

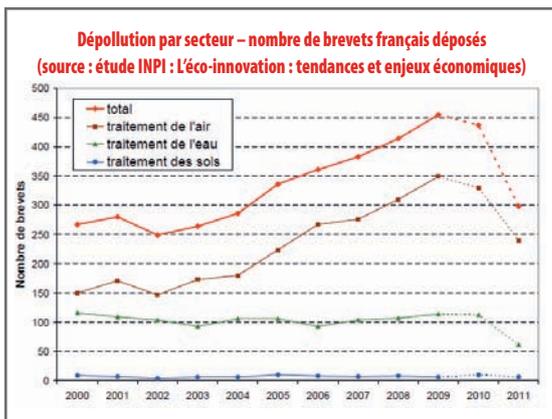
Le financement de la dépense de R&D en environnement est réparti entre entreprises et administrations publiques de la manière suivante :

**Financement de la dépense de R&D en environnement**  
(source : SOeS – Commission des comptes et de l'économie de l'environnement, mai 2009)

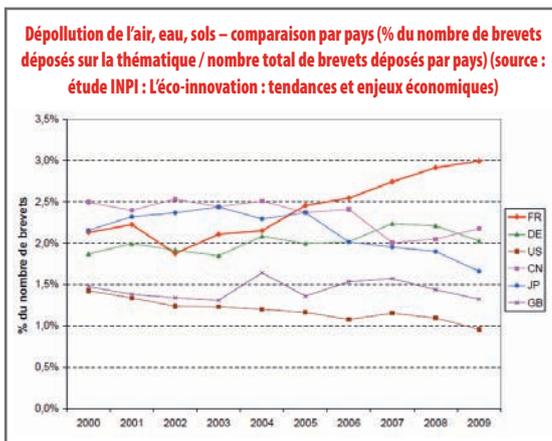
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007 p
Administrations publiques	1 342	1 574	1 635	1 675	1 653	1 748	1 026	1 043
Entreprises	851	917	958	975	1 112	1 085	1 414	1 601
<b>Total</b>	<b>2 194</b>	<b>2 491</b>	<b>2 592</b>	<b>2 650</b>	<b>2 766</b>	<b>2 833</b>	<b>2 440</b>	<b>2 644</b>

## 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.

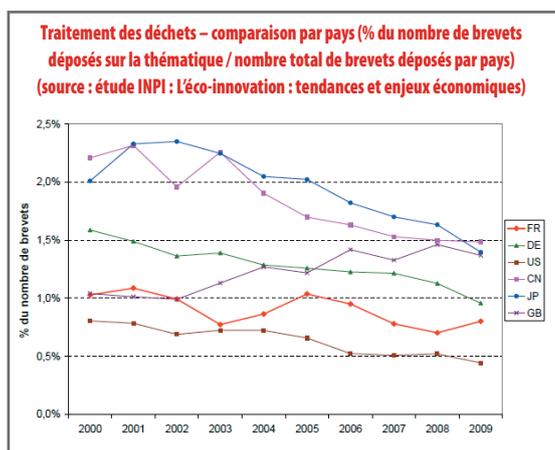
Dans le domaine des sols et sites pollués, les entreprises françaises sont très présentes : en amont, dans les phases d'étude et d'ingénierie mais surtout dans les phases de travaux. Sita Remédiation est d'ailleurs le leader européen dans ce domaine.

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



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 consomma-

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.



## 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, régalage 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

<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

## 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.

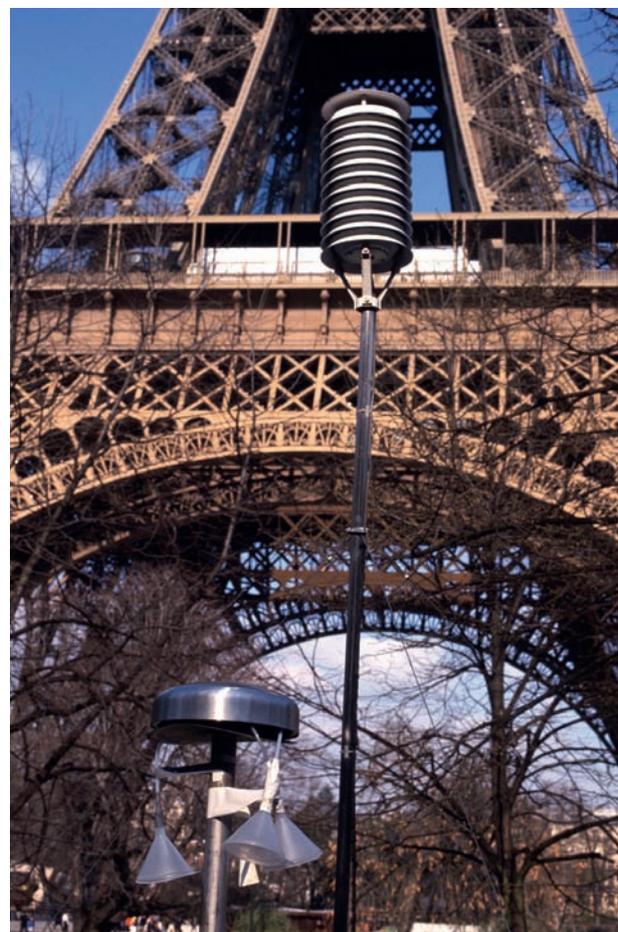
Tous types de pollutions sont concernés, tant l'air, l'eau que les sols.

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

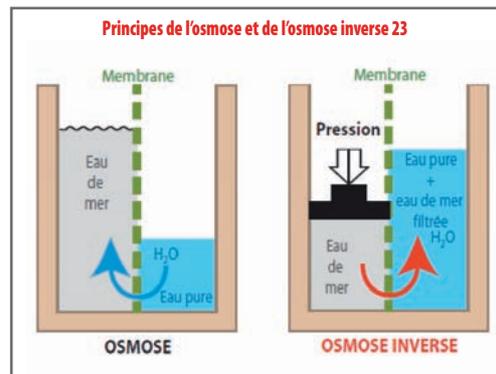
Dans le procédé d'osmose classique, deux solutions de salinité différente sont séparées par une membrane sélective (qui ne laisse passer que certains éléments) : l'eau passe spontanément de la solution la moins concentrée en sel à la plus concentrée, de manière à équilibrer les concentrations de part 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

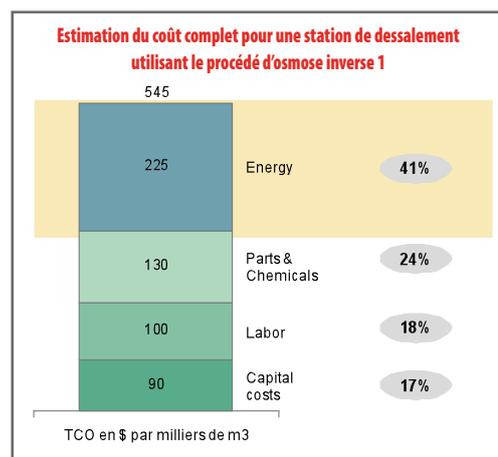
#### Degré de diffusion en France

● 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)

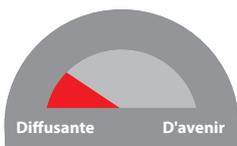
	Émergence (TRL : 1-4)
	Développement (TRL : 5-7)
	Maturité (TRL : 8-9)

### 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

<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

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 & Millieux, 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)

<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

## 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



# 37. Technologies pour le recyclage des matériaux rares et leur valorisation

## Définitions

Outre les déchets électroniques, on retrouve ces matériaux rares dans les boues, les effluents, les déchets de raffinage, et dans les alliages.

## Description

L'appellation « matériaux rares » regroupe les métaux rares (titane, cobalt, vanadium, molybdène, tantale, césium, rubidium, tungstène, métaux précieux : or, argent, platine, palladium) et les terres rares. On les retrouve essentiellement dans l'électronique.

Des procédés de recyclage existent mais aucun ne semble complètement développé commercialement. Il s'agit essentiellement de technologies de concentration :

- des technologies aqueuses dont l'inconvénient est de produire des oxydes métalliques mixtes ou des fluorures qui sont ensuite aussi chers à purifier que le minerai original ;
- le raffinement par procédé électro-laitier qui fonctionne bien pour les grandes pièces mais moins pour les déchets contaminés ou se présentant sous forme de copeaux ou de grains. De plus, les métaux de transition se retrouvent fréquemment dans les produits finaux ce qui nécessite une purification ultérieure supplémentaire ;
- l'extraction métallique liquide : procédé prometteur car il accepte les multi-métaux. Le principe est maîtrisé mais il reste maintenant à l'appliquer aux terres rares ;
- le four à pyrolyse permet de séparer les plastiques et métaux composant les cartes électroniques, les métaux ainsi concentrés pouvant par la suite subir différents traitements de séparation, purification.

D'autres procédés expérimentaux sont à l'étude comme par exemple la récupération des oxydes de néodyme, de cérium et de lanthane à partir des déchets de production. Cela permet de recycler les effluents industriels, et de produire du titane et des terres rares avec un taux de récupération variant entre 60 et 80 %. Un procédé de réduction des déchets miniers en nanofractions, d'une taille de 1 000 nm, traitées en solution aqueuse, permettrait de récupérer des matériaux rares présents à des concentrations deux à trois fois inférieures aux taux habituels d'extraction [43].

La faisabilité technique de ce type de technologies est déjà en partie démontrée mais il subsiste de nombreux verrous technologiques à lever :

- les faibles quantités présentes de ces matériaux rares dans les appareils électroniques rendent difficile leur récupération : il est nécessaire perfectionner les techniques de concentration de ces matériaux ;
- des techniques efficaces de séparation doivent permettre de séparer les matériaux rares des alliages qu'ils composent ;
- les technologies existantes présentent généralement soit des problèmes de coûts élevés, soit de faible rendements, voire même les deux et peuvent donc être améliorées dans ce sens ;

• l'obligation pour toute la filière (collecte, tri, traitement) à s'adapter rapidement à la forte instabilité du gisement qui évolue dans le temps.

Les technologies relatives à l'extraction des matériaux rares des déchets sont aussi liées au tri des déchets. Celui-ci constitue une première étape de préparation des déchets, traités ensuite pour en extraire les matériaux rares, en vue de leur valorisation.

En ce sens, l'éco-conception doit aussi permettre de « penser » les produits en amont, de manière à faciliter la récupération des matériaux rares les composant lorsqu'ils arrivent en fin de vie.

## Applications

Les métaux rares sont présents en faible quantité à l'état naturel. Avec les terres rares, ils sont utilisés dans les technologies de pointe (moteurs de voiture, électronique, industrie militaire, nucléaire). Ils sont aussi fortement liés aux technologies vertes, trouvant des applications en catalyse, dans les énergies renouvelables, le stockage de l'énergie, les superalliages...

125 000 tonnes de terres rares sont produites chaque année. Rien que pour les terres rares, la demande augmente de 10 à 20 % par an. Le marché pèse annuellement 1,25 Md\$ et devrait représenter 3 Md\$ en 2015.

Seulement 1 % des métaux utilisés dans ces produits de haute technologie est aujourd'hui recyclé. Pour les métaux non ferreux, la seule récupération des produits en fin de vie assure 20 % des besoins.

## Enjeux et impacts

De par leurs vastes applications, les terres rares représentent une importante ressource stratégique.

La Chine assure 96 % de la production mondiale et en assure un contrôle strict (quotas, taxes d'exportation) pour la réserver à son industrie. Ces quotas se réduisent d'année en année, avec un possible arrêt des exportations pour certaines terres rares à l'horizon 2014-2015. Il n'y a donc pas de risque de pénurie de la ressource en tant que telle mais un risque de pénurie des terres rares disponibles pour les industries consommatrices.

Le recyclage de celles-ci apparaît donc comme un enjeu évident afin de maintenir la sécurité d'approvisionnement de certaines filières françaises, mais aussi européennes et mondiales.

L'extraction dans les gisements connus mais encore non exploités et l'exploration pour en découvrir de nouveaux sont aussi une solution à mettre en œuvre.

Les États-Unis ont inscrit les terres rares dans leur liste des matériaux critiques pour leur industrie high-tech. L'Europe a publié au mois de juin 2010 un rapport qui

### 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

s'inquiète de pénuries à venir pour quatorze éléments, qualifiés de « critiques » (dont l'approvisionnement pourrait subir l'impact de tensions politiques ou de pénuries). Il s'agit de : antimoine, béryllium, cobalt, fluorine, gallium, germanium, graphite, indium, magnésium, niobium, les platinoïdes (six matériaux dont platine et palladium), terres rares (17 éléments), tantale et tungstène. Un plan d'action pour sécuriser les approvisionnements de l'Hexagone a été présenté le 27 avril 2010. La sécurité de l'approvisionnement passera non seulement par le renforcement des accords avec les pays producteurs de ces métaux et par le développement du potentiel minier sur le sol européen, mais aussi par une meilleure maîtrise du recyclage.

Au rythme actuel, les ressources connues en 2010 risquent d'être taries d'ici 15 à 30 ans. Mais il est extrêmement difficile d'estimer les ressources minérales de la croûte terrestre. La prospection minière et la modélisation des réservoirs font sans cesse varier les chiffres.

La filière de collecte, de tri et de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), opérationnelle depuis novembre 2006, peut encore être améliorée et faciliter ainsi le recyclage des matériaux rares. L'enjeu est aussi environnemental : les terres rares ne se trouvent pas pures dans les gisements mais sous forme de minerais (oxydes) qu'il faut traiter chimiquement. Or ces traitements sont réalisés directement sur site. Développer le recyclage de ces matériaux permettrait d'avoir moins recours à l'extraction elle-même et présenterait donc aussi un bénéfice environnemental.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- R&D : Lepmi, BRGM
- Umicore, Malco (recyclage des non-ferreux), Valmet, Récupyl (essaimage du Lepmi), Terra Nova, Récyclum
- Federec, Fédération des Minerais, Minéraux industriels et des Métaux non Ferreux (Fedem)
- Pôles de compétitivité Team2 et Axelera

### Principaux acteurs étrangers

- R&D : Osaka University, University of Tokyo
- Hitachi, Taivo Koko Co

## Position de la France

À l'heure actuelle, le recyclage de ces matériaux rares en France est quasi inexistant : il devient urgent de se pencher sur la question de l'exploitation des « mines urbai-



nes », comme c'est déjà le cas au Japon, qui est parvenu à un rendement de 500 g d'or par tonne de composants électroniques traités.

Des actions commencent à voir le jour. L'État a mis en place un plan d'action "métaux stratégiques", qui comporte un volet recyclage dont la première action a consisté à mener une étude sur la présence de 14 métaux dans les gisements de déchets.

Le pôle Team2 ambitionne la mise en place d'une solution opérationnelle pour la captation de l'Indium d'ici à 2012. Un autre de ses objectifs est que la région Nord-Pas de Calais devienne en 2015, la première région pour la production de métaux et terres rares de récupération.

Globalement, tous les pays sont en retard sur cette question par rapport au leader, le Japon [48].

## Analyse AFOM

### Forces

Tissu de recherche français.

### Faiblesses

La filière DEEE doit être améliorée, des incitations réglementaires pourraient être utiles.

### Opportunités

Contexte géopolitique.

### Menaces

Avance du Japon dont la R&D est très active.

## Liens avec d'autres technologies clés

31

38

### Maturité (échelle TRL)

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

### Position de la France

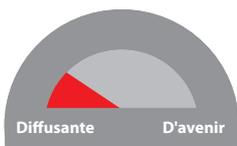
● Leader ou Co-Leader
● Dans le peloton
● En retard

### Potentiel d'acteurs en France

● Faible
● Moyen
● Fort

## Recommandations

Accroître la veille réglementaire et économique est un des leviers pouvant faciliter la diffusion de ces technologies, afin de respecter et d'anticiper au mieux les dispositions réglementaires.



## 38. Technologies de tri automatique des déchets

### Description

Le tri est une étape intermédiaire du traitement des déchets, dont la fonction consiste à transformer un flux de déchets mélangés en plusieurs fractions de déchets, dont certaines seront ensuite valorisées ou prises en charge par d'autres filières.

Les procédés de tri automatique se basent, pour les exploiter, sur les propriétés physiques des déchets permettant de les différencier les uns des autres. Ces technologies permettent notamment un meilleur rendement et une meilleure productivité du tri. Une large variété de technologies existe :

- le tri aéroulque : trommel ou séparateur hydraulique qui se base sur les différences de densité, de forme, de portance de l'air... Cette technologie intervient en tant que préparateur de flux, facilitant la séparation des déchets ;
- le tri magnétique des métaux ferreux par extraction magnétique des non ferreux par courants de Foucault ;
- le tri électrostatique pour la séparation des métaux et des plastiques par la création d'une charge électrostatique par Corona ou triboélectricité, puis séparation par attraction-répulsion ;
- le tri mécanique par criblage (séparation en fonction de la forme, de la taille...), par séparateur balistique... ;
- le tri optique par couleur : identification de matières plastiques par la couleur. Cette technologie est souvent associée à une technologie de proche infrarouge qui permet d'atteindre un niveau de détail plus important.

Globalement, toutes les grandes familles de déchets peuvent être traitées aujourd'hui par les technologies de tri automatique.

Des progrès sont désormais à réaliser au sein des sous-familles de déchets afin de les traiter de façon plus précise. Par exemple, des efforts doivent être faits sur les technologies de tri mécano-biologique (TBM) applicables notamment au gisement des ordures ménagères résiduelles, le tri industriel de déchets d'activités en mélange (encombrants de déchèterie, déchets divers du bâtiment...), le tri des recyclables « secs », papiers et emballages de collectes sélectives. Ces dernières viendraient en appui à une éventuelle extension des consignes de tri nationales des plastiques qui nécessiterait une automatisation croissante des centres de tri existants.

### Applications

Bien que le tri soit traditionnellement effectué par des méthodes manuelles, certains éléments comme les métaux ou les emballages peuvent désormais être triés par des systèmes automatiques, permettant d'améliorer le taux de productivité de l'activité.

Le tri automatique a également permis d'étendre l'activité à la séparation de déchets qui ne pouvait être réalisé manuellement comme l'identification des plastiques par trieurs optiques.

De façon générale, les installations de tri associent le tri manuel et le tri automatique, notamment pour les déchets d'emballages. Plusieurs méthodes de tri sont ainsi successivement utilisées en fonction de la nature et des propriétés de la fraction à séparer : métaux, matières plastiques...

Le tri magnétique est une technologie bien maîtrisée et qui se retrouve dans la plupart des centres de tri.

En 2009, 3,5 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés (DMA) ont été triés avec un objectif de 3,8 millions de tonnes d'ici à 2012, et 3,3 millions de tonnes de déchets non dangereux des entreprises (DNDE) ont été triés avec un objectif de 3,9 millions de tonnes d'ici à 2012 selon les objectifs du Grenelle de l'environnement.

Parallèlement, l'activité du tri DMA a représenté 2 236 emplois en 2008 avec un objectif 2012 de 2 538 emplois, et l'activité du tri DNDE a représenté 2 241 emplois en 2008 pour un objectif de 2 605 en 2012 selon les objectifs du Grenelle de l'environnement.

Le marché de construction de centres de tri OM en 2009 représente 18 M€, en baisse par rapport à 2007 [50].

### Enjeux et impacts

Globalement, la diffusion des technologies de tri automatique reste encore faible au vu du parc actuel [3] mais leur utilisation au sein de centres de tri traitant des quantités importantes augmente de façon conséquente et la plupart des centres de tri qui se construisent aujourd'hui intègrent ce type de technologies, notamment les centres de tri haute performance [51].

Le développement de ces technologies représente un enjeu majeur vis-à-vis de la préservation des ressources en matières premières. L'efficacité du tri conditionne celle du recyclage.

En termes de réglementation, la directive-cadre européenne sur les déchets fixe des objectifs ambitieux aux États membres d'ici à 2020, notamment en termes de recyclage : 50 % des déchets ménagers et assimilés devront être recyclés ainsi que 70 % des déchets générés par les activités du BTP. Par ailleurs, une hiérarchie de la gestion

#### 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

des déchets en cinq étapes a été établie afin d'en clarifier les applications [8].

En France, les objectifs nationaux fixés par le Grenelle de l'environnement visent à améliorer le taux de recyclage matière et organique à 35 % en 2015 et 45 % en 2020 et porter le taux de recyclage des déchets d'emballages ménagers et déchets banals des entreprises à 75 % en 2012 [49].

Le plan d'actions français 2009-2012, qui intervient dans le prolongement des travaux du Grenelle de l'environnement, s'inscrit pleinement dans les orientations de la directive européenne et doit permettre à la France d'être un des pays européens les plus avancés dans le domaine de la gestion des déchets [8].

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : BRGM
- **Industriels** : Équipements : Delta Neu, Galloo Plastics, Pellenc, Vauche... ; opérateurs de centres de tri : Coved, Onyx, Sita...
- **Pôles de compétitivité** : Team2 et Axelera

### Principaux acteurs étrangers

- Binder+CO, Bollegraaf, LLA instruments, MDE...

## Position de la France

La société PELLENC a un rayonnement international et reste en très en pointe vis-à-vis des technologies de tri et notamment la technologie de tri optique.

L'Ademe soutient l'investissement dans la recherche sur les technologies de tri ainsi que la modernisation du parc de centres de tri dans le cadre des objectifs du Grenelle. L'Ademe a ainsi lancé un appel à projet afin de développer les procédés de tri et de séparation, les systèmes de reconnaissance et d'identification et les dispositifs de séparation et d'extraction de la matière et des éléments indésirables concernant notamment le démantèlement d'équipements complexes multi-matériaux, les textiles, le mobilier hors d'usage et les métaux stratégiques.

La France est aujourd'hui en retard vis-à-vis de ses voisins allemands et anglais qui disposent de centres plus grands et plus automatisés. Cependant, la France est aujourd'hui en train de s'équiper notamment de centres de tri haute performance, qui devrait permettre la production de matières premières plus compétitives que ses voisins.

## Analyse AFOM

### Forces

Deux leaders mondiaux français de la récupération : Veolia Environnement et Suez Environnement.

### Faiblesses

Une diffusion des technologies de tri et de valorisation des déchets encore faible.

### Opportunités

Un élargissement des consignes de tri au niveau national, la raréfaction des ressources naturelles contribuant au développement des filières et plus largement un contexte réglementaire et politique favorable.

### Menaces

Une rentabilité du secteur qui reste très dépendante du cours des matières premières et de la stabilité des conditions d'approvisionnement.

## Recommandations

La réflexion sur le développement et la diffusion des technologies de tri automatique des déchets est bien sûr à mener dans une logique de filière (collecte, tri, traitement...). Développer les technologies de tri plus performantes n'a de sens que si l'ensemble de la chaîne est optimisé.

Il convient de souligner que le tri à la source des déchets, par les usagers eux-mêmes reste plus efficace, du moins si les pratiques évoluent en ce sens. Développer les actions d'information et d'éducation des usagers et des industriels sur le tri amont des déchets est donc probablement un levier intéressant. Dès lors, on peut imaginer que le tri aval soit à terme dédié au traitement de flux résiduels de déchets.

## Liens avec d'autres technologies clés

31

37

### Maturité (échelle TRL)

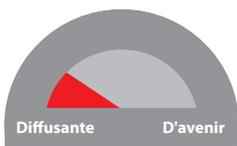
<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input checked="" type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

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



## 39. Valorisation matière des déchets organiques

### Description

On parle ici de déchets organiques au sens large, *i.e.* les boues de stations d'épuration (STEPs), les déchets d'origine marine, digestats [53] mais aussi la fraction fermentescible des déchets agricoles, ordures ménagères, bio-déchets, déchets des industries agroalimentaires, restauration, invendus des hypermarchés....

Deux types de valorisation de ces déchets sont envisageables :

- la valorisation énergétique, non appréhendée dans le cadre de cette fiche ;
- la valorisation matière : qui comprend épandage, compostage et recyclage industriel.

Les verrous concernent :

- l'amélioration de la qualité des boues de STEP : le verrou porte sur leur teneur en métaux lourds et en polluants émergents. L'action peut être conduite soit en amont des stations, soit dans les stations elles-mêmes. Le type de pollution et son degré vont déterminer les voies de traitement possible ;
- le devenir de la fraction solide du digestat : la fraction solide des méthaniseurs est soumise aujourd'hui à des normes qui empêchent sa valorisation matière ;
- le développement de la technologie TBM (tri mécano-biologique) sur le gisement des ordures ménagères résiduelles : cette technologie associe fermentation puis séparation de la fraction organique à composter des autres matières présentes.

Tout ceci ne sera pas possible sans une action préventive menée en amont, et passant notamment par :

- l'amélioration de la collecte et du tri des déchets permettant d'augmenter leur taux de valorisation : la valorisation des gisements des gros producteurs constitue un enjeu majeur pour sa valorisation ;
- une augmentation des capacités de valorisation biologique de la fraction organique des déchets ménagers et assimilés.

### Applications

L'objectif de la valorisation matière des déchets organiques est le retour au sol d'une matière organique de qualité, compatible avec les objectifs de préservation des milieux.

Épandage et incinération sont les voies de gestion des boues de STEP les plus répandues actuellement. Mais certains acteurs de l'industrie agroalimentaire (exemple : Bonduelle) refusent désormais de travailler avec des agriculteurs qui épandent ces boues sur leurs cultures en raison de la qualité des boues.

1,8 million de tonnes de compost a été produit en 2006 à partir d'un gisement estimé à 5,2 millions de tonnes



de déchets. Il comprend des déchets verts, des boues d'épuration et la fraction organique des ordures ménagères résiduelles. (Source : Itom 2006).

En 2007, en France, sur les déchets collectés par le service public, seuls 14 % faisaient l'objet d'une gestion biologique, alors que la fraction organique des ordures ménagères résiduelles s'élève à 50 %.

### Enjeux et impacts

Les objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement en matière de valorisation matière des déchets organiques imposent de doubler l'ici à 2015 les capacités de valorisation biologique de la fraction organique des déchets ménagers et assimilés.

Le plan d'actions, qui couvre la période 2009-2012 [8], fixe des objectifs quantifiés :

#### Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

#### Degré de diffusion en France

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation



- réduire de 7 % la production de déchets ménagers et assimilés par habitant sur les cinq premières années ;
- diminuer de 15 % les quantités partant à l'incinération ou au stockage.

Pour atteindre ces objectifs, les enjeux sont d'ordre :

- technique : production de boues plus sûres, en plus petite quantité et de meilleure qualité (boues valorisables et « sans odeur ») ;
- économique : quel modèle économique de la valorisation matière de ces déchets organiques ? Le prix de la gestion des boues se répercute sur le prix de l'eau par exemple ;
- réglementaire : la fraction solide des méthaniseurs est soumise aujourd'hui à des normes qui empêche sa valorisation matière.

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- **R&D** : Ademe, Agences de l'eau, Ifremer, Station biologique de Roscoff, Gepea, Inra (Nantes et Jouy-en-Josas), LRCCP
- Veolia Eau, Suez (Safège, Degrémont, Lyonnaise des eaux, Ondeo Industrial Solutions), Saur (Saur France, Coved, Stereau), Stereau...
- Pôles Eau, Mer Bretagne et Mer Paca, deux plateformes en Bretagne voulues par l'État, pôle Team

### Principaux acteurs étrangers

- Remondis, Interseroh, Urbaser, Shanks...

## Liens avec d'autres technologies clés

34

39

## Position de la France

Les méthodes de traitement diffèrent sensiblement entre les états membres. En 2007 selon Eurostat, l'office statistique des communautés européennes, dans l'Union européenne des vingt-sept, 42 % des déchets municipaux traités ont été mis en décharge, 20 % incinérés, 22 % recyclés et 17 % compostés.

Les plus fortes proportions de déchets municipaux compostés l'ont été en Italie, en Autriche et aux Pays-Bas.

## Analyse AFOM

### Atouts

Actions des pouvoirs publics (politique des déchets 2009-2012).

### Faiblesses

Développement insuffisant du compostage domestique, captage des gisements des gros producteurs insuffisant.

### Menaces

Contexte normatif, dimension sociale (compostage domestique).

## Recommandations

Aujourd'hui, le devenir de la fraction solide du digestat des méthaniseurs est complexe à cause des normes auxquelles elle est soumise : un travail d'influence pour modifier la norme serait bénéfique.

La collecte, le tri et la valorisation des déchets organiques sont étroitement liés à l'existence de débouchés. État, collectivités, représentants de l'agriculture et de la production alimentaire, associations environnementales et usagers ont tous un rôle à jouer pour favoriser les débouchés pour des composts de qualité.

### Maturité (échelle TRL)

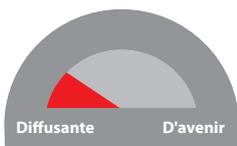
<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input checked="" type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

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



## 40. Éco-conception

### Définitions

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode d'évaluation environnementale permettant de quantifier les impacts d'un produit sur l'ensemble de son cycle de vie (de l'extraction des matières premières le composant jusqu'à son élimination).

### Description

L'éco-conception n'est pas une technologie à proprement parler. Il s'agit plutôt d'un concept : tout produit ou service a un impact sur l'environnement, à une étape ou une autre de son cycle de vie. Ce peut être par l'intermédiaire de ses consommations énergétiques, de ses émissions ou des déchets qu'il génère.

L'éco-conception vise à réduire ces impacts, sans diminuer les qualités d'usage (durée de vie, réduction des coûts, des risques...) du produit ou du service. Elle tend même à les améliorer.

L'éco-conception concerne tous les secteurs applicatifs. Il n'y a pas une technologie proprement dite à définir. Chaque produit ou service nécessite son développement propre afin de trouver de nouveaux axes de conception améliorant les performances environnementales du produit. Les efforts de R&D à produire peuvent donc être conséquents.

Tous les types d'acteurs peuvent être concernés et proposer des produits aussi efficaces mais avec une empreinte environnementale réduite.

Dans les faits, cela se traduit par l'utilisation de matières plastiques dégradables, par un changement de réseau de distribution, une réduction des transports...

Par exemple, dans le secteur du bâtiment, la démarche consiste à réfléchir en amont à concevoir un bâtiment présentant de bonnes performances énergétiques, construit à partir de matériaux ne présentant pas d'impact néfaste sur la qualité de l'air intérieur (pas d'émission de formaldéhyde notamment), et dont la future déconstruction a été anticipée (séparation des matériaux aisée afin d'en faciliter le tri, valorisation possible sur site).

Le retour sur investissement n'est pas forcément très long pour une entreprise se lançant dans une démarche d'éco-conception. Mais le coût peut tout de même constituer un frein pour les PME-PMI.

### Enjeux et impacts

Un certain nombre de normes et de rapports techniques existent aussi bien en France qu'à l'étranger. Les normes NF 14040 et 14044 sont par exemple relatives aux analyses de cycle de vie et la norme NF P 01 010 aux déclarations environnementales et sanitaires des produits de construction.

Le plan d'action de l'Union européenne [61], adopté en juillet 2008 et relatif à la consommation, la production et la politique industrielle durables, vise à s'assurer que les produits en circulation sur le marché unique soient plus respectueux de l'environnement. L'éco-conception constitue la pièce maîtresse de ce plan d'action.

La Commission européenne mène une politique active de déploiement des achats publics durables dans ses États membres. Elle a notamment conduit une étude faisant l'état des lieux dans différents pays, identifiant les pays les plus avancés. Elle a notamment mis en ligne un outil (le *toolkit*) rassemblant un ensemble de fiches fournissant les critères environnementaux à utiliser dans les marchés publics [62].

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, la circulaire du 3 décembre 2008 sur l'exemplarité de l'État au regard du développement durable dans le fonctionnement de ses services et de ses établissements publics, instaure l'élaboration d'un plan « administration exemplaire » basé sur vingt actions communes dont une grande partie porte sur les achats durables.

Certaines entreprises trouvent dans la démarche un avantage concurrentiel, une dimension stratégique. En effet, un sondage Ifop réalisé en février 2010 sur les critères de choix des emballages dans l'agroalimentaire en France



Degré de diffusion dans l'absolu	
● Faible diffusion	
● Diffusion croissante	
● Généralisation	

Degré de diffusion en France	
● Faible diffusion	
● Diffusion croissante	
● Généralisation	

Un des outils utilisés en éco-conception est l'analyse du cycle de vie (ou ACV). Cette méthode est normalisée. En plus d'une approche multi-étape, l'éco-conception se caractérise aussi par une approche multicritère : eau, air, sols, bruit, matières premières, énergie...

### Applications

L'éco-conception s'inscrit dans des objectifs de faisabilité technique et économique, de qualité du service rendu, de maîtrise des coûts et de satisfaction client. Elle s'applique à tous les secteurs y compris les services.

plaçait la notion d'impact environnemental en troisième position, derrière le prix et le caractère pratique, mais avant les critères de poids et d'esthétique.

Une étude a été réalisée conjointement par la chambre de commerce et de l'industrie de Saint-Etienne et l'Institut de développement de produits (IDP) à Montréal, en décembre 2008. Cette étude, portant sur 30 entreprises françaises et québécoises, a montré que l'éco-conception n'avait pas entraîné de détérioration de leur rentabilité et pour une nette majorité d'entre elles, la démarche a permis une augmentation de revenus. Mais il n'y a pas d'étude plus globale et l'analyse économique est souvent réalisée au cas par cas en matière d'éco-conception [64].

## Acteurs

### Principaux acteurs français

- Ademe, Cemef (Mines ParisTech) : proposition de formation continue en ACV ; Cetim, les CCI, cellule « Environmental Life cycle and Sustainable Assessment » (ELSA) : consortium entre École des mines d'Alès, Cirad, Cemagref, Agromontpellier, Inra
- **Bureaux d'étude** : 3A Consulting, A3i, Airele, ACV Conseil, Bureau Veritas, Cycleco, Enviro-Conseil, Enviro-Stratégies, Epure Éco-Innovation, Estia-Innovation, Gingko 21, OMEGA Incorporation, RDC Environnement, BG Ingénieurs Conseils SAS, BIO Intelligence Service...
- Association Edif (Energies Durables en Ile-de-France), Organics Cluster (Rhône-Alpes)
- Plateforme [Avnir] du CD2E, association pôle éco-conception, de nombreux pôles de compétitivité se penchent sur la question (projets, journées d'informations...) : Aerospace Valley, ASTech, Fibres, Axelera, pôle Pass, Maud, Dream Eau & Milieux (aspect technologies propres : matériaux biosourcés...) et la liste n'est pas exhaustive

### Principaux acteurs étrangers

- 2-0 LCA consultants, 2B, Aalborg University, AQUA+TECH Specialities, BASF, Boustead Consulting, Sichuan University, University of Stuttgart

## Position de la France

La France serait en retard par rapport notamment aux pays anglo-saxons. Mais dans les faits, les entreprises françaises se lançant dans l'éco-conception adoptent souvent une démarche plus forte que les sociétés anglo-saxonnes.

A travers les filières REP (responsabilité élargie du producteur), l'Etat français a introduit dans le cahier des charges des éco-organismes, le principe d'une modulation de l'éco-contribution en fonction notamment de la recyclabilité du produit concerné (les premières applications concernent certains équipements électriques et électroniques).

## Analyse AFOM

### Atouts

R&D, programmes nationaux.

### Faiblesses

Retard par rapport à d'autres pays.

### Opportunités

Prise de conscience écologique des consommateurs, marketing vert, diminution des ressources naturelles.

### Menaces

Aucune.

## Recommandations

Les recommandations pour la diffusion de ce concept touchent à la fois :

- la formation ;
- les services à développer ;
- et la veille qu'il convient de mener pour mesurer l'opportunité de s'engager dans cette démarche.

Le développement de cette approche relève de l'influence des acteurs publics, via notamment les marchés qu'ils gèrent, mais aussi des règles du marché. Les relations de type grands donneurs d'ordre-PME peuvent être un levier de diffusion si ces grands donneurs d'ordre imposent à leur sous-traitant d'adopter ce type de démarche.

## Liens avec d'autres technologies clés

31

35

38

39

### 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



## BIBLIOGRAPHIE

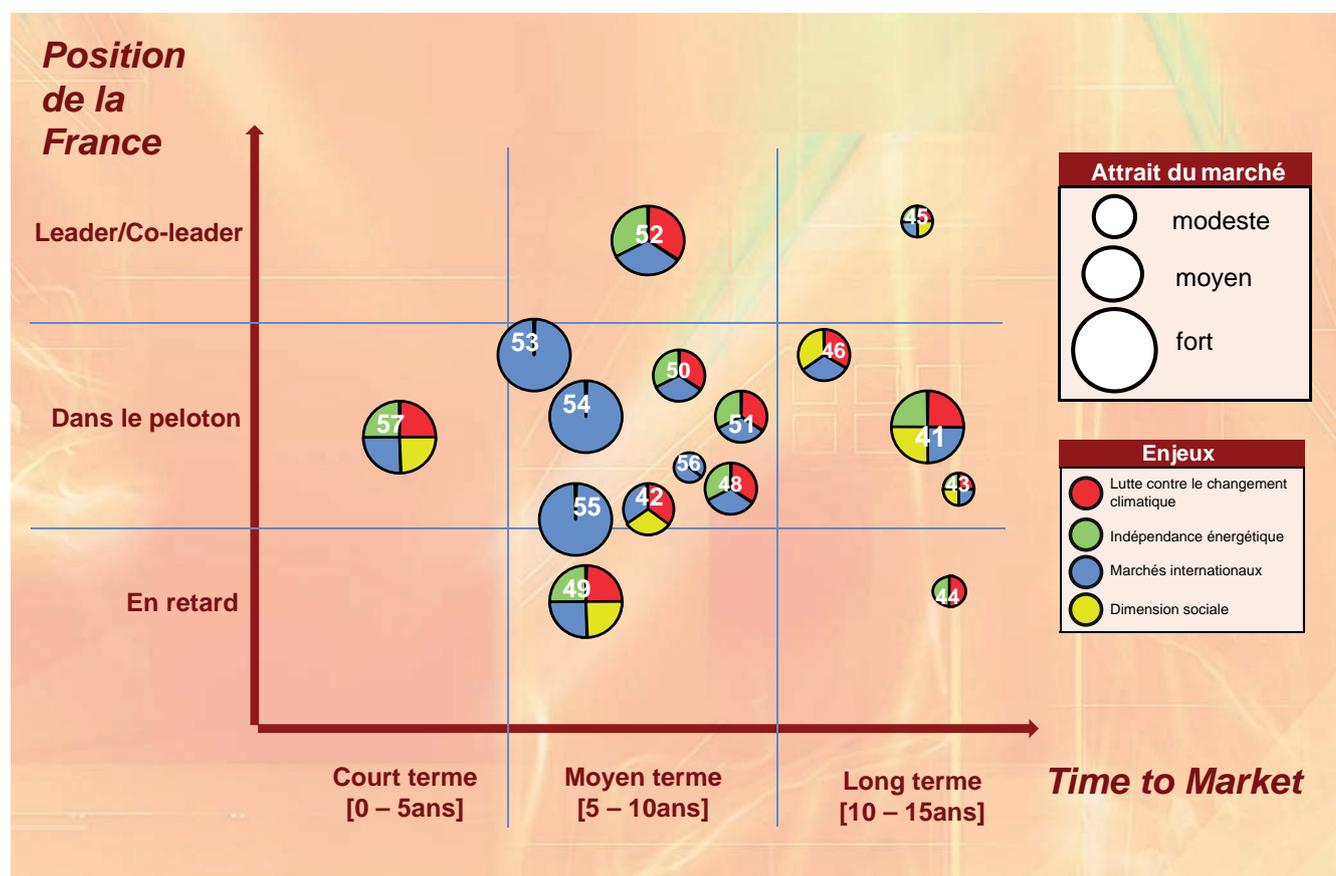
1. BCG, *Développer les éco-industries en France*, décembre 2008
2. CGDD, *L'environnement en France – Édition 2010*, 2010
3. CGDD, *Les filières industrielles stratégiques de l'économie verte*, mars 2010
4. Philippe Richert, *Qualité de l'air et changement climatique : un même défi, une même urgence*, 2007
5. Conseil d'analyse stratégique, *France 2025 : Diagnostic stratégique*, 2009
6. EPE Entreprises pour l'environnement, *L'eau à l'horizon 2025 : roadmap environnementale*, 2008
7. MEEDDM, *Stratégie nationale de développement durable 2010-2013*, 2010
8. MEEDDM, *Politique des déchets 2009-2012*, 2009
9. Olivia Montel-Dumont, *L'économie verte, Cahiers français n° 355*, mars-avril 2010
10. AAE, *Environnement en Europe, état des lieux et perspectives*, 2007
11. AAE, *Signaux de l'AAE 2009 thèmes environnementaux clés pour l'Europe*, 2009
12. AAE, *Stratégie de l'AAE 2009-2013*, 2009
13. Schneider G., *Le curage des sédiments des cours d'eau*, Le courrier de l'environnement de l'INRA
14. Levacher D., Colin D., Perroni A.C., Duan Z., Sun L., *Recyclage et valorisation de sédiments fins de dragage à usage de matériaux routiers*, IX<sup>e</sup> Journées nationales génie civil-génie côtier, 12-14 septembre 2006, Brest
15. *Quand les écologistes critiquent la destruction des barrages*, <http://eau.apinc.org/spip.php?article172>
16. Semcha A., Thèse *Valorisation des sédiments de dragage : applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug*, Université de Reims Champagne-Ardenne, 11 décembre 2006
17. *Nouveau filon dans les mines : les bactéries*, Bulletin mensuel de ressources naturelles Canada (RNCAN) : éléments naturels, mai 2007 (dernière modification 26 mars 2010), n°14, <http://www.nrcan.gc.ca/com/elements/issues/14/bacter-fra.php>
18. *Worldwide exploration trends*, PDAC International Convention 2010, Metals Economics Group, 2010, [http://www.metalseconomics.com/pdf/WET%202010%20\(English\).pdf](http://www.metalseconomics.com/pdf/WET%202010%20(English).pdf)
19. Fondation de l'eau potable sûre (FEPS), *Exploitation minière et la pollution de l'eau*, <http://www.safewater.org/PDFS/resourceknowthefacts/exploitation+miniere+pollution+eau.pdf>
20. Morin D., *Les biotechnologies au service de la dépollution et de la protection de l'environnement*, Les enjeux des géosciences, novembre 2006, N°16
21. DGE, *Étude Technos clés 2010, fiche n° 11* : « Acquisition et traitement de données »
22. Pollutec Horizons : salon des solutions d'avenir au service des enjeux environnementaux et économiques, [www.pollutec.com](http://www.pollutec.com)
23. Veolia Environnement, *Le dessalement de l'eau de mer, Le magazine de la chronique scientifique*, 2005, n°4
24. Bissonnette A., *Utilisation des nanomembranes pour le dessalement de l'eau et comparaison avec l'osmose inverse et la distillation*, Mémoire en vue de l'obtention du grade de maître en environnement, Université de Sherbrooke, 2008
25. Ambassade de Chine en France / ADIT, *La Chine étudie la possibilité de dessalement des glaces de mer*, BE Chine numéro 90, daté du 22 avril 2010, <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/63066.htm>
26. Corsin P., Mauguin G., *Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : les vrais besoins en énergie*, L'eau, l'industrie, les nuisances, 2003, v. 262, pp25-29
27. Scheer S., Bas-Rabérin P., *Israël inaugure une grande usine de dessalement*, Reuters France, 16 mai 2010, <http://fr.reuters.com/article/companyNews/idFRLDE64F0ER20100516>
28. Site internet des pôles de compétitivité : Les actualités des pôles, <http://competitivite.gouv.fr/toutes-les-actualites-des-poles/actualite-du-pole-210/2010/28/dream-188/juin.html?cHash=70e5b27498e0d05713952e31afc6880e>
29. MEEDDM, *Les 12 mesures phares du PNSE2*, 12 janvier 2010 <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-12-mesures-phares-du-PNSE2.html>
30. Étude d'A. Feraudet (Sup'Biotech) sous la direction d'E. Trouvé (Véolia Eau) et D. Lando (Adebiotech), *Biotechnologies et eau : détection des polluants émergents dans l'eau – état des lieux*, Janvier 2009
31. Présentation Veolia Environnement, *Polluants émergents : solutions techniques de traitement*, 28 mars 2008
32. DGE, *Étude Technos clés 2010, Fiche n° 39* : « Mesure des polluants de l'eau prioritaires ou émergents »
33. *De la nécessité d'accroître la connaissance sur les polluants émergents*, Article actu-environnement, 22 octobre 2009, [http://www.actu-environnement.com/ae/news/polluants-emergents\\_ineris\\_8652.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/news/polluants-emergents_ineris_8652.php4)
34. *Base de données Basol sur les sites pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif*, <http://basol.ecologie.gouv.fr/>

35. Laboudigue A., *Les technologies de dépollution : recherche, développement et méthodes d'évaluation*, Présentation au Congrès européen Eco-technologies pour le futur, Lille, 8 juin 2010
36. État de l'art réalisé par l'Adit pour le compte de l'Ademe, *Traitement biologique des sols pollués : recherche et innovation*, février 2006
37. Présentation de Le Gauffre P., *Projet national RERAU : Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissements urbains*, ENGEES/cemagref-ASTEE, 17 janvier 2006
38. Veolia Environnement, *La gestion de la qualité des ressources en eau*, Le magazine de la chronique scientifique, 2005, n°5
39. Eaufrance : portail d'entrée du Système d'information sur l'eau (SIE), <http://www.eaufrance.fr/index.php>
40. Site [www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org)
41. Rapport Fédération professionnelle des entreprises de l'eau (FP2E) / BIPE, *Les services collectifs d'eau et d'assainissement en France : données économiques, sociales et environnementales*, 3<sup>e</sup> édition, janvier 2008, [http://www.lyonnaise-des-eaux.fr/resources/pdf/12041894031\\_Rapport\\_BIPEFP2E\\_2008\\_BAT\\_vf.pdf](http://www.lyonnaise-des-eaux.fr/resources/pdf/12041894031_Rapport_BIPEFP2E_2008_BAT_vf.pdf)
42. Hocquard C., *Ressources minérales, nouvelles frontières*, BRGM, Ecole thématique CNRS-INSU, Nancy, 3-5 Février 2010
43. Casalegno E., *Des nanominéraux tirés des déchets, la science et les technologies russes au jour le jour*, Intelink Press (Intelligence et système de veille stratégique), 22 avril 2010, [http://www.intelink.info/actualites/sciences/1004221907\\_la\\_sciences\\_et\\_les\\_technologies\\_russes\\_au\\_jour\\_le\\_jour](http://www.intelink.info/actualites/sciences/1004221907_la_sciences_et_les_technologies_russes_au_jour_le_jour)
44. Denzler L., *Les déchets électroniques, source de matières premières*, 23<sup>e</sup> apéro scientifique de l'EMPA, Dübendorf/St-Gall/Thoune, mai 2005
45. Burns S., *Recycling of Rare Earth Metals faces challenges*, MetalMiner (Sourcing and trading intelligence for global metals markets), 16 juin 2009, <http://agmetminer.com/2009/07/16/recycling-of-rare-earth-metals-faces-challenges/>
46. Macqueron G., *Des terres rares en abondance pour les technologies vertes ?*, Futura-Sciences, 18 décembre 2009
47. Union européenne, *List of 14 critical mineral raw materials*, Memo/10/263, 17 juin 2010
48. Ambassade de France au Japon / ADIT, *Politique japonaise d'approvisionnement en métaux rares*, BE Japon numéro 538, daté du 14 mai 2010, <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/63354.htm>
49. Ademe, *Les chiffres clés des déchets*, 2009
50. Ademe, *Marchés et emplois des activités liées aux déchets en France : quel impact du Grenelle ?*, Ademe&Vous, Stratégies et études n° 25, 9 juillet 2010
51. Appel à projets Éco-industries 2010 / Axe 3 : Transformer vers des matières premières secondaires. Les priorités de l'Ademe en termes de Recherche et Développement sur les technologies de tri et recyclage.
52. Ademe, *Le marché des activités liées aux déchets*, Synthèse, Mars 2007
53. Site [http://www.biogaz-energie-renouvelable.info/digestats\\_valorisation.html](http://www.biogaz-energie-renouvelable.info/digestats_valorisation.html)
54. Total, *Les plastiques*, dossier « Pour comprendre les énergies » [planete-energies.com](http://www.planete-energies.com), <http://www.planete-energies.com/contenu/dossier/plastiques/recyclage.html>
55. Éco-emballages, *Le recyclage des emballages plastiques*, <http://www.ecoemballages.fr/le-tri-des-emballages/du-recyclage-au-recycle/plastique/>
56. Lagadec C., *La mise en œuvre d'une directive européenne : exemple de la directive-cadre sur l'eau dans le bassin Loire-Bretagne à travers le regard d'une association de protection de l'environnement : eau et rivières de Bretagne*, Mémoire de stage pour l'obtention du master aménagement et gestion intégrée des ressources environnementales (Agire), 2007
57. Héraud B., *Encore des obstacles pour la valorisation des algues vertes*, interview de Jean-François Sassi du Centre d'étude et de valorisation des algues (Ceva), Novethic, 01 septembre 2009
58. Boudehane K., *La Chine accroît sa capacité de recyclage du plastique*, Plastiques et Caoutchouc Magazine, 25 août 2009, <http://plastiques-caoutchoucs.com/La-Chine-accroit-sa-capacite-de-856.html>
59. Boeglin N.n Veuillet D., *Introduction à l'analyse du cycle de vie (ACV)*, Note de synthèse externe, Ademe, mai 2005
60. Agence régionale de de l'environnement de Haute-Normandie (ARHEN), *Dossier « on déballe tout sur les emballages »*, avril 2009, <http://www.arehn.asso.fr/dossiers/emballages/emballages.html>
61. Unité politique industrielle durable, Direction générale des entreprises et de l'industrie, *L'éco-conception pour un avenir durable*, magazine en ligne *Entreprises et industrie* de la Commission européenne, 19 novembre 2009, [http://ec.europa.eu/entreprise/e\\_i/news/article\\_9741\\_fr.htm](http://ec.europa.eu/entreprise/e_i/news/article_9741_fr.htm)
62. Commission européenne, *Toolkit : mallette de formation aux PME* de la Commission européenne, [http://ec.europa.eu/environment/gpp/toolkit\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/gpp/toolkit_en.htm)
63. Ademe, *Management environnemental et éco-produits*, <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=1&cid=96&m=3&catid=12913>
64. Chambre de commerce-industrie et services de Saint-Etienne/Montbrisson et Institut de développement de produits (IDP), *L'écoconception : quels retours économiques pour l'entreprise ?*, Collaboration pôle d'écoconception et management de cycle de vie Décembre 2008
65. Mutations économiques dans le domaine de la chimie, Étude Pipame, février 2010



# Énergie

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



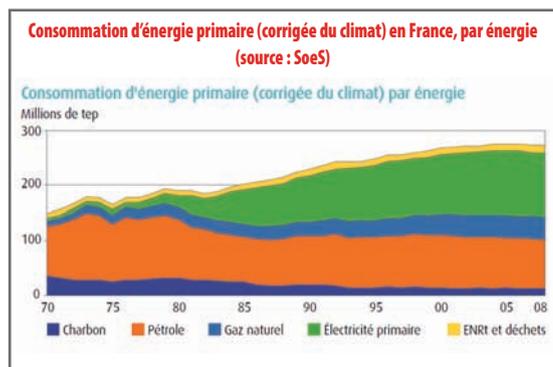
(\*) Considérant les caractéristiques en termes d'accès au marché qui peut être très court, dans le cas de la maintenance par exemple ou très long terme pour les aspects technologiques, le type de graphique ci-dessus n'est pas adapté à la représentation de la technologie clé « Énergie nucléaire ».

## Contexte et enjeux

### Le bilan énergétique national

La France était en 2007 le huitième plus grand consommateur d'énergie au monde, derrière les États-Unis (premier consommateur mondial), la Chine, la Russie, l'Inde, le Japon, l'Allemagne et le Canada. Avec 4,15 tep consommées par habitant et par an, elle se situe légèrement en dessous de la moyenne des pays de l'OCDE, soit 4,64 tep en 2007.

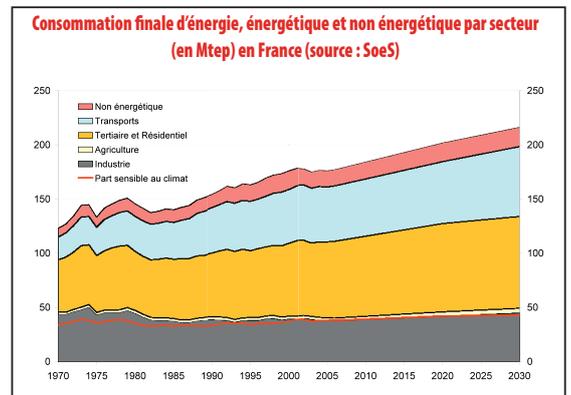
La consommation d'énergie primaire en France s'est élevée à 274 Mtep en 2008. Trois énergies dominent largement ce bilan : l'électricité (43 %), le pétrole (32 %) et le gaz naturel (15 %). Si la composition de ce « mix énergétique » a fortement évolué depuis les années soixante-dix, avec notamment la part importante prise par l'électricité d'origine nucléaire, elle a eu tendance à se stabiliser durant les années 2000. La consommation de pétrole, quant à elle, a eu tendance à se concentrer dans le secteur des transports.



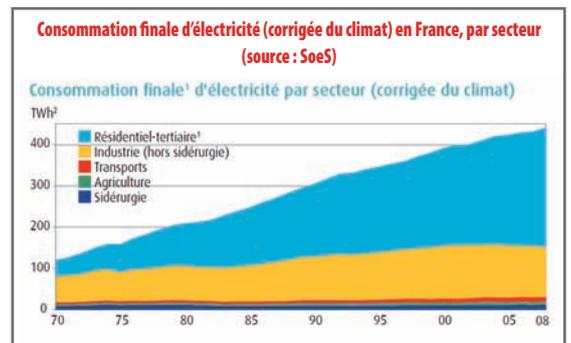
Selon les projections établies par la DGEC dans le scénario énergétique de référence publié en 2008, la croissance de la consommation d'énergie primaire serait de + 0,7 % par an d'ici à 2030, avec un léger ralentissement sur la dernière décennie (+ 0,6 % en moyenne). On note en particulier une forte croissance des énergies renouvelables, à la fois sous forme d'électricité (+ 2,5 % par an en moyenne) et de chaleur (+ 1,9 % par an), celles-ci ne représentant toutefois qu'une part mineure par rapport à l'électricité d'origine nucléaire, au pétrole et au gaz naturel ; l'évolution la plus notable concernerait le gaz naturel, dont la consommation, tirée par la production d'électricité, augmenterait au rythme de + 2,3 % par an.

### Les évolutions sectorielles

Depuis 1973, la part relative de l'industrie dans la consommation d'énergie au niveau national a fortement diminué (de 36 % à 23 %, hors branche énergie), alors que celle du secteur résidentiel-tertiaire s'est stabilisée et que celle des transports a connu une croissance significative (de 19 % à 31 %). À l'horizon 2030, la consommation d'énergie dans l'industrie devrait peu évoluer, sa part relative continuant donc à baisser.



Cette période a par ailleurs été marquée par une forte progression de la consommation d'électricité, qui a crû deux fois plus vite que la consommation globale d'énergie, résultat, pour l'essentiel, de la substitution massive du fioul par l'énergie nucléaire pour la production d'électricité. Le secteur résidentiel-tertiaire représente désormais à lui seul les deux tiers de la consommation finale d'électricité, contre 30 % pour l'industrie (y compris la sidérurgie), une part relative qui tend par ailleurs à décroître.



### Les tendances au niveau mondial

Selon le scénario tendanciel de l'AIE, les besoins en énergie au niveau mondial pourraient croître de 84 % entre 2007 et 2050. En Chine, la consommation d'énergie pourrait doubler d'ici à 2030 ; toutes les sources d'énergie seraient concernées, le charbon restant toutefois dominant, avec comme conséquence un doublement des émissions de CO<sub>2</sub> (pour lesquelles la Chine occupait déjà en 2007 la première place, devant les États-Unis). Toujours selon ce scénario, les énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) représenteraient encore plus de 85 % de la fourniture d'énergie primaire au niveau mondial. De fait, si une stabilisation, voire une diminution des besoins en hydrocarbures des pays de l'OCDE est envisageable à court terme, ce ne saurait être le cas des pays en voie de développement.

Une des conséquences est que les préoccupations géopolitiques relatives aux marchés du pétrole et du gaz naturel sont appelées à jouer durablement un rôle clé en matière d'énergie. En effet, plus des deux tiers des réserves mondiales de pétrole conventionnel sont concentrés au Moyen-Orient, dont un quart en Arabie Saoudite. Les réserves de gaz naturel sont

elles-mêmes relativement concentrées : ainsi, la Communauté des États indépendants en détient environ un tiers. Au total, l'Opep et la Russie détiennent les trois quarts des réserves de pétrole, et trois quarts des réserves de gaz. La conséquence est qu'à long terme, l'économie mondiale est appelée à dépendre d'un nombre restreint de pays producteurs d'hydrocarbures, dans un contexte où la marge de manoeuvre des pays de l'Opep au niveau des moyens de production est limitée et où les capacités de raffinage sont sous tension. Dans cette situation tendue, tout aléa climatique ou géopolitique se traduit immédiatement par une flambée des prix.

## Les ressources en hydrocarbures

La question du « pic pétrolier mondial » (« peak oil »), qui fait référence à la date à laquelle la production mondiale de pétrole atteindra son maximum puis commencera à décliner du fait de l'épuisement des réserves, fait l'objet de débats réguliers, les avis divergeant fortement à ce sujet.

Ce pic dépendra à la fois de l'évolution de la production et de la consommation (on introduit ainsi également la notion de « pic de la demande »). Le bilan des réserves prouvées pour les principales sources d'énergie, qui équivalent à 40 années de production pour le pétrole conventionnel, 70 années par le gaz naturel et l'uranium (utilisé selon les méthodes actuelles, hors réacteurs de quatrième génération qui multiplieront cette ressource de deux ordres de grandeur) et 170 années pour le charbon, montre qu'il n'y a pas de risque de pénurie à court terme, même pour les hydrocarbures. Des investissements massifs restent toutefois nécessaires : ainsi, selon l'AIE, près de la moitié de la capacité de production mondiale de gaz naturel devra être remplacée d'ici à 2030 en raison de l'épuisement des gisements. Il s'agit toutefois de perspectives à moyen-long terme ; dans l'immédiat, la récession économique qui a débuté en 2008 devrait avoir comme conséquence une diminution de la consommation énergétique en 2009, avec comme corollaire un tassement conjoncturel du cours des hydrocarbures.

Dans le cas du pétrole, trois leviers principaux devraient permettre de maintenir dans les prochaines années la production à un niveau suffisant :

- tout d'abord, le maintien des investissements dans l'amont pétrolier ; il faut toutefois noter que le rythme de découverte de nouveaux gisements s'est ralenti et que leur taille moyenne a diminué, ce qui implique que les investissements en exploration et pour la mise en production sont plus longs à amortir ;
- ensuite, une exploitation plus efficace des gisements existants : en moyenne, seulement un tiers du pétrole d'un gisement est récupéré ; l'amélioration de ce taux de récupération, par exemple grâce à la mise en oeuvre nouveaux procédés, permettra de repousser l'échéance d'épuisement de ces gisements ;
- enfin, l'exploitation de ressources non conventionnelles ; un des exemples les plus connus est celui des sables bitumineux de la province d'Alberta, au Canada ; le coût environnemental de cette exploitation est toutefois élevé et devra être incorporé dans la chaîne de valeur : déforestation, consommation de gran-

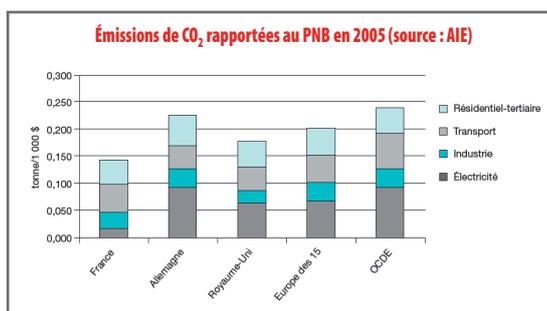
des quantités d'eau, rejets liquides (eaux usées) et gazeux (composés soufrés, en particulier)...

Par ailleurs, il faut souligner que les ressources pétrolières hors Opep sont en voie d'épuisement, ce qui implique une dépendance de plus en plus marquée vis-à-vis des pays de l'Opep, alors que certains de ceux-ci peuvent éprouver des difficultés (voire des réticences) à augmenter leurs capacités de production. Pour l'ensemble de ces raisons, les prix vont très probablement rester structurellement orientés à la hausse.

## Le changement climatique

En matière de scénarios sur le changement climatique, il est devenu usuel d'utiliser l'échéance de 2050 comme point de repère. Deux scénarios, en particulier, encadrent les « avenir possibles » : le premier caractérisé par un objectif « raisonnable », revenir en 2050 au niveau d'émission actuel ; le second, caractérisé par un objectif ambitieux, diviser par deux les émissions mondiales par rapport au niveau actuel (voir à ce sujet le rapport de la commission énergie du Centre d'analyse stratégique, ainsi que le scénario « Blue Map » de l'AIE, évoqué ci-après). Ce dernier objectif est à différencier selon le stade de développement du pays considéré : pour les pays les plus industrialisés, il s'agit de diviser par quatre les émissions de GES d'ici à 2050. C'est cet objectif qui est rappelé à l'article 2 de la loi de programme de 2005 fixant les orientations de la politique énergétique.

À ce stade, il est utile de rappeler que les émissions de CO<sub>2</sub> de la France, rapportées aux différents secteurs émetteurs, possèdent une structure relativement atypique. Cela résulte principalement du fait que la production d'électricité repose pour l'essentiel sur des énergies très faiblement émettrices : nucléaire et, dans une moindre mesure, hydraulique. En revanche, on constate que les niveaux d'émission des autres secteurs (résidentiel-tertiaire, transport et industrie) sont, toutes proportions gardées, comparables à ceux des autres pays développés.



Dans le détail, on constate que ce sont les émissions issues du secteur des transports qui ont connu la plus forte progression en l'espace de quelques décennies – devenant ainsi le premier secteur émetteur – alors que celles issues du secteur résidentiel-tertiaire progressent à un rythme nettement plus lent depuis les années 1990, et que celles issues de l'industrie sont en décroissance régulière.