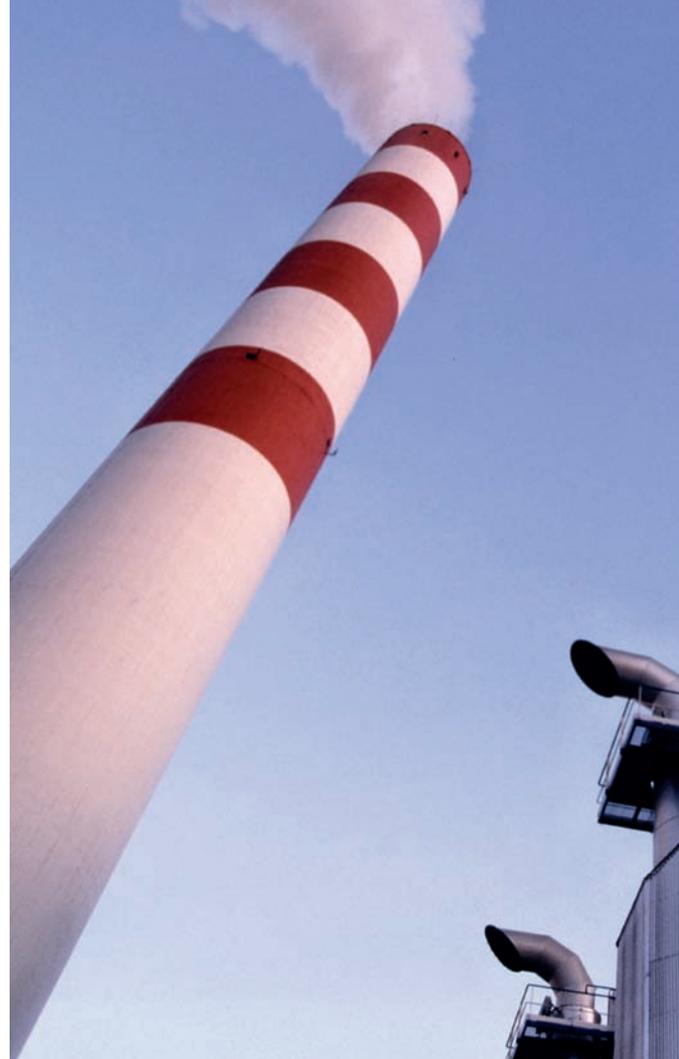
### La dépense de recherche et développement en environnement

En 2007, la dépense de recherche et développement (R&D) en environnement est évaluée à 2,6 milliards d'euros, soit une hausse de 8,3 % par rapport à 2006. Cela représente environ 7 % de la dépense totale de R&D en France.

En 2007, les administrations publiques consacrent 1 Md€ pour la R&D en environnement, soit une progression de 1,7 % par rapport à 2006. Les programmes de recherche sont mis en œuvre par les établissements publics à caractère scientifique et technologique, comme le CNRS, le Cemagref, l'Ifremer et par les établissements publics industriels et commerciaux (Épic).

La dépense en R&D des entreprises s'élève à 1,6 milliard d'euros en 2007, en forte hausse par rapport à 2006 (+ 13 %). D'après la dernière enquête du ministère chargé de la Recherche, la part de l'environnement au sein de la R&D des entreprises a atteint 6,4 % en 2007<sup>1</sup>.

(1) Ces dépenses de R&D ne comprennent que les travaux spécifiquement orientés vers la protection de l'environnement. Des programmes identifiés dans la Mission interministérielle de recherche et d'enseignement supérieur sous les objectifs « Énergie », « Espace » ou encore « Transport, aéronautique » peuvent avoir des utilisations dans les domaines de l'environnement, mais les dépenses correspondantes ne sont pas comptabilisées.



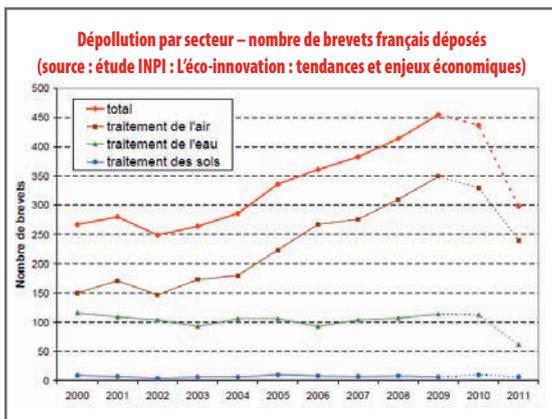
Le financement de la dépense de R&D en environnement est réparti entre entreprises et administrations publiques de la manière suivante :

**Financement de la dépense de R&D en environnement**  
(source : SOeS – Commission des comptes et de l'économie de l'environnement, mai 2009)

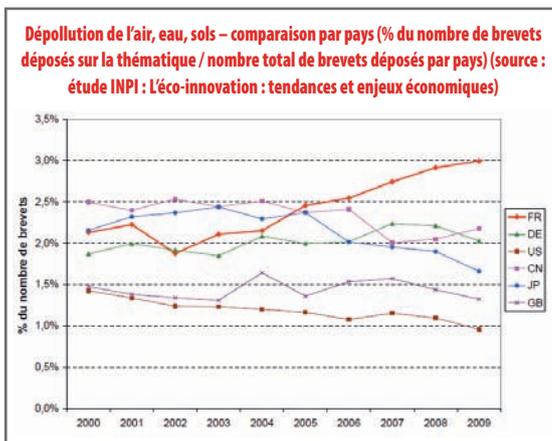
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007 p
Administrations publiques	1 342	1 574	1 635	1 675	1 653	1 748	1 026	1 043
Entreprises	851	917	958	975	1 112	1 085	1 414	1 601
<b>Total</b>	<b>2 194</b>	<b>2 491</b>	<b>2 592</b>	<b>2 650</b>	<b>2 766</b>	<b>2 833</b>	<b>2 440</b>	<b>2 644</b>

## Dépollution eau - air - sol

Ces efforts en matière de R&D se traduisent par un nombre important de brevets déposés en France dans le domaine de la dépollution. Les domaines de l'air et de l'eau sont les plus actifs. Une étude menée par l'INPI recense une nette augmentation du nombre de dépôts dans le domaine de l'air depuis 2002 (passant de 150 à 450 dépôts par an) mais prévoit une diminution du nombre de dépôt en 2010 et 2011.



Depuis 2005, la part des brevets consacrés à la dépollution de l'eau, de l'air et des sols est plus élevée en France que dans les autres pays (États-Unis, Japon, Allemagne, etc...).



Seules la France et la Chine voient la proportion du nombre de dépôts concernant ces thématiques augmenter chaque année, alors que dans le même temps, en Allemagne, aux États-Unis au Japon et en Grande-Bretagne, la proportion diminue.

Dans le domaine de l'eau, la position de la France est majeure : deux acteurs français, Veolia et Suez, sont les leaders mondiaux sur les marchés de l'ingénierie, de la construction et de l'exploitation (services). Ils sont, et de loin, les deux plus gros fournisseurs en termes de millions de personnes desservies. Mais peu d'acteurs français sont présents sur le marché de l'équipement (membranes, filtres, pompes...).

Ce marché est peu ouvert, les acteurs y sont bien établis. Mais des opportunités existent cependant dans des niches sur lesquelles les PME françaises doivent se positionner.

Les trois nouveaux pôles de compétitivité labellisés sur la thématique au premier trimestre 2010 devraient permettre d'encourager les partenariats entre grands groupes, PME/start up et recherche publique. Leur apport pourrait être également substantiel sur le volet de la formation.

Dans le domaine des sols et sites pollués, les entreprises françaises sont très présentes : en amont, dans les phases d'étude et d'ingénierie mais surtout dans les phases de travaux. Sita Remédiation est d'ailleurs le leader européen dans ce domaine.

La R&D publique n'est pas en reste, avec des acteurs reconnus tels que l'École des mines de Douai. Là encore, la structuration de réseaux autour des pôles Team2, Risques, le projet Sédimatériaux doivent permettre à terme de renforcer la position française et contribuer notamment à un transfert de technologie vers le monde de l'entreprise.

En matière de traitement des déchets, la recherche française est moins active que celle des autres pays : la part des brevets



tion. Tout cela crée un besoin nouveau en capteurs divers, offrant un large potentiel de marché.

De plus, ces secteurs sont fortement poussés par la réglementation : cela aussi joue un rôle moteur dans le développement de nouvelles technologies, consommatrice de capteurs.

## Recommandations

L'urgence environnementale et les éco-technologies constituent l'un des trois axes prioritaires de la SNRI. Les opportunités de croissance pour les entreprises françaises sont immenses et doivent permettre de répondre aux nombreux enjeux décrits plus haut. Le développement d'outils et moyens de mesure doit permettre de comprendre et de mieux modéliser l'évolution du climat et de la biodiversité, ainsi que de mieux comprendre la réaction du vivant aux agressions extérieures liées aux activités humaines pour en assurer une meilleure protection. Dans ce contexte, les investissements d'avenir prendront en compte de manière significative ces axes et favoriseront le transfert vers l'industrie de moyens et technologies innovants.

L'approche des questions environnementales et des réponses technologiques qui doivent être portées pour en améliorer la prise en charge passe nécessairement par une approche systémique. En effet, il est encore fréquent que les actions mises en place dans un domaine particulier (réglementation, soutien à l'innovation...) pour traiter une question donnée (la qualité de l'air par exemple) ne se fassent pas de manière intégrée ou conjointe avec celles centrées sur un domaine connexe mais au final étroitement lié (le changement climatique par exemple). De fait, synergies et antagonismes des dispositions ne sont que trop peu étudiés en amont. Une approche multicritères de l'évaluation des réglementations, des technologies... devrait pouvoir permettre de prendre en compte l'ensemble des effets envisageables dans une logique d'analyse du cycle de vie complet.

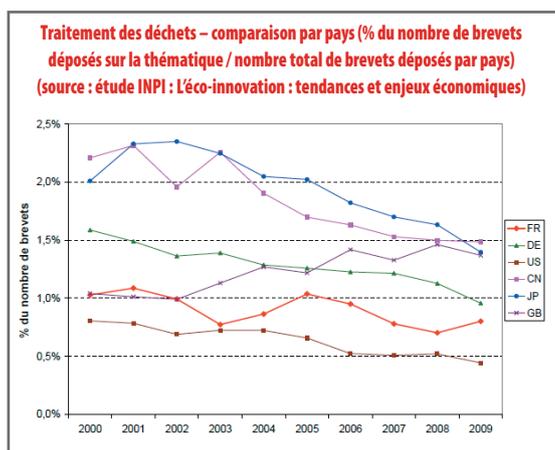
Pour adopter une approche systémique de la protection de l'environnement, la place des services et de l'innovation dans les services va devenir de plus en plus centrale. Ces services doivent permettre d'apporter les informations nécessaires pour la mise en place de solutions intégrées, facilement utilisables pour les PME et collectivités concernées. Ces services peuvent être soit liés directement à une technologie (sur le modèle de Environnement SA par exemple) ou apporter des compétences sur le bilan carbone, l'analyse de cycle de vie ...

L'utilisation de ces méthodologies passe également par une sensibilisation, voire une formation sur ces aspects. L'Ademe est porteur aujourd'hui de cette mission. Les pôles de compétitivité vont également avoir un rôle à jouer sur ce volet, notamment pour anticiper les besoins sur des métiers nouveaux et anticiper les mutations en conséquence.

Enfin, l'accès aux marchés publics par les PME du secteur de la protection environnementale au sens large pourrait être facilité dans un domaine où 60 % du marché passe par la commande publique.

consacrés à ce domaine est largement en dessous des niveaux japonais, américain, allemand, et même chinois.

La France possède toutefois les leaders mondiaux pour industrialiser la filière du recyclage : Veolia via Onyx, et Suez grâce à Sita.



Les entreprises françaises sont présentes sur l'ensemble de la chaîne de valeur : équipements de collecte, centres de tri, usines d'incinération, recyclage, services ...

Enfin, en ce qui concerne la métrologie environnementale, le potentiel français dans ce domaine est complet : recherche publique, pôles de compétitivité sur lesquels s'appuyer : Axelera, Risques, pôle Mer Paca et Mer Bretagne, Trimatec...

Les domaines d'application de la métrologie sont extrêmement vastes, en raison de l'évolution des usages, de la généralisation des « comportements citoyens » qui amène à trier les déchets, économiser l'eau, à la réorientation des modes de consumma-



## 30. Technologies pour la captation maîtrisée et le traitement des sédiments pollués



### Description

Les sédiments qui reposent au fond de la mer ou des cours d'eau, des lacs et des barrages sont bien souvent pollués. Ils contiennent des métaux lourds, des pesticides, et d'autres polluants organiques persistants qui se sont accumulés au cours du temps.

Or, pour entretenir et approfondir les voies navigables, les ports et leur accès, tant à l'intérieur qu'au large, il est parfois nécessaire de retirer ou déplacer ces sédiments : c'est l'opération de dragage. Les sédiments les plus pollués doivent ensuite être traités afin de pouvoir être valorisés comme matière première.

Le dragage des sédiments peut s'avérer plus néfaste pour l'environnement que le fait de les laisser en place. Les polluants piégés, au moins temporairement, dans les compartiments sédimentaires risquent d'être remobilisés, et dispersés dans l'écosystème.

Le dragage peut être effectué mécaniquement ou par aspiration des sédiments. Les sédiments dragués peuvent ensuite connaître des sorts divers : mise en dépôt sur site confiné, épandage, régilage sur berge (cette technique présente toutefois un inconvénient majeur lié à la création d'un cordon de curage riche en azote qui empêche le ruissellement des eaux), mais aussi traitement et valorisation :

• le traitement : prétraitement par déshydratation, lavage, techniques végétales, traitement biologique, physique, chimique, inertage, stabilisation-solidification, incinération... Ce sont les caractéristiques physiques des produits qui influencent les procédés de traitement. Le plus souvent, plus les particules sont fines, plus elles sont chargées en métaux lourds et/ou polluants organiques ;

• la valorisation : par exemple, réemploi dans des remblais, pour la production de matériaux (après stabilisation-solidification permettant de solidifier et stabiliser durablement les polluants), stabilisation-fertilisation de sols en friche, etc.

Les verrous à lever sont de plusieurs sortes et portent sur la gestion durable des sédiments :

- la modélisation de leur transport ;
- la caractérisation des sources de pollution : elle provient généralement de rejets d'origine variée (industriels, agricoles, urbains) qui sont mélangés entre eux et véhiculés par l'eau et la matière en suspension. Ces phénomènes favorisent la dispersion et la transformation chimique des polluants ;
- l'extraction des sédiments : mise au point des solutions alternatives au dragage ou amélioration des techniques d'aspiration permettant de les capter, sans libérer les polluants piégés ;
- l'amélioration de la gestion des dépôts de dragage, du traitement et de la valorisation des sédiments : développement de techniques de gestion et traitement *in situ* (« capping » des sédiments, valorisation matière... ) ;
- la diminution des coûts de traitement : les traitements physico-chimiques, biologiques ou thermiques demeurent onéreux et sont réservés à des volumes réduits de sédiments fortement pollués.

### Applications

Le territoire français compte 525 000 km de cours d'eau et ces cours d'eau transportent chaque année six millions de m<sup>3</sup> de sédiments, en moyenne.

Environ 50 millions de m<sup>3</sup> de sédiments sont dragués par an. 25 millions de m<sup>3</sup> de sédiments sont déplacés par les trois principaux ports d'estuaire, Rouen, Nantes-Saint Nazaire et Bordeaux. Les cinq grands ports maritimes, La Rochelle, Dunkerque, Calais, Boulogne et Le Havre draguent 6,2 millions de m<sup>3</sup> de sédiments (moyenne annuelle).

La principale motivation du dragage (70 % concernent les cours d'eau pour le dragage continental) est le maintien de la navigation mais aussi la prévention des inondations. Le coût moyen du dragage en Europe est légèrement supérieur à 1 €/m<sup>3</sup> mais avec le traitement, le coût peut atteindre 100 €/m<sup>3</sup>, impliquant des coûts très élevés pour les opérations d'envergure.

La valorisation matière des sédiments de dragage nécessite souvent une pollution faible ou nulle de ces sédiments. Après traitement, on peut envisager leur valorisation dans des matériaux de construction, des matériaux routiers ou des anthrosols pour lesquels la pollution doit être *a minima* faible [14].

#### Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion
● Diffusion croissante
● Généralisation

#### Degré de diffusion en France

● Faible diffusion
● Diffusion croissante
● Généralisation

## Enjeux et impacts

L'enjeu est à la fois économique et écologique. Économique puisque le dragage permet le maintien de la navigation. Écologique, car la gestion durable des sédiments fait partie intégrante de la protection et la préservation des écosystèmes côtiers et continentaux.

Le dragage d'un cours d'eau peut en effet induire une perturbation du milieu aquatique en remettant en suspension des sédiments susceptibles de migrer dans des zones déjà curées ou non envasées, entraînant une modification physico-chimique du milieu, la surabondance d'éléments nutritifs, l'augmentation de la biodisponibilité entre les sédiments en suspension... Les nuisances peuvent aussi être sonores (par l'opération de dragage elle-même), et olfactives (les sédiments pollués contenant – ou pouvant générer – des gaz de type méthane ou des composés soufrés tels que H<sub>2</sub>S qui peuvent dégager des odeurs lors de leur transport ou dans les bassins de dépôt).

Une pollution de grande ampleur s'est produite en 1973 aux États-Unis suite au démantèlement du barrage de Fort Edwards sur l'Hudson et a conduit à la libération en aval de sédiments chargés en PCB et jusqu'alors retenus en amont par le barrage. 150 000 m<sup>3</sup> de sédiments contaminés ont dû être enlevés et en 1983, tout un tronçon de la rivière en aval était inscrit au programme américain de lutte contre la pollution (Superfund). La question des sédiments retenus en amont des barrages se pose donc systématiquement dès lors que le démantèlement est envisagé [15].

Les réglementations française et européenne interdisent désormais le rejet, dans le milieu marin, des vases (et sédiments) pollués (charge toxique supérieure à un certain seuil). Les collectivités doivent donc prévoir un traitement à terre coûteux (volumes à traiter considérables et complexité du processus).

Au moins quatre textes traitent de l'évaluation de la qualité des sédiments et des procédures administratives à respecter pour la réalisation des travaux. Ces textes définissent les niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens en milieu naturel ou portuaire (arrêté du 14 juin 2000).

Un meilleur contrôle des pollutions en amont permettrait de limiter les besoins de traitement des sédiments dragués, et donc de diminuer les coûts pour les collectivités.

Le projet Sédimatériaux, porté par le MEEDDM, la Région Nord-Pas-de-Calais, l'État, le CD2E et l'École des mines de Douai, vise à évaluer les solutions de valorisation pour aider à adapter la réglementation sur le recyclage des sédiments.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- R&D : Ecole des Mines de Douai, ESITCaen (Ecole d'Ingénierie et des travaux de la construction), BRGM, INERIS, CEMAGREF, VNF, CNR, EDF
- ARD Normandie, Eurovia, Extract-Ecoterres, Alzeo Environnement, Saur
- Pôles MER Bretagne et Mer PACA, Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Sites, Sols et Sédiments Pollués (GIS 3SP), CD2E, pôle de compétitivité TEAM2, AXELERA

### Principaux acteurs étrangers

- Solvay, Deltares/TNO (NL), ISSEP (Be), Federal Institute of Hydrology (D), NGI (NO)

## Position de la France

La réglementation pousse ce marché, mais elle n'est pas uniforme partout en Europe. Ainsi la Belgique est moins sévère que la France sur certains aspects mais plus sévère sur d'autres.

En France, au niveau des ports, c'est celui de Dunkerque qui est le plus en avance sur la question.

## Analyse AFOM

### Atouts

Projets Sédimatériaux, Sedimed, Depoltex, avance technologique et structuration de la filière en cours.

### Faiblesses

Difficulté à capitaliser et à transférer les connaissances.

### Opportunités

Contexte réglementaire interdisant le rejet de vases et sédiments pollués.

### Menaces

Verrou réglementaire.

## Recommandations

Un verrou réglementaire fort freine actuellement la diffusion de ces technologies : en effet, même traités, les sédiments sont considérés comme un déchet ce qui limite leur valorisation (d'autant que dans les pays frontaliers, les réglementations sont plus favorables). Apporter une solution législative à ce point pourrait permettre un véritable effet levier favorable au développement de ces technologies. C'est ce que devrait permettre le projet Sédimatériaux.

## Liens avec d'autres technologies clés

37

### Maturité (échelle TRL)

	Émergence (TRL : 1-4)
	Développement (TRL : 5-7)
	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

	Leader ou Co-Leader
	Dans le peloton
	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

	Faible
	Moyen
	Fort



# 31. Capteurs pour l'acquisition de données

## Définitions

On distingue deux types de capteurs : les capteurs biologiques, et les capteurs non biologiques c'est-à-dire chimiques, physiques...

Les capteurs intelligents : système fournissant, outre la mesure (par un ou plusieurs capteurs) d'autres services ou fonctionnalités, des fonctions d'auto-test et d'auto-contrôle, de contrôle à distance, les conditionneurs associés aux capteurs, des fonctions de calcul interne (impossible avec un capteur classique), une interface de communication...

Les réseaux de capteurs correspondent au déploiement de micro-capteurs, dans une zone géographique appelée champ de captage, qui permettent de récolter et transmettre des données environnementales de manière autonome.

Le traitement des données désigne la transformation en contenus numériques exploitables par des applications en temps réel (applications embarquées) ou en temps différé.

## Description

La métrologie est un outil indispensable de diagnostic, de prévision et d'évaluation de la pollution de l'eau, des sols, de l'air.

Elle regroupe un ensemble de systèmes, d'éléments ou de fonctions, tous aussi importants les uns que les autres :

- les capteurs eux-mêmes ;
- les capteurs intelligents ;
- les réseaux de capteurs et leur intégration ;
- la modélisation ;
- le traitement des données [21].

Chaque type de pollution présente ses spécificités : il y a autant, sinon plus, de techniques de mesure que de polluants à détecter. Mais outre un impact sur l'instrumentation de mesure et donc sur les données à acquérir, ces différentes pollutions nécessitent la définition d'indicateurs adéquats. Il s'agit de déterminer les paramètres de contrôle pertinents de la qualité environnementale d'un milieu naturel (eau [13], air ou sol). Il peut par exemple s'agir d'indicateurs de mesure de la qualité chimique ou biologique de l'eau, de mesure quantitative d'une espèce sur un domaine par exemple.

Ce champ technologique pose des questions de développement liées aux verrous technologiques suivants :

- la détection des « cocktails » de polluants, notamment les polluants « émergents » type médicaments, dont les métabolites peuvent s'associer et pour lesquels il reste beaucoup à faire en matière de détection ;
- l'autonomie énergétique des capteurs : les capteurs déportés permettent de suivre un système à distance sans le perturber. Mais les temps d'expérimentation sur les milieux naturels sont très longs : il est par conséquent nécessaire d'avoir des systèmes de mesures autonomes en énergie ;
- la fiabilisation et la précision dans le traitement des données mesurées ;
- le développement de la mesure en continu (temps réel) ;
- l'amélioration du couplage entre mesure terrestre (marine inclus) et mesure satellitaire : le couplage de données hydrographiques, météo, terrain doit permettre d'apporter un outil pertinent pour la prévention des risques naturels, par exemple dans le cadre des plans de prévention des collectivités locales.

## Applications

La métrologie environnementale est à intégrer aux systèmes d'aide à la décision industrielle et politique.

Dans le premier cas, il s'agit de disposer d'un outil de contrôle permettant l'optimisation des procédés industriels, l'atteinte des objectifs en termes de développe-

ment durable. De nombreuses filières sont concernées : chimie, transport...

Dans le second, il s'agit de disposer de la connaissance nécessaire à la prise de décision : orientations réglementaires dans le domaine des transports, des productions agricoles, du bâtiment, de l'assainissement..., prévention des milieux naturels et de la biodiversité.

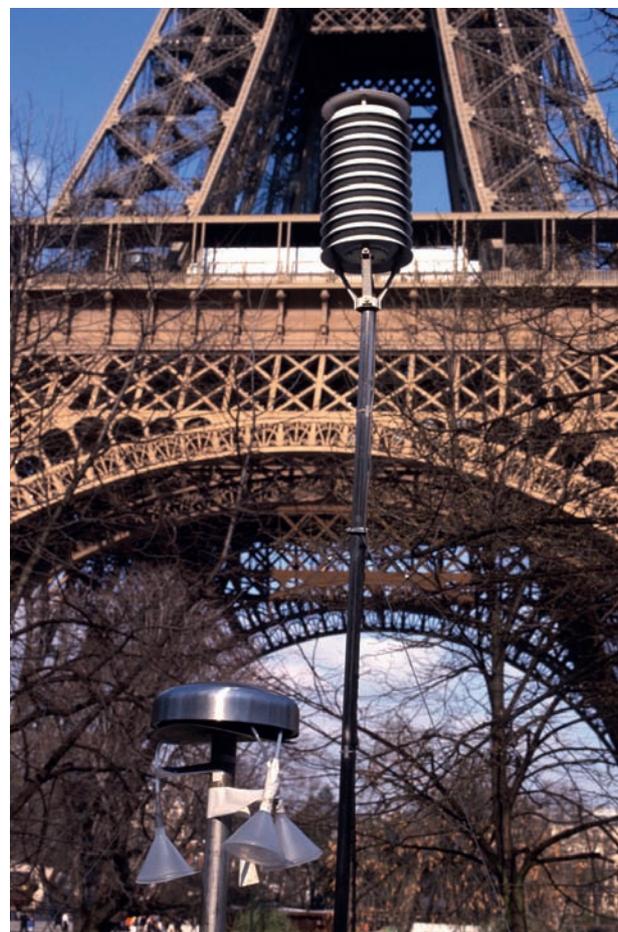
Tous types de pollutions sont concernés, tant l'air, l'eau que les sols.

Les différents marchés de la métrologie n'en sont pas au même degré de maturité :

- celui de l'analyse de l'air est mature ;
- le marché de l'analyse de l'eau douce et de la qualité des eaux marines est en croissance ;
- celui des sols est en émergence.

## Enjeux et impacts

Le marché des capteurs et de la métrologie reste très lié à la réglementation. Si cette dernière se renforce, les besoins en instrumentation croissent car les seuils de pollution tolérés sont amenés à diminuer, de nouvelles substances doivent être détectées...



### Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

### Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

Les enjeux sont divers : environnement bien sûr, mais aussi santé publique et préservation des milieux naturels et de la biodiversité. Ils se traduisent par des réglementations à plusieurs niveaux :

- au niveau français : les objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement ;
- au niveau européen : on cite par exemple la directive cadre sur l'eau qui vise le bon état écologique des eaux (cours d'eau, nappes phréatiques...) à l'horizon 2015. Elle permet de passer à une logique de résultats, l'objectif étant la protection à long terme de la qualité des eaux ;
- au niveau mondial : la Convention sur la diversité biologique (CDB).

La diminution du prix des capteurs permettrait leur généralisation. La mesure en temps réel permettra le suivi des substances émergentes et par conséquent une meilleure appréhension de leur devenir et de leurs effets sur la santé et l'environnement, notamment les effets cumulatifs (exposition sur une longue période).

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : CEA LETI, Cemagref, BRGM, Ineris, Laboratoire Femto, Inria, ISPL (Institut Pierre Simon Laplace), LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air), QQAI (Observatoire de la qualité de l'air intérieur), Laboratoire National d'Essais (LNE), Anjou Recherche (Veolia), Ifremer
- **Intégrateurs** : Iris Instruments, Essaimages du CEA LETI, Environnement S.A, Léosphère, Force-A (issue du CNRS Saclay)
- **Utilisateurs** : Degrémont (Suez), Guigues Environnement
- **Pôles de compétitivité** : Dream22 Eaux et milieux, pôle Risques, pôles MER Paca et Bretagne, Axelera

### Principaux acteurs étrangers

- Environmental Sensors Co., Massachusetts Institute of Technology

## Position de la France

De manière générale, le marché de la métrologie est porté par des PME. La France possède de nombreuses compétences notamment appliquées à l'air et sur les applications satellitaires. Des entreprises françaises sont très bien positionnées à l'export dans le domaine de la qualité de l'air intérieur et sont les leaders technologiques sur les outils de mesure dans ce domaine.

Toutefois, globalement, toutes matrices confondues, la France accuse un retard par rapport aux Etats-Unis, au Japon et à l'Allemagne, leaders dans le domaine.

Il y a un réel enjeu à l'export, certaines PME françaises réalisant de 50 à 70 % de leur chiffre d'affaire à l'étranger (plus de 35 % en moyenne). En effet, les marchés des nouveaux pays membres de l'Union européenne, les pays émergents et les pays en développement sont, à ce jour, inexploités.

## Analyse AFOM

### Atouts

Fort potentiel de recherche et d'innovation, recherche publique de premier plan et nombreux pôles de compétitivité sur lesquels s'appuyer.

### Faiblesses

Marché peu structuré avec pléthore de PME.

### Opportunités

Contexte politique, réglementaire favorable, marchés inexploités à l'étranger : nouveaux pays membres de l'UE, pays émergents, pays en développement, marché favorable au développement de partenariats-contrats à long terme, intégration, en plus de la fourniture des biens, d'une multitude de services.

### Menaces

Concurrence forte des Japonais et des Américains pour la mesure satellitaire.

## Recommandations

Les recommandations pour le développement et la diffusion de ces technologies concernent :

- à la fois, la nécessité de recherches en amont notamment sur les biomarqueurs ;
  - le besoin de mise en réseau des acteurs, avec une difficulté liée à la confidentialité des données traitées ; il manque en France un organisme de représentation collective de la filière « métrologie-instrumentation » ;
  - des actions à mener pour favoriser le transfert de technologies : s'appuyer sur le potentiel de recherche fort sur le sujet et profiter des investissements d'avenir sont des axes pouvant permettre de remédier à cette difficulté.
- En termes de dimension sociale, la communication autour des polluants émergents pourrait produire peur et affolement si elle était mal maîtrisée.

## Liens avec d'autres technologies clés

8

28

83

### Maturité (échelle TRL)

 Émergence (TRL : 1-4)
 Développement (TRL : 5-7)
 Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

 Leader ou Co-Leader
 Dans le peloton
 En retard

### Potentiel d'acteurs en France

 Faible
 Moyen
 Fort



## 32. Technologies pour le dessalement de l'eau à faible charge énergétique

### Définitions

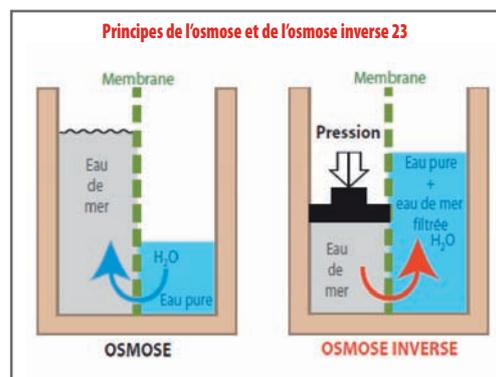
Dans le procédé d'osmose classique, deux solutions de salinité différente sont séparées par une membrane sélective (qui ne laisse passer que certains éléments) : l'eau passe spontanément de la solution la moins concentrée en sel à la plus concentrée, de manière à équilibrer les concentrations de part et d'autre de la membrane.

L'osmose inverse consiste à appliquer une pression à l'eau salée située dans le premier compartiment : l'eau passe alors à travers une membrane mais pas le sel. De l'eau douce est donc obtenue dans l'autre compartiment. L'eau salée doit être prétraitée afin d'éliminer le sable et les particules en suspension, susceptibles de colmater les membranes.

### Description

Deux technologies sont principalement mises en œuvre pour dessaler l'eau de mer : l'osmose inverse et la distillation.

60 % des installations utilisent la technologie de l'osmose inverse.



Dans le cas de la distillation, plusieurs procédés peuvent être mis en œuvre. Le procédé le moins énergivore est la distillation multi-effet pour lequel le distillateur est constitué de plusieurs évaporateurs appelés effets. On trouve aussi des procédés de distillation par dépression, utilisant le fait que la température d'ébullition d'un liquide diminue aux basses pressions.

D'autres technologies sont à l'étude mais n'ont pas encore dépassé le stade des essais en laboratoire. Elles font appel aux nanotechnologies et plus précisément à des nano-membranes constituées de nanotubes de carbone. Cependant, le développement de ces technologies, outre le passage à l'échelle industrielle, nécessite l'approfondissement des connaissances quant à l'impact éventuel des nanotechnologies sur la santé humaine et l'environnement.

Les progrès attendus concernent principalement deux axes :

- la diminution, de 30 à 50 %, de la consommation énergétique de ces technologies (chauffage de l'eau, compression de l'eau salée) ;
- l'atténuation de leur impact. En effet, il en résulte une forte concentration en sel et la question se pose quant à l'utilisation et à l'élimination de ce sel.

### Applications

En raison de la démographie croissante de certaines régions du globe et de l'accroissement des phénomènes climatiques extrêmes (sécheresses ou inondations), la potabilisation de l'eau est devenu un enjeu vital et la désalinisation de l'eau de mer, une solution envisagée

dans un nombre croissant de pays. En effet, 71 % de la surface de la planète est recouverte d'eau, mais 97 % de cette eau est salée [23, 24].

La Banque mondiale estime à 80 pays, soit 40 % de la population mondiale, le nombre de pays souffrant de pénuries d'eau.

De nombreux pays du pourtour méditerranéen ont fait des investissements majeurs dans ce domaine : Espagne, Lybie, Israël, Algérie..., ainsi que des pays du Golfe (Koweït, Arabie Saoudite), la Chine, l'Inde, la Californie, l'Australie...

La Chine représente 20 % de la population mondiale mais ne possède que 7 % des ressources en eau douce de la planète. Le dessalement est donc devenu une solution opérationnelle et stratégique pour le gouvernement central chinois, qui étudie la possibilité de dessaler des glaces de mer (la jeune glace de mer peut emprisonner jusqu'à 22 grammes de sels par litre, moins que la salinité moyenne des océans, de l'ordre de 35 g /L) [25].

### Enjeux et impacts

Fin 2006, la capacité mondiale de dessalement s'élevait à 43 millions de m<sup>3</sup> par jour ; 1 % de la population mondiale dans le monde avait recours à de l'eau issue du dessalement. L'installation d'unités de capacité importante (de l'ordre de 0,001 km<sup>3</sup>) devrait se multiplier dans les mois et années à venir : par exemple, en mai 2010, un consortium israélien (H2ID) a inauguré l'une des plus grandes usines de dessalement du monde dans la ville côtière de Hadera [27]. Le pays est en effet victime de pénuries chroniques d'eau. L'usine devrait fournir, selon le consortium, 127 millions de m<sup>3</sup> d'eau dessalée par an, soit 20 % de la consommation domestique annuelle.

L'osmose inverse devrait atteindre 70 % de part de marché à l'horizon 2020, contre 20 % pour le thermique et 10 % pour les autres méthodes [23]. Les efforts de R&D des leaders mondiaux sont d'ailleurs centrés sur l'osmose inverse.

L'enjeu pour le développement de ces technologies est la réduction des coûts opérationnels du dessalement. Il est actuellement plus simple et moins onéreux de chercher des sources d'eau douce à traiter, dans les pays où cela est possible, que de dessaler l'eau de mer. En revanche, dans les pays ne disposant pas de ressources naturelles en eau douce ou ayant des ressources insuffisantes, le dessalement est mis en œuvre, à condition que le pays en ait les moyens.

L'osmose inverse a permis de considérablement diminuer l'énergie consommée par ces technologies : de 15 kWh/m<sup>3</sup> pour la distillation multi-effet à 4-5 kWh/m<sup>3</sup> pour l'osmose inverse. Mais la part de l'énergie

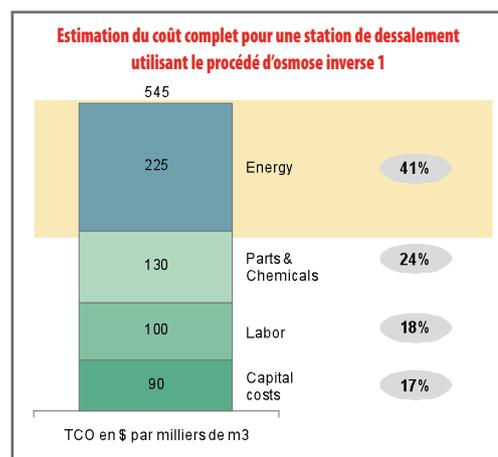
#### Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

#### Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

dans le coût total reste importante : plus de 40 % pour l'osmose inverse, portant le prix de l'eau en sortie d'usine entre 0,4 et 0,8 euro le m<sup>3</sup> pour cette technologie [26]. Les travaux dans ce sens doivent être poursuivis.



La réduction des coûts opérationnels permettrait donc d'augmenter la pénétration de ces technologies sur le marché et notamment de rendre le dessalement compétitif par rapport au prélèvement d'eau traditionnel, dans les pays développés ne connaissant pas de problèmes de ressources en eau douce. Dans les pays émergents, l'enjeu se situe dans l'accession à des technologies bon marché.

Dans ce cadre, la capacité mondiale de dessalement pourrait atteindre 107 millions de m<sup>3</sup> par jour fin 2016 [23]. Le marché est important au Moyen-Orient, en Méditerranée et en Asie.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : IEM (Institut européen des membranes, Montpellier), CEA, GRETh (Groupement pour la recherche sur les échangeurs thermiques)
- **Utilisateurs** : Veolia, Suez, Saur
- **Pôle de compétitivité** : EAU (Montpellier), Agences de l'eau

### Principaux acteurs étrangers

- General Electric, Doosan, Hyflux, Fisia, Befesa, Kopf

## Position de la France

Les deux leaders mondiaux de l'eau, français, Veolia et Suez (Degrémont), maîtrisent les technologies de l'osmose inverse (mais aussi bien sûr la distillation). Il y a un réel enjeu à l'export pour ces grands groupes sur ces technologies.

La France possède également des laboratoires publics de premier plan dans le domaine des technologies membranaires.

## Analyse AFOM

### Atouts

Les deux leaders mondiaux de l'eau sont français, maîtrisent la technologie et ont les ressources nécessaires à la R&D.

### Faiblesses

Offre trop orientée vers le « clés en mains », pas assez de positionnement sur les équipements.

### Opportunités

Marché en croissance, tiré par la croissance démographique et le stress hydrique, migration vers les zones littorales.

### Menaces

Concurrence de plus en plus forte des pays asiatiques notamment, qui progressent vite et ont une R&D active.

## Recommandations

Le marché potentiel de ces technologies est à l'export, du moins tant qu'elles ne seront pas compétitives avec les technologies classiques de potabilisation. Des travaux de recherche permettraient d'atténuer l'impact environnemental de ces méthodes, notamment sur leurs rejets salés. Lever ce verrou technologique est un enjeu fort pour le développement de ces technologies.

Les enjeux étant à l'export, il conviendrait de renforcer la force commerciale (via la formation notamment) de nos champions nationaux de manière spécifique pour ces marchés.

## Liens avec d'autres technologies clés

33

36

### Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



## 33. Technologies pour le traitement des polluants émergents de l'eau

### Définitions

Les polluants prioritaires sont les pesticides (alachlore, atrazine, diuron...), les dioxines, les métaux lourds (cadmium, mercure, nickel, plomb), les HAP (fluoranthène, benzo(a)pyrène, et le benzo(k)fluoranthène.

### Description

Trente-trois substances (et groupes de substances) ont été définies comme dangereuses et nocives et classées comme polluants prioritaires de l'eau depuis plusieurs années.

Plus récemment, l'attention a été attirée sur de nouveaux polluants, dits « émergents », comme les produits pharmaceutiques (antibiotiques...) et cosmétiques, les plastifiants. La question des perturbateurs endocriniens est particulièrement préoccupante.

Les procédés classiques de traitement de l'eau permettent de traiter en partie ces polluants émergents :

- les procédés membranaires : ultra et nanofiltration. Certains procédés combinent mécanisme physique de rétention des polluants et mécanismes biologiques de dégradation par voie aérobie (réaction d'oxydation exothermiques des composés en présence d'oxygène et de micro-organismes conduisant à la formation de biomasse, d'eau et de produits minéraux) ;
- les procédés de dégradation biologique anaérobiques conduisant à la production de méthane ;
- les procédés d'oxydation chimiques avancés, permettant de dégrader les polluants en des produits finaux inorganiques, de l'eau et du dioxyde de carbone ;
- les traitements UV/ozone.

Les verrous restant à lever sont de plusieurs types :

- la mise au point de technologies de détection fiables, reproductibles, prenant en compte les effets cumulatifs des polluants émergents ;
- des innovations incrémentales portant sur l'amélioration des technologies membranaires classiques afin d'augmenter les performances des membranes (problèmes de colmatage, performances énergétiques) ;
- des innovations de rupture avec le développement de technologies émergentes à moyen et long terme : nanotechnologies (filtre à base de nanotubes de carbone par exemple) et des biotechnologies (phyto-rémediation). Elles permettraient d'augmenter la quantité des composés enlevés en stations d'épuration (STEPs) et de traiter ces polluants et leurs métabolites ;
- la nécessité de trouver de nouvelles combinaisons de traitements : recourir à plusieurs procédés combinés rend le traitement plus efficace. Un certain savoir-faire est nécessaire pour trouver la meilleure association ;
- l'optimisation économique de ces solutions : réduction du coût des membranes, la technologie UV/ozone est onéreuse...

### Applications

Les applications de ces technologies concernent :

- la production d'eau potable ;
- le traitement de l'eau pour l'industrie ;
- le traitement des eaux usées : domestiques mais aussi effluents industriels.

Le marché de l'eau est globalement mature en Europe et connaît une croissance faible, de 2 à 3 % par an. L'amélioration des installations est continue, mais l'impact en termes d'emplois nouveaux est restreint.

Par contre, la croissance est beaucoup plus forte en Chine et au Moyen-Orient : de l'ordre de 10 % par an.

Il y a des opportunités de contrats d'exploitation avec les municipalités et des industriels, les municipalités représentant les marchés les plus importants. Au niveau mondial, le marché de l'exploitation municipale (O&M, gestion des actifs, internalisation municipale) représentait en 2007, tous segments confondus (distribution de l'eau/collecte eaux usées, traitement de l'eau, traitement des eaux usées), 170 000 Md\$.

Le marché municipal mondial des composants (produits chimiques, filtration et traitement) pour le traitement de l'eau et des eaux usées représentait 23 000 Md\$ en 2007, et 22 000 Md\$ pour les industries.

### Enjeux et impacts

L'enjeu du traitement des polluants émergents est un enjeu économique mais aussi de santé publique. En effet, contrairement aux polluants prioritaires, les polluants émergents ne sont pas tous identifiés, tant en termes de structure que d'impact sanitaire et environnemental. Ils sont aussi présents à faibles concentrations dans l'eau, ce qui les rend difficiles à atteindre (par les micro-organismes des STEP conventionnelles par exemple). Certains de ces polluants présentent une faible dégradabilité biologique, d'autres au contraire sont dégradés en molécules plus toxiques que la molécule mère. Environ 90 % de ces composés peuvent être enlevés dans les STEP mais il en reste tout de même dans les effluents à des concentrations de l'ordre du nanogramme par litre. Or, les effets cumulatifs de ces polluants sont méconnus. Enfin, leur émission dans l'environnement est continue.

Trois directives principales tirent le marché de l'eau :

- la directive cadre sur l'eau vise l'atteinte d'un bon état écologique des eaux et des milieux aquatiques (nappes phréatiques comprises) à l'horizon 2015 ;
- le plan PNSE 229 ;
- le Grenelle de l'environnement.

Une filière de l'élimination des déchets médicamenteux est à créer afin d'éliminer une partie de la pollution à la source.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input checked="" type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : Onema, IEM (Institut européen des membranes), Cemagref, LCME, Engees, Anses, LPTC
- **Utilisateurs** : Veolia, Suez, Saur (dont Stereau), Hydranet, Degremont, Syndicat national des industries de production d'eaux potables, de process et de piscines (Siep)
- Le pôle Hydreos (Lorraine-Alsace) qui traite de la gestion du cycle de l'eau (qualité, santé, écosystèmes et maîtrise des polluants) ainsi que le pôle Dream Eau & Milieux28 devront travailler en coordination avec le pôle à vocation mondiale Eau (ressources en eau : localisation, extraction, gestion rationnelle et assainissement). Pôle Axelera

### Principaux acteurs étrangers

- Nalco, ITT, Tyco, Siemens, GE

## Position de la France

La France compte trois leaders mondiaux, Veolia (12,3 Md€ de chiffre d'affaires pour l'activité de l'eau), Suez (6 Md€ de chiffre d'affaires pour l'activité de l'eau) et Saur dans le domaine de l'eau. Ceux-ci sont présents sur les technologies clés (filtration membranaire, osmose inverse...) c'est-à-dire sur l'ingénierie, mais sont absents sur les équipements et les produits chimiques [3].

Le leadership a été acquis grâce à l'action publique et la mise en place de la délégation de service public (DSP). C'est ce qui a permis la structuration de la filière et la création d'entreprises de taille suffisante pour avoir une R&D active, une capacité d'exportation du savoir-faire et un fort dynamisme.

Le modèle mixte public-privé français est considéré comme une référence dans le monde, et permet de préserver nos champions nationaux ainsi que leur puissance à l'export.

## Analyse AFOM

### Atouts

Trois leaders mondiaux français ; des pôles de compétitivité positionnés sur ces thématiques, avec la labellisation récente de trois pôles écotechs en rapport avec l'eau.

### Faiblesses

En ingénierie de projet, (nombreuses entreprises de petite taille, à faible dimension internationale).

### Opportunités

Contexte réglementaire favorable (Grenelle de l'environnement, directive de l'Union européenne...). Opportunités aussi dans des pays d'Asie (Inde, Chine).

### Menaces

Développement très rapide des compétences en Asie (Chine, Corée).

## Recommandations

Il conviendrait dans le cadre d'appel à projet de recherche de mobiliser l'industrie pharmaceutique pour caractériser au mieux la biodégradabilité des polluants émergents dont elle est la source.

L'axe « écotoxicologie » portée par la SNRI devrait faire l'objet d'actions spécifiques dans le cadre des investissements d'avenir permettant de doter la recherche française des outils adaptés pour répondre aux enjeux de santé publique et sanitaires soulevés ici.

Par ailleurs, on note un réel besoin de structuration de la filière autour des pôles de compétitivité et industries concernés.

## Liens avec d'autres technologies clés

30

35

### Maturité (échelle TRL)

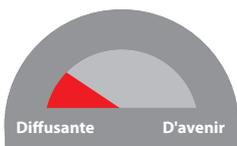
	Émergence (TRL : 1-4)
	Développement (TRL : 5-7)
	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

	Leader ou Co-Leader
	Dans le peloton
	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

	Faible
	Moyen
	Fort



## 34. Technologies pour le traitement de l'air

### Définitions

Parmi les polluants primaires, certains ont une importance particulière : le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote (NOx), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les particules et les composés organiques volatils (COV).

L'ozone est le principal polluant secondaire rencontré : un processus photochimique transforme certains polluants primaires (COV, NOx, monoxyde de carbone) en ozone. L'acide sulfurique et l'acide nitrique sont aussi des polluants secondaires.

### Description

La pollution de l'air a plusieurs sources : l'industrie, les matériaux de construction et de décoration (bâtiment), les cheminées domestiques, les transports, l'agriculture, etc.

On distingue plusieurs types de polluants de l'air :

- les polluants primaires chimiques : substances présentes dans l'atmosphère telles qu'elles ont été émises ;
- les polluants secondaires chimiques, dont la présence dans l'atmosphère résulte de réactions chimiques entre des composés précurseurs ;
- les substances d'origine biologique (moisissures, bactéries, allergènes...).

Ces différents types de substances nécessitent des technologies de traitement différentes. De fait, les technologies de traitement de l'air sont variées :

- les technologies « classiques » de filtration : l'air passe au travers d'un filtre qui retient les polluants ;
- l'adsorption : transfert et interactions des composés polluants avec la surface d'un matériau poreux. Cette technique peut être couplée à une réaction chimique de type ozonation (par exemple pour le traitement sélectif des COV de fumées industrielles) ;
- la photocatalyse [22] : cette technologie demeure pour l'instant assez confidentielle et fait débat quant à son potentiel réel, notamment à grande échelle.

La faisabilité technique de ces types de technologies est déjà démontrée il subsiste toutefois des verrous technologiques à lever :

- en amont, le développement de la métrologie appliquée à la qualité de l'air ;
- l'amélioration des catalyseurs utilisés en photocatalyse, permettant la réduction de la taille des réacteurs et de la consommation énergétique de cette technologie ;
- l'obtention de systèmes fiables, simples, peu onéreux aussi bien de mesure (métrologie) que de traitement.

Au-delà des verrous purement technologiques, il existe aussi des actions à mener en amont. La réduction des émissions « à la source » est indispensable et indissociable d'un bon résultat en matière de qualité de l'air. Les actions de prévention passent par des réflexions engagées dans plusieurs secteurs : meilleure conception des matériaux de construction et de décoration, re-conception des systèmes de circulation de l'air, revêtements des routes dépolluants dans le secteur des transports, systèmes de post traitement pour l'automobile, limitation des rejets gazeux engendrés par la synthèse des nanotubes de carbone dans le cas des nanotechnologies, poursuite des efforts en matière d'émissions industrielles...



### Applications

De manière générale, le marché du traitement de l'air est un marché mature en France. Il regroupe les fumées industrielles d'une part, et la qualité de l'air intérieur d'autre part.

En matière de fumées industrielles, les investissements seront fortement portés jusqu'en 2012 (12 Md€/an) par la nécessaire mise en conformité des installations aux normes européennes, notamment en Europe centrale. Le marché de la concession est lui aussi évalué à plus de 12 Md€/an à l'horizon 2015. Mais le marché du traitement des fumées industrielles est consolidé autour de grands groupes et peu ouvert aux nouveaux entrants.

En matière de qualité de l'air intérieur (QAI), il y a par contre des opportunités intéressantes pour des PME spécialisées.

En effet, la taille de ce marché est plus modeste que celle du traitement des fumées industrielles mais il est en forte croissance en raison des enjeux de santé publique. Le modèle américain en matière de QAI, qui a permis une croissance de 10 % par an pour ce marché, laisse entrevoir des perspectives plus qu'intéressantes sur notre territoire.

En 2007, le marché de la qualité de l'air intérieur représentait, en France, 1,3 Md€, principalement lié aux équipements de ventilation des bâtiments (VMC) et aux équipements de mesure et de contrôle. Une croissance de 10 % par an est attendue d'ici 2020, ce qui représenterait alors 4 Md\$ : 1 Md\$ pour les services de mesure et de diagnostic porté par des PME ; le reste se partageant entre les équipements pour la ventilation, les filtres, le dépoussiérage, les services d'installation et de maintenance...

### Enjeux et impacts

En matière de qualité de l'air, l'enjeu principal concerne la santé publique et l'environnement. En effet, les polluants de l'air intérieur peuvent causer de nombreux problèmes de santé, allant de problèmes respiratoires ou allergiques à des infections, voire même, dans les cas les plus sévères, des cancers.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

#### Degré de diffusion en France

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

Plusieurs directives européennes et lois ou décrets français réglementent ce domaine. Parmi ces textes, la stratégie thématique européenne fixait, en 2005, des objectifs à long terme pour 2020 tels que la réduction de 47 % de la perte d'espérance de vie du fait de l'exposition aux particules, de 10 % des cas de mortalité aigüe dus à l'ozone, de 43 % les zones où les écosystèmes sont soumis à l'eutrophisation.

Le plan PNSE 2 a été mis en place pour la période 2009-2013 et vise la réduction de 30 % des émissions de particules fines dans l'air ainsi que la diminution des émissions de six substances toxiques (mercure, arsenic, HAP, benzène, perchloroéthylène, PCB/dioxines). Il réaffirme la mise en place de l'étiquetage sanitaire des produits de construction, de décoration et plus généralement des produits les plus émetteurs de substances dans l'air intérieur des bâtiments et rend obligatoire l'utilisation des matériaux les moins émissifs dans les écoles et les crèches. Une campagne de surveillance de la qualité de l'air a d'ailleurs été lancée à la rentrée 2009 dans 300 crèches et écoles (150 en 2009-2010 et seconde phase en 2010-2011) [29].

Pour le secteur du bâtiment notamment, un des enjeux réside aussi dans l'acceptabilité des constructeurs, dans l'information et l'éducation des utilisateurs. Le plan PNSE 2 prévoit notamment de développer des conseillers en « habitat santé » ou en « environnement intérieur » pouvant se rendre au domicile des personnes souffrant de certaines maladies afin de leur proposer des mesures ciblées destinées à améliorer leur environnement de vie. Il y a donc des opportunités intéressantes pour des PME spécialisées.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : CSTB, Ademe, Ineris, LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air), QQAI (Observatoire de la qualité de l'air intérieur)
- **Intégrateurs** : Sansaris, Exotec, Icare, Bertin Environnement, Stereau, Delta Neu, société Ethera, Guigues Environnement, Epurae, Europe environnement, Air Sûr, Phytorestore, Saint Gobain, Veolia, Bouygues, Vinci, Colas, Eurovia, Alstom...
- Pôle Axelera

### Principaux acteurs étrangers

- Marsulex, Hamon, Lurgi, AEE, Babcock-Hitachi, Von Roll, MHI, IHI, Rafako, Procedair, GE, KHI...

## Position de la France

Sur le traitement de l'air en général, la France et l'Europe sont plutôt en avance. Les acteurs de la recherche publique sont nombreux, de même que les entreprises à même de proposer des solutions de surveillance et de traitement des pollutions.

## Analyse AFOM

### Atouts

Nombreux acteurs de R&D, prise de conscience collective des enjeux de la qualité de l'eau intérieure (QAI).

### Faiblesses

Un seul grand groupe français parmi les principaux installateurs de systèmes de traitement des fumées industrielles.

### Opportunités

Contexte réglementaire et sociétal, marchés publics.

### Menaces

Marché consolidé autour de grands groupes et peu de place pour les nouveaux entrants (volet industriel).

## Recommandations

En termes de dimension sociale, il conviendrait de s'inspirer de ce qui a été fait aux États-Unis où un grand programme national en faveur de la QAI (doté d'un budget de 40 millions de dollars) a permis de mettre en place des campagnes de sensibilisation des particuliers aux risques liés aux différents polluants, de créer un label pour les équipements performants, de créer un programme spécifique dans les écoles, de mettre en place des programmes de recherche spécifiques par type de polluants et de financer ces différents projets.

Il est recommandé également une évaluation multicritère des technologies décrites dans le cadre d'une approche systémique de la protection de l'environnement.

Enfin, la diffusion de ces technologies passera aussi par une prise en compte de ces questions dans les marchés lancés par les collectivités pour les bâtiments publics (écoles...).

## Liens avec d'autres technologies clés

41

### Maturité (échelle TRL)

	Émergence (TRL : 1-4)
	Développement (TRL : 5-7)
	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

	Leader ou Co-Leader
	Dans le peloton
	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

	Faible
	Moyen
	Fort



## 35. Technologies pour la dépollution *in situ* des sols et des sites pollués

### Définitions

**Venting** : injection d'air dans le sol pour faire remonter les polluants et les aspirer. **Bioventing** : venting couplé avec l'injection de bactéries ou nutriments qui décomposent biologiquement les polluants, et ceux-ci sont ensuite aspirés, sans destruction du sol.

**Biotechnologies** : biodégradation, bio-réduction, biolixiviation (métaux du sol extraits par solubilisation, grâce à des micro-organismes), bio-fixation/bio-sorption (fixation des polluants métalliques d'un effluent liquide sur des micro-organismes).

Certaines approches novatrices (*In Situ Chemical Reduction*) couplent la biodégradation avec un changement drastique des conditions physico-chimiques du milieu, en particulier pour des polluants organiques persistants.

### Description

La pollution des sols a plusieurs origines : activités industrielles, minières ou agricoles, de natures chroniques ou accidentelles. Il convient de bien différencier les pollutions ponctuelles (majoritairement industrielles ou accidentelles) des pollutions diffuses (majoritairement agricoles, liées aux transports ou issues de rejets atmosphériques chroniques).

Le marché de la dépollution reste dominé par les techniques *ex situ* (en particulier excavation-mise en décharge ou excavation-biocentre). L'un des principaux inconvénients sur le plan environnemental des techniques *ex situ* est la nécessité de transporter des quantités importantes de sols pollués. Les techniques de dépollution sur site permettent de s'affranchir de cet inconvénient. En outre, dès que les quantités de sols pollués mises en jeu deviennent importantes, le bénéfice environnemental des techniques *in situ* s'ajoute au gain économique par réduction des frais de transport. Pour ces raisons, ces techniques font l'objet d'importants efforts de R&D et de démonstration. Néanmoins, elles peinent à accéder au marché.

À ce jour, les techniques sur site les plus matures sont :

- la *venting* et la *bioventing* (voir encadré) ;
- les biotechnologies (voir encadré) ;
- la phytoextraction : les polluants (métaux principalement) sont extraits du sol via des végétaux (technologie émergente) ;
- la phytostabilisation (stabilisation par des végétaux) ;
- le confinement : la pollution ne peut donc plus migrer mais elle n'est pas traitée ;
- les techniques de traitement thermique (désorption thermique) ;
- la stabilisation physico-chimique ;
- l'oxydation chimique.

Pour contribuer au développement et au déploiement de ces technologies, les efforts à mettre en œuvre pour lever les verrous sont :

- baisse de la consommation d'énergie pour la désorption thermique par pointe chauffante ;
- couplage de l'oxydation et de la réduction chimiques avec la biodégradation ;
- développement de technologies de gestion des pollutions combinées (à la fois organiques et métalliques). Il faut alors stabiliser les polluants métalliques avant de pouvoir biodégrader les polluants organiques ;
- développement de technologies de remédiation des polluants organiques très persistants, tel que le chlorodécone (pesticide).

En complément des développements technologiques, il est essentiel de développer des méthodologies d'éva-

luation globale des performances techniques, économiques et environnementales

De manière générale, les techniques de traitement *in situ* ne sont pas assez développées, victimes de freins :

- techniques : typologie de la pollution, limites d'application des techniques, manques de connaissance de la pollution ;
- organisationnels : responsabilité résiduelle, nuisances et délais, contraintes temporelles, acceptabilité, contexte économique et juridique...

### Applications

En France, la base de données Basol [34] permet de connaître les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventifs ou curatifs ; les sites industriels faisant l'objet d'actions régaliennes sont d'environ 4 000.

En 2006, 54 % du traitement des sols a été effectué hors site : 17 % dans des installations de traitement biologique, presque 30 % dans des centres de stockage de déchets. Les traitements *in situ* représentaient 26 % des tonnages : la méthode la plus répandue était le *venting/bioventing*.

Le marché annuel de dépollution des sols devrait représenter 2,6 milliards d'euros en 2020 [1] soit une augmentation de 9,5 % par an. Il représentait 889 millions d'euros en 2008 et 8 400 emplois dont 2 400 directs. Le nombre d'emplois total en 2020 devrait avoisiner les 25 000 dont 6 000 directs. Cette estimation se base sur le maintien d'une réglementation stricte, un marché du BTP équivalent au marché des travaux, et envisage le développement de trois fonds d'investissements de 100 millions d'euros chacun d'ici à 2020 [1].

### Enjeux et impacts

La pollution des sols peut avoir un impact sur la santé publique et la qualité des eaux souterraines et de surface, sur une échelle de temps plus ou moins importante. À court ou moyen terme, le risque concerne les eaux souterraines, superficielles et les écosystèmes. Les risques pour la santé résultant généralement d'une exposition



#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

longue durée aux substances toxiques, l'impact sur les populations se mesure à moyen et long terme.

Au-delà du réaménagement des sites, le durcissement de la réglementation (sur les sols eux-mêmes mais aussi la directive-cadre sur l'eau pour ce qui concerne l'état des nappes souterraines) constitue un des moteurs du marché en France. De par l'origine industrielle de la pollution, la législation relative aux installations classées est la réglementation la plus souvent utilisée pour traiter les situations correspondantes.

Deux autres éléments de contexte expliquent la tendance à la hausse de ce marché de la dépollution des sols et des sites : la pression immobilière et le contexte industriel. En effet, les fermetures de sites industriels se sont multipliées en raison des phénomènes de délocalisations et désindustrialisation. Le traitement de ces sites est donc un marché supplémentaire potentiel.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : Ademe, BRGM, IFP, Ineris, IRSN
- **Ingénierie** : Burgeap, Bureau Veritas, Antea, ERG Environnement, Environ France SAS, Guigues Environnement, Socotec, Dekra, Sogreah, Tauw...
- **Entreprises de travaux** : Extract-Ecoterres, Sita Remediation (Suez), GRS Valtech (Veolia), Idra-Environnement, Valgo, Colas Environnement, Serpol, Seché Eco-Services, Sol Environnement, Soleo Services, Biogénie, Cosson, Ikos, OGD (groupe Ortec), Brézillon, Apinor...
- Union Professionnelle des entreprises de Dépollution de Sites (UPDS)
- Pôle Team2, programme européen Eurodermo, pôle Dream Eau & Milieux, Axelera

### Principaux acteurs étrangers

- **Ingénierie** : Tauw, Arcadis, URS, ERM, CSD Azur...
- **Entreprises de travaux** : Biogénie Europe SAS, HPC Envirotec...

## Position de la France

Le leader européen est français : il s'agit de Sita Remédiation.

Le marché français a été pénétré depuis 2002 par des entreprises étrangères, allemandes et hollandaises principalement.

Ce sont essentiellement les grands groupes qui peuvent élargir leur activité à l'international. En revanche, sur le territoire, l'offre des entreprises évolue et les petites structures intègrent de plus en plus la maîtrise d'ouvrage.

Le tissu de recherche académique français est reconnu au niveau international.

## Analyse AFOM

### Atouts

Le tissu de recherche français, une avance d'un point de vue réglementaire qui permet à la France d'être positionnée dans le peloton de tête en termes de bonnes pratiques.

### Faiblesses

Difficulté dans le transfert de technologies et le passage au stade industriel et contexte géologique.

### Opportunités

Un label de qualité, Qualipol, a été créé pour compléter la norme de service NF X31-620 sur les prestations de services relatives aux sites et sols pollués. Ce label permet aux entreprises de dépollution de se démarquer des entreprises de démolition et de terrassement. Un groupe de travail, conduit par le MEDDTL, travaille actuellement sur une révision de cette norme et sur une certification ; le contexte est favorable : réglementation, pression immobilière ; les friches industrielles de plus en plus nombreuses dans l'ensemble de l'Europe ; la question de la gestion des sites pollués devrait aussi se poser en Chine et en Inde.

### Menaces

Marché non solvable.

## Liens avec d'autres technologies clés

30

37

### Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort

## Recommandations

L'offre de recherche française est conséquente ; toutefois, le transfert de technologies est difficile. Il s'agit de trouver des leviers permettant de faciliter cette étape clé.

La mise au point de méthodes basées sur la phytoextraction nécessite de longues phases expérimentales qu'il pourrait être intéressant d'intégrer à des projets de recherche spécifiques (APR ANR par exemple). Ceci permettrait de faciliter le déploiement des phytotechnologies sur site (technologies encore expérimentales pour l'instant).





## 36. Technologies pour la gestion des ressources en eau

### Définitions

La réalimentation des nappes phréatiques peut être combinée au pouvoir épuratoire des sols grâce à la filtration sur berge (procédé naturel de filtration de l'eau à travers les différentes couches de sédiments qui constituent les berges d'une rivière ou d'un lac). Empreinte sur l'eau : représente le volume d'eau nécessaire pour la production des biens et services consommés par les habitants du pays considéré.

En 2007, 31,6 milliards de m<sup>3</sup> d'eau ont été prélevés en France, répartis de la manière suivante :

- 59 % : production d'énergie
  - 10 % : besoins de l'industrie
  - 12 % : l'irrigation
  - 18 % : eau potable
- provenant à 18 % des eaux souterraines et à 82 % des eaux de surface.

### Description

Par gestion des ressources en eau on entend la protection des ressources et la gestion du cycle de l'eau, de manière préventive. Cette gestion s'effectue aussi bien d'un point de vue quantitatif (suivi dans l'espace et dans le temps, gestion des phénomènes extrêmes) que qualitatif (une qualité de l'eau adaptée à l'usage qui en est fait).

Plusieurs technologies peuvent être mises en œuvre :

- l'apport d'information centralisée (métrologie, modélisation...) permettant de suivre le niveau et la qualité de ces ressources ;
- la réalimentation des nappes phréatiques [38] permettrait de sécuriser les ressources, voire de les développer ;
- l'extraction, le traitement et le recyclage des eaux souterraines polluées qui peut permettre la réhabilitation des nappes ;
- la gestion patrimoniale des réseaux de distribution [37] : par la maintenance, le renouvellement, la gestion des fuites, le choix de nouveaux matériaux...

Les verrous concernent :

- la définition d'un état de référence des masses d'eau et des outils de suivi des nappes (qualité, niveau, salinité...);
- en agriculture, l'apport de l'exacte quantité d'eau nécessaire aux cultures ;
- pour l'industrie, l'enjeu consiste à fournir la bonne qualité pour le bon usage tout en maintenant la sécurité : l'usage d'eau potable n'est pas indispensable pour tous les *process* à condition de veiller au bon état biologique de l'eau employée ;
- l'automatisation des prélèvements d'eau dans les nappes, en fonction de leur niveau ;
- des solutions de réparation et de services associés permettant de cartographier et diagnostiquer les réseaux sans casser. La gestion des fuites nécessite des méthodes de comptage et d'acoustique. L'objectif est d'obtenir des comptages précis et de pouvoir effectuer des relevés facilement. Il y a donc un enjeu sur l'installation et la transmission de données. Dans le domaine de l'acoustique, le problème concerne les bruits parasites qui gênent la détection des fuites.
- l'automatisation et le couplage de ces différents systèmes : mesure-modélisation, prélèvement, suivi de l'état des réseaux.

Les bassins versants côtiers, notamment en zone d'agriculture intensive, doivent être mieux gérés afin d'améliorer la qualité des eaux marines et la santé des écosystèmes, par exemple pour limiter la prolifération des algues vertes.



### Applications

De nombreux segments sont concernés par ces technologies : usines de production, réseaux de distribution, stations d'assainissement, irrigation.

Ainsi, la modélisation peut par exemple permettre de reproduire le fonctionnement naturel des nappes souterraines, d'étudier les mécanismes de formation et de régénération des ressources en eau douce et permettre d'optimiser les prélèvements d'eau.

En 2006, 5,6 Md€ ont été investis pour créer de nouveaux réseaux et de nouvelles installations et pour remettre à niveau les équipements existants [41].

Dans le domaine de l'agriculture, le marché mondial des équipements pour l'irrigation devrait croître de 5 à 10 % par an et représenter 1,5 Md\$ en 2015. Dans le domaine de l'industrie, le marché des systèmes de contrôle de l'eau devrait croître de 12 % par an d'ici à 2015 pour atteindre 3 Md\$. Marché constitué de bureaux d'études et de PME principalement, des opportunités à l'export. Les systèmes de gestion efficace de l'eau représentent une opportunité de croissance à court terme pour les PME françaises.

### Enjeux et impacts

Les enjeux sont d'ordre sanitaire et environnemental.

La directive-cadre de l'eau en Europe (DCE) fixe le cadre réglementaire au niveau européen. Le rapport sur l'état des masses d'eau en France, transmis à la Commission européenne le 22 mars 2010 à l'occasion de la Journée mondiale de l'eau, mentionne que plus de la moitié des eaux de surface (cours d'eau, plans d'eau, eaux côtières) en France ne sont pas « en bon état écologique » (au regard de la biodiversité animale et végétale, des teneurs en phosphate, nitrates, du pH...) : 38 % sont en état moyen, 11 % en état médiocre et 4 % en mauvais état. 41 % des eaux souterraines ne sont pas en bon état chimique (40 substances chimiques mesurées). Pour des raisons parfois techniques, économiques ou naturelles, les objectifs de la DCE ne pourront pas être atteints pour certaines masses d'eau et certains sites ont de ce fait obtenu une dérogation.

#### Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

#### Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



La préservation des ressources hydriques représente aussi un enjeu sociétal énorme en raison de la pression démographique et des épisodes de sécheresse plus fréquents et ce, même si la France ne manque pas d'eau et que la ressource est globalement bien répartie sur le territoire. La préservation des ressources s'inscrit dans une démarche de développement durable. Les fuites sur nos réseaux sont tout de même estimées à 21 % des volumes en distribution. Le gaspillage doit être évité à l'heure où certaines estimations portent à 39 le pourcentage de la population mondiale qui n'aura pas accès à l'eau en 2030.

Tous les pays n'ont pas la même empreinte sur la ressource en eau. En 2007, elle était de 2 483 m<sup>3</sup> par personne et par an aux États-Unis, de 1 103 m<sup>3</sup> par personne et par an en Pologne et de 675 m<sup>3</sup> par personne et par an seulement en Ethiopie, pour une moyenne mondiale de 1 243 m<sup>3</sup> par personne et par an [40].

L'agriculture mondiale devra produire 50 % de nourriture en plus d'ici à 2030, et doubler la production à l'horizon 2050, tout en consommant moins d'eau en raison des pressions exercées sur les ressources par la croissance de l'urbanisation, les changements climatiques, l'industrialisation.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : Onema, Cemagref, Cirad, IFP, IRD, Agro ParisTech, IAM Montpellier, SupAgro Montpellier, Agences de l'eau, Inra, BRGM
- **Utilisateurs** : Veolia Eau, Lyonnaise des eaux (Suez), Saur, Séché Environnement
- **Pôles de compétitivité** : Eau, Hydreos, Dream, pôles Mer PACA et Mer Bretagne

### Principaux acteurs étrangers

- Netafim (micro-irrigation), GE, Siemens, Honeywell, ABB, Emerson, Andover, Control (Schneider)

## Position de la France

Le marché de l'eau (eau potable et assainissement) en France atteint un chiffre d'affaires de plus de 15 milliards d'euros. Avec 112 800 emplois, des activités et services relevant en France principalement de politiques publiques, et une R&D du secteur privé très concentrée, l'eau est l'un des deux secteurs principaux des éco-activités, avec la filière des déchets, et de même importance.

Les deux acteurs internationaux majeurs sont français. Dans le domaine de l'agriculture, Israël est le leader (Netafim leader mondial de la micro-irrigation). Il y a des consortiums européens à monter.

## Analyse AFOM

### Atouts

Des leaders mondiaux français capables d'investir dans la R&D, d'industrialiser et de structurer la filière ; R&D en fort développement dans le secteur privé et une R&D publique de qualité, plusieurs pôles de compétitivité dans le domaine de l'eau.

### Faiblesses

Retard dans l'irrigation, développement ou mise en place insuffisante de la filière de l'assainissement non collectif, peu de R&D sur les réseaux et les services en régie.

### Opportunités

Objectifs du Millénaire pour le Développement (réduction de moitié d'ici à 2015 du pourcentage de la population qui n'a pas d'accès à l'eau potable ni à des services d'assainissement de base ; intégration des principes du développement durable dans les politiques et programmes nationaux afin d'inverser la tendance actuelle de déperdition des ressources naturelles) ; développement des TIC.

### Menaces

Développement très rapide des compétences dans les pays asiatiques (Corée, Chine) ainsi que des investissements importants constituant des démonstrateurs de ces compétences ; non-acceptation de la réutilisation des eaux usées.

## Recommandations

Il est nécessaire de développer et d'orienter la recherche et le développement technologique (R&D), les démonstrateurs à mettre en œuvre aux niveaux national et européen.

Il faut stimuler l'organisation des acteurs et lancer des actions coordonnées au plan national et européen.

## Liens avec d'autres technologies clés

32

### Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

### Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

### Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort