



Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets



FEUILLE DE ROUTE STRATÉGIQUE

Feuille de route

Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

Sommaire

> 1. Champ thématique	4
> 2. Les enjeux	6
> 3. Les visions	13
> 4. Les verrous	17
> 5. Les besoins prioritaires de recherche et développement	19
> 6. Les fonctions des démonstrateurs de recherche, des plates-formes technologiques d'essais et des expérimentations préindustrielles	25
> 7. Annexe : Les quatre phases de recherche et développement	26

Liste des membres du groupe d'experts

Nature de l'organisme	Nom	Organisme d'appartenance ¹
Entreprises privées	Fabrice Abraham Stephan Csoma Carlos De Los Llanos Franck Fajardie Olivier François Jean-Jacques Nardin François Grosse Hugues Percie du Sert	Renault Umicore Eco Emballages Rhodia Galloo Pellenc Veolia Environnement Suez Environnement
Organismes de recherche	Jean De Beir Philippe Duchène Daniel Froelich Hervé Gaboriau	Université d'Evry Cemagref Ensam Chambéry BRGM
Association	François Théry	Record

Ont participé aux réunions d'experts, en qualité d'observateurs, Loïc Lejay (ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement) et Aymeric de Loubens (ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie).

Le groupe d'experts a reçu l'appui d'un secrétariat technique de l'ADEME composé d'Erwan Autret, Daniel Béguin, Jérôme Betton, Jean-Marie Bouchereau, Marc Cheverry, Alain Geldron, Michel Gioria, Isabelle Hebe, François Moisan, Jean-Guillaume Peladan, Claire Pinet, Patrick Souet, Didier Violle.

¹ - Cemagref : Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement ; Ensam : Ecole nationale supérieure des arts et métiers ; BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières ; Record : association de recherche coopérative sur les déchets et l'environnement.

Préambule

Depuis 2010, l'ADEME gère quatre programmes dans le cadre des Investissements d'avenir². Des groupes d'experts issus de la recherche dans les secteurs de l'industrie, des organismes de recherche et des agences de financement et de programmation de la recherche, sont chargés, dans le cadre d'un travail collectif, de la réalisation de feuilles de route stratégiques. Celles-ci sont utilisées pour lancer les Appels à manifestations d'intérêt (AMI).

Les feuilles de route ont pour objectif :

- d'éclairer les **enjeux industriels, technologiques, environnementaux et sociétaux** ;
- d'élaborer des visions cohérentes et partagées des technologies ou du système sociotechnique en question ;
- de mettre en avant les **verrous technologiques, organisationnels et socio-économiques** à dépasser ;
- d'associer aux thématiques de recherche prioritaires, des **objectifs temporels** en termes de disponibilité technologique et de déploiement ;
- de rendre prioritaires les **besoins de recherche industrielle, de démonstrateurs de recherche, d'expérimentation préindustrielle et de plates-formes technologiques d'essai** qui servent ensuite de base pour :
 - > la rédaction des AMI ;
 - > la programmation de la recherche au sein de l'ADEME et d'autres institutions, comme l'Agence nationale de la recherche (ANR), le Comité stratégique national sur la recherche énergie ou l'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (ANCRE).

Ces priorités de recherche et d'expérimentation proviennent du croisement entre les visions et les verrous, mais prennent également en compte les **capacités françaises dans les domaines de la recherche et de l'industrie**.

La présente feuille de route est complémentaire de celles déjà réalisées ou en cours de réalisation : « Gestion intégrée des sols, des eaux souterraines et des sédiments pollués », « Produits, procédés et services éco-conçus », « Chimie du végétal », « Biocarburants avancés », « Véhicules » et « Hydrogène énergie et piles à combustible ».

² - Les Investissements d'avenir s'inscrivent dans la continuité des orientations du Fonds démonstrateurs de recherche géré par l'ADEME. Les quatre programmes concernés sont : Energie renouvelable, décarbonée et chimie verte (1,35 milliard d'euros), Véhicules du futur (1 milliard d'euros), Réseaux électriques intelligents (250 millions d'euros) et Economie circulaire (250 millions d'euros dans le cadre duquel est prévue une action « Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets »).

Feuille de route

Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

> 1. Champ thématique

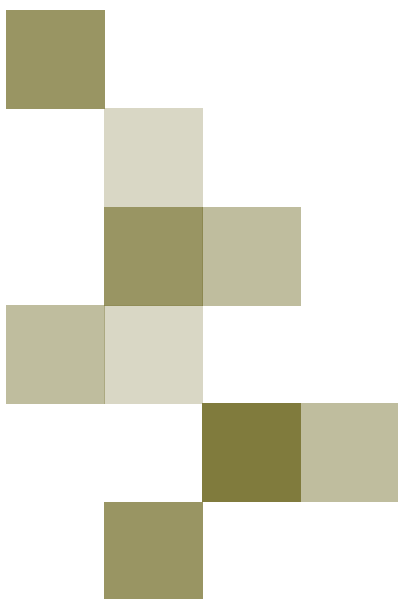
Cette feuille de route porte sur l'ensemble des **filières de recyclage et de valorisation énergétique et non énergétique des déchets** (voir encadré ci-dessous).

Est considéré comme **déchet**, au sens de l'ordonnance n° 2010-1579 du 17/12/10, toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défait. On entend par **filier**³, un ensemble d'activités et d'acteurs allant de la mobilisation des gisements de déchets à l'utilisation de matières premières de **recyclage** ou d'énergie. Enfin le recyclage consiste en la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve.

La valorisation des déchets

On distingue la valorisation énergétique, matière et organique :

- **valorisation énergétique** : exploitation du gisement d'énergie que contiennent les déchets. Cette énergie sert à produire de l'électricité et/ou de la chaleur et/ou de la vapeur. Elle est utilisée, par exemple, pour chauffer des immeubles ;
- **valorisation matière** : utilisation de tout ou partie d'un déchet en remplacement d'un élément ou d'un matériau ;
- **valorisation organique** : utilisation pour amender les sols de compost, digestat ou autres déchets organiques transformés par voie biologique.



3 - Le concept de filière fait référence à l'idée qu'un produit, bien ou service, est mis à la disposition de son utilisateur final par une succession d'opérations effectuées par des unités ayant des activités diverses. Chaque filière constitue une chaîne d'activités qui se complètent, liées entre elles par des opérations d'achats et de ventes (Montfort J., 1983, « A la recherche des filières de production », *Economie et Statistique*, n°151, 3-12).

Plus spécifiquement, la feuille de route inclut :

- les déchets résultant de la consommation des ménages, les déchets inertes⁴, dangereux ou non dangereux, des différentes activités économiques, y compris des activités du bâtiment et des travaux publics, les déchets organiques et les déchets provenant de l'ensemble des activités de production et de transformation ;
- les produits hors d'usage correspondant principalement aux filières à responsabilité élargie des producteurs (REP, voir encadré page ci-contre) : déchets d'équipements électriques ou électroniques en fin de vie (DEEE), pneus usagés non réutilisables (PUNR), véhicules hors d'usage (VHU), piles, emballages, éléments d'ameublement, textiles hors d'usage...
- les différentes matières et produits usagés : métaux ferreux, métaux non ferreux, métaux ou matières premières rares et stratégiques (telles que les terres rares⁵), verres, papiers et cartons, plastiques (dont bioplastiques), composites, déchets inertes du BTP, bois, matières organiques (en particulier d'origine agricole ou des industries agroalimentaires) ;
- les activités inhérentes à la réparation, au réemploi⁶, à la réutilisation⁷, à la valorisation matière et énergétique des déchets, y compris la récupération dans les anciens stocks : la collecte⁸, le démantèlement, le tri, la récupération (voir encadré page ci-contre), la préparation, la transformation, l'incorporation et l'utilisation des matières premières de recyclage, la production d'énergie à partir de déchets ;
- les différents acteurs économiques : ménages, entreprises, collecteurs, récupérateurs, recycleurs, équipementiers (fournisseurs de technologies), acteurs des filières à responsabilité élargie des producteurs (éco-organismes, fabricants des produits), producteurs de matières premières et de produits et secteurs productifs utilisateurs, collectivités territoriales (responsables des déchets des ménages).

4 - Déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas les matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine (source : directive 1999/31/CE du conseil du 26 avril 1999, JOCE du 16 juillet 1999).

5 - . Les terres rares sont un groupe de métaux aux propriétés voisines, comprenant le scandium, l'yttrium et les quinze lanthanides. Voitures hybrides, téléphones portables, écrans plats, produits de technologie verte (ampoule LED, éolien, solaire...) comportent des terres rares. Elles sont partout, dans toutes les technologies de pointe, jusque dans le raffinage du pétrole.

6 - Le réemploi est une opération de prévention par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas considérés comme des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus.

7 - La réutilisation est définie comme toute opération par laquelle des substances, matières ou produits sont utilisés à nouveau. Déposés dans des points d'apport volontaires, hors zone de réemploi dans les déchèteries, ils prennent le statut de déchet

8 - La collecte est l'ensemble des opérations consistant à enlever les déchets et à les acheminer vers un lieu de transfert, de tri, de traitement ou une installation de stockage des déchets.

Responsabilité élargie des producteurs

La responsabilité élargie des producteurs (REP), issue de la loi de 1975 qui instaure le principe du pollueur-payeur, est définie par l'article 8 de la directive 2008/98/CE relative aux déchets. Les producteurs, les importateurs de produits et les distributeurs pour les produits de leurs propres marques doivent prendre en charge, notamment financièrement, en partie ou en totalité, la collecte sélective puis le recyclage ou le traitement des déchets issus de ces produits. La montée en puissance de ces filières, depuis le milieu des années 1990, a permis des progrès très significatifs en matière de recyclage des déchets.

Récupération

Selon la définition NAF rev.2 (Insee, 2008), la récupération est une activité de transformation, par un processus mécanique ou chimique, des déchets ou autres articles en matières premières secondaires. Les processus concernés sont : broyage, compactage, nettoyage, triage, démantèlement d'épaves de tout type (y compris VHU et DEEE) et tri à des fins de récupération. La récupération ne comprend pas le commerce de gros des matériaux de récupération, ni la collecte et le tri de matériaux de récupération non triés, destinés à être revendus sans réelle transformation.

Dans le périmètre et les réflexions prospectives de cette feuille de route sont également inclus :

- les visions de long terme portées par des secteurs potentiellement gros producteurs de déchets (ex : secteur du bâtiment et de la construction, pour lequel la quantité et la nature des déchets produits pourront être radicalement différentes selon que l'on s'oriente vers des options de réhabilitation ou de déconstruction du parc de bâtiments existants) ;
- la consommation durable et l'éco-conception (*voir encadré ci-dessous*), qui ne sont pas au cœur du champ thématique de la feuille de route, mais qui sont des paramètres influant sur la production de déchets et qui sont intégrés dans la phase d'élaboration des visions de long terme ;
- les questions sanitaires, notamment en lien avec l'émergence de nouveaux produits (ex : produits biosourcés, nanomatériaux), de nouvelles technologies ou de nouvelles pratiques ;
- les changements climatiques et les politiques d'atténuation ou d'adaptation associées dans les différents secteurs d'activités ;
- la production d'énergie délocalisée et la gestion des réseaux de distribution de l'énergie alimentés par une énergie issue de déchets.
- Sont par contre exclus du champ thématique de la feuille de route les déchets radioactifs et les sédiments. Les sédiments extraits et en surface sont traités dans le cadre de la feuille de route « Gestion intégrée des sols, des eaux souterraines et des sédiments pollués ».

Eco-conception

L'éco-conception consiste à intégrer la préservation de l'environnement dans la conception des biens et des services. Cela permet de mettre sur le marché des produits plus respectueux de l'environnement tout au long de leur cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières jusqu'aux déchets issus de leur fabrication, de leur utilisation et de leur abandon.

Feuille de route

Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

> 2. Les enjeux

La collecte, le tri, le recyclage et la valorisation des déchets répondent dès à présent et dans une perspective de long terme à des enjeux incontournables, aussi bien au niveau international que local, à savoir :

- l'économie des matières premières ou d'énergie et leur sécurité d'approvisionnement ;
- l'atténuation du réchauffement climatique ;
- la préservation de la santé des hommes, la protection de l'environnement et des écosystèmes ;
- la maîtrise des coûts et la croissance de l'emploi ;
- le développement industriel des technologies.

L'économie de matières premières ou d'énergie et leur sécurité d'approvisionnement

L'économie des matières premières ou d'énergie est un enjeu majeur partagé au niveau mondial.

Les matières premières de recyclage contribuent positivement à l'économie de matières premières vierges (*voir encadré ci-dessous*).

Matière première de recyclage

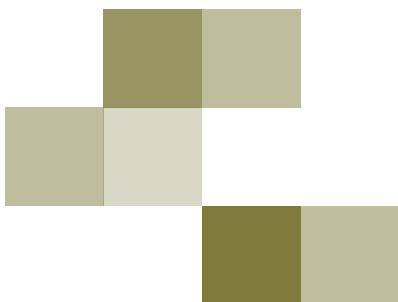
La **matière première de recyclage** est récupérée à partir de produits usagés et de rebuts, à l'exception des rebuts découlant d'un processus de production primaire. Cette dénomination remplace peu à peu le terme « matière première secondaire » pour éviter de considérer ces matières premières de recyclage comme secondaires vis-à-vis des **matières premières vierges**. A partir du moment où elles répondent aux caractéristiques techniques requises par l'utilisateur, il n'y a en effet pas de raison de les considérer comme secondaires.

En France en 2008, la part des matières premières de recyclage (25 millions de tonnes collectées) dans la fabrication de produits est contrastée selon les matières⁹, avec 44 % pour l'acier, 42 % pour les métaux non ferreux, 60 % pour les papiers et cartons, 5 % pour les plastiques et 44 % pour le verre¹⁰.

Les entreprises de la récupération (tri des déchets non dangereux, récupération des matières recyclables et des produits usagés) ont réalisé en 2008 et 2009 un chiffre d'affaires respectivement de 9,2 et 6,5 milliards d'euros¹¹ et les perspectives pour 2010 font état d'un chiffre d'affaires de 9,5 milliards d'euros. Ce marché connaît une évolution quasi exponentielle en valeur depuis 2003, avec notamment un doublement en 2007 par rapport à 2003. On trouvera, dans l'encadré ci-dessous, des éléments sur la production nationale de déchets en 2008.

Les quantités de déchets produits en France

En France en 2008¹², la production nationale de déchets atteint 771 millions de tonnes (Mt), dont près de la moitié provient de l'agriculture et de la sylviculture (374 Mt) et environ un tiers de la construction et du BTP (253 Mt). Les déchets d'activités (hors agriculture et BTP) représentent 106 Mt. Les déchets des ménages et des collectivités représentent, quant à eux, des volumes respectifs de 32 et 5 Mt.



9 - ADEME, 2010, « Bilan du recyclage 1999-2008 ».

10 - Il existe aujourd'hui un déficit de connaissances sur les quantités de matières présentes dans les gisements de déchets et dans les filières de collecte, de valorisation et d'élimination associées, ce qui rend impossible le chiffrage de l'économie réelle de matières premières vierges par les matières premières de recyclage. En l'absence d'autres informations disponibles, l'indicateur retenu ici consiste à évaluer la part des matières premières de recyclage dans la production de matériaux.

11 - ADEME, 2010, « Marchés et emplois des activités liées aux déchets, Situation 2008/2009 – perspectives 2010 ».

12 - ADEME, 2011 (à paraître), « Les déchets en chiffres en France en 2008 ».

Déchets des collectivités	Déchets des ménages		Déchets d'activités		Déchets de l'agriculture et sylviculture	Déchets de la construction et du BTP
5,3	32,6		106		374	253
Voirie et marchés 3,0	Déchèteries et encombrants* 11,7	OM strict 20,8	Déchets non dangereux** 98	Déchets dangereux 8		
Boues STEP (sec) 1,3	Déchets dangereux 0,1		Collectés en OM 5,6			
Déchets verts 1,0						
	Déchets municipaux		43			
	Déchets ménagers et assimilés		38			
	OMA		26			

* Y compris des déchets d'activités économiques

** Y compris déchets organiques des IAA (44 Mt)

STEP : station d'épuration ; OM : ordures ménagères ; OMA : ordures ménagères et assimilées ; IAA : industries agroalimentaires.

En ce qui concerne les granulats (matières minérales destinées au secteur de la construction), sur 438 Mt commercialisés en 2008, 15 Mt étaient issus du recyclage de bétons de démolition et 8 Mt de sources industrielles (laitiers sidérurgiques, mâchefers d'incinération, schistes houillers). Par ailleurs, près de 115 Mt de déchets provenant d'excédents de chantiers étaient utilisés à des fins de construction d'ouvrage, limitant ainsi les prélèvements en matériaux de carrière (source : Union nationale des producteurs de granulats). Sans compter les 6,5 Mt d'agrégats d'enrobés, récupérés annuellement et recyclés à 80 % dans la fabrication de nouveaux produits bitumineux (à hauteur de 25 % selon l'Union des syndicats de l'industrie routière française) ou valorisés pour d'autres usages routiers (à hauteur de 55 %, selon une étude commune de la Fédération nationale des travaux publics et de l'ADEME).

L'économie circulaire (voir encadré ci-contre) est également susceptible de préserver les ressources énergétiques non renouvelables. En 2008 en France, toutes matières confondues (hors organiques et inertes du BTP), le recyclage des déchets produits a permis d'économiser 5,8 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) d'énergies non renouvelables, soit environ 2,2 % de la consommation française totale d'énergies non renouvelables⁹. De son côté, la valorisation énergétique des déchets contribue également à la production d'énergie renouvelable de par la fraction issue de la biomasse qu'ils contiennent. Avec une production d'énergie primaire renouvelable évaluée à 1,5 Mtep à partir de l'incinération (1,2 Mtep) et de biogaz (0,3 Mtep), la valorisation énergétique des déchets ménagers représente en 2009 en France métropolitaine environ 11 % de la production primaire d'énergies renouvelables (20,3 Mtep)¹³.

Economie circulaire

L'économie circulaire est basée sur six éléments principaux¹⁴:

- l'utilisation modérée et la plus efficace possible des ressources non renouvelables,
- une exploitation des ressources renouvelables respectueuse de leurs conditions de renouvellement,
- l'éco-conception et la production propre,
- une consommation respectueuse de l'environnement,
- la valorisation des déchets en tant que ressources,
- le traitement des déchets sans nuisance.

D'autre part, notre économie est aujourd'hui fortement dépendante d'approvisionnements en matières premières, dont la disponibilité est de plus en plus contrainte par les producteurs, lesquels sont parfois fortement concentrés dans un nombre limité de pays. Les travaux de la Commission européenne sur les matériaux critiques¹⁵ identifient notamment 14 matériaux critiques (sur une base de 41), pour lesquels une sécurité d'approvisionnement doit être recherchée. Le recyclage est une contribution pour renforcer notre indépendance nationale vis-à-vis des ressources importées.

13 - Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2010, « Bilan des énergies renouvelables en France en 2009 ».

14 - J.-C. LEVY, *L'économie circulaire : l'urgence écologique ?*, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, 2009.

15 - Commission européenne, juillet 2010, *Critical raw materials for the EU, Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials*.

Feuille de route

Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

Plusieurs leviers contribuent à l'économie et à la sécurité de l'approvisionnement en matières premières vierges ou en énergie, à savoir :

- la mobilisation des gisements,
- la maîtrise de la qualité et de la circulation des matières,
- la durabilité des produits, la fabrication de produits à partir – en tout ou partie – des pièces de ces mêmes produits usagés (*remanufacturing*), la réutilisation, les circuits courts,
- l'amélioration de la qualité de la chaîne de recyclage et des performances de tri,
- l'existence d'un marché des matières premières de recyclage à un prix acceptable,
- l'amélioration de l'acceptabilité de la valorisation matière et énergétique des déchets,
- l'optimisation des procédés industriels pour utiliser des matières premières de recyclage,
- l'adaptation de l'offre à la demande.

L'atténuation du réchauffement climatique

La thématique des déchets, vue dans sa globalité, représente un enjeu significatif en termes d'atténuation du réchauffement climatique, d'une part, en tant que secteur d'activité émetteur et, d'autre part, du fait des émissions évitées par la prévention, le recyclage ou la valorisation des déchets.

Les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre identifient une contribution du secteur du traitement des déchets de l'ordre de 2 % des émissions nationales en 2007 (10 millions de tonnes équivalent CO₂, Mteq CO₂). Mais pour avoir une vision plus globale, il convient d'ajouter à ce chiffre les émissions liées à la collecte et au transport des déchets, aux incinérateurs avec récupération d'énergie et aux procédés de recyclage, émissions qui sont comptabilisées respectivement dans les inventaires des secteurs transport, énergie, et industrie.

En 2008, en France, toutes matières confondues (hors organiques et inertes du BTP), le recyclage a permis d'éviter l'émission de 19 Mteq CO₂, soit environ 3,6 % des émissions brutes (hors puits de carbone) de gaz à effet de serre⁹.

Ces données nationales sont à mettre en perspective avec les gains maximaux estimés, au niveau mondial, à 500 Mt CO₂ évités par le recyclage des métaux (dont 427 Mt CO₂ évités par le recyclage des métaux ferreux et 57 par l'aluminium) et des papiers et cartons (5 Mt CO₂ évités)¹⁶.

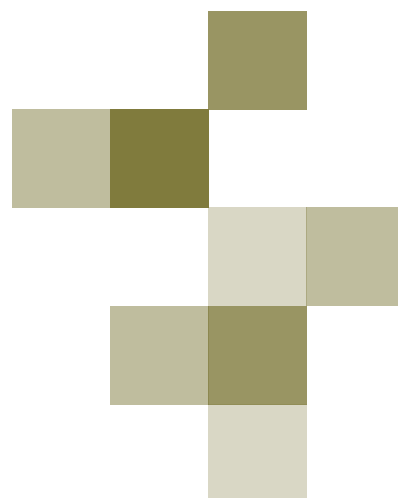
L'encadré ci-dessous détaille les émissions de gaz à effet de serre générées et évitées pour les déchets du service public (déchets des ménages et des collectivités).

L'exemple des déchets du service public

Les ordres de grandeur en termes de contribution aux émissions de gaz à effet de serre sont les suivants¹⁷ :

- les émissions totales générées sont évaluées entre 8,5 et 10 Mteq CO₂, avec :
 - 1,25 Mteq CO₂/an d'émissions générées par les étapes de collecte sélective, en mélange, ou via les déchèteries (1 Mteq CO₂/an) et par les transports (0,25 Mteq CO₂) ;
 - entre 7,2 et 8,7 Mteq CO₂ d'émissions générées par les principaux traitements (0,2 Mteq CO₂ pour la gestion biologique, 4 Mteq CO₂ pour l'incinération* et entre 3 et 4,5 Mteq CO₂ pour le stockage) ;
- les émissions totales évitées sont, quant à elles, évaluées entre 6,8 et 8,3 Mteq CO₂, avec :
 - entre 4,5 à 6 Mteq CO₂ pour le recyclage et la valorisation matière ;
 - 0,1 Mteq CO₂ pour la valorisation organique ;
 - 2,2 Mteq CO₂ par la valorisation énergétique (1,8 Mteq CO₂ pour l'incinération* avec récupération d'énergie et 0,44 Mteq CO₂ pour le biogaz).

** Si le traitement par incinération émet plus de CO₂ qu'il n'en évite, il reste cependant bénéfique sur l'effet de serre en regard des autres modes de traitement possible : les autres solutions (traitement biologique, stockage) conduiraient en effet à des émissions relatives de CO₂ (CO₂ émis moins CO₂ évité) bien plus importantes.*



16 - Bureau of International Recycling, 2008, *Report on the Environmental Benefits of Recycling*.

17 - ADEME, 2009, « Les déchets et l'effet de serre, Eléments de réflexion et d'éclairage ».

Pour réduire son impact sur le réchauffement climatique, la thématique des déchets dispose de trois leviers complémentaires, à savoir :

- la prévention de la production de déchets, notamment dans le cas des procédés industriels,
- la réduction des émissions générées par les dispositifs de gestion de déchets, en optimisant, le cas échéant, les étapes de logistique ou les procédés de traitement des déchets,
- l'augmentation des émissions évitées, en développant et optimisant les valorisations matière et énergétique des déchets. En effet, l'énergie produite par certains dispositifs de gestion des déchets (incinération avec valorisation énergétique, méthanisation...) ou des matières extraites des déchets, obtenues à l'issue des étapes de tri et de récupération, permettent, par substitution, d'éviter le recours à des sources d'énergie « classiques » ou à des procédés de transformation de matières premières vierges.

Les diverses actions sur les déchets peuvent jouer sur plusieurs de ces leviers, mais pas forcément dans le même sens. Dans de tels cas, il importe de s'assurer que globalement, en intégrant toutes les émissions générées et évitées pour l'ensemble des étapes de la gestion des déchets, les actions mises en œuvre permettent d'améliorer le bilan gaz à effet de serre.

La préservation de la santé des hommes, la protection de l'environnement et des écosystèmes

Les activités de collecte, de transport, de recyclage, de valorisation et d'élimination (mise en décharge) des déchets présentent des impacts environnementaux dans des proportions variables sur l'air, l'eau, les sols ou les écosystèmes : rejets aqueux, émissions de particules, d'agents chimiques ou biologiques, nuisances sonores ou olfactives. Les populations potentiellement exposées sont, notamment, les travailleurs et les riverains des installations de traitement et de stockage des déchets. Les écosystèmes peuvent être impactés, par exemple par les pratiques d'épandage de déchets sur les sols.

Par rapport à l'utilisation de matière première vierge, le recyclage contribue à la préservation des ressources naturelles, y compris énergétiques, et présente globalement des bénéfices environnementaux (réductions de la consommation d'eau, des phénomènes d'eutrophisation et de production de déchets non dangereux) comme le montrent les analyses de cycle de vie réalisées filière par filière¹¹.

Les technologies de traitement et d'élimination des déchets actuellement mises en œuvre sont encadrées réglementairement afin de minimiser les émissions et protéger les travailleurs et les populations exposés. L'éco-conception participe également à la réduction des impacts.

L'application du règlement Reach¹⁸, conjuguée aux politiques nationales de prévention, devrait permettre de réduire la production de déchets dangereux. Prévue dans la directive cadre sur les déchets, la sortie du statut de déchets pourrait aussi imposer à certaines matières premières de recyclage de passer dans le système d'enregistrement Reach.

Dans un contexte d'évolution constante des substances et matières utilisées dans les productions industrielles ou agricoles, il convient de poursuivre les travaux d'amélioration des connaissances sur les caractéristiques des déchets, d'anticiper l'évolution des compositions des nouveaux produits et les émissions de polluants, et d'agir en conséquence afin de maîtriser les risques sanitaires et environnementaux liés à ces activités.

18 - Règlement de la commission européenne no 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances.

Feuille de route

Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

La maîtrise des coûts et la croissance de l'emploi

Les coûts de la gestion des déchets ont cru sensiblement ces dernières années en raison de l'augmentation de la production des déchets, de la modernisation des installations de traitement et d'un plus haut niveau de limitation des impacts environnementaux. La dépense nationale de gestion des déchets est évaluée à 14 milliards d'euros en 2008, contre 10 milliards d'euros en 2000¹⁹. Elle comptabilise les investissements et les dépenses courantes. Les investissements, qui représentent 12 % de la dépense totale, diminuent depuis 2006 après une forte croissance liée à la mise en conformité des incinérateurs aux nouvelles normes européennes avant fin 2005. Les dépenses courantes stagnent en 2008 à 12,4 milliards d'euros. Elles se décomposent principalement en gestion des déchets municipaux, d'une part (8 milliards d'euros), et des déchets industriels, d'autre part (4,4 milliards d'euros). Les activités traditionnelles de collecte en mélange n'augmentent plus tandis que la collecte sélective des déchets et les modes de traitement plus respectueux de l'environnement (tri, incinération avec valorisation énergétique) se développent. Quant à la gestion des déchets industriels, le recours à des entreprises spécialisées en est la principale composante (3,2 milliards d'euros des dépenses courantes). Le financement est assuré pour moitié par les entreprises, à 32 % par les ménages et à 18 % par les administrations publiques.

Cette évolution des coûts doit être appréciée au regard des bénéfices environnementaux qu'elle apporte. Cette analyse coûts/bénéfices nécessite d'attribuer une valeur monétaire à l'ensemble des coûts et bénéfices environnementaux²⁰. Le niveau d'internalisation, c'est-à-dire la proportion qui est déjà intégrée dans les prix (taxes, redevances et permis d'émissions compris), doit également être précisé pour les différents effets environnementaux. L'exercice a été réalisé pour le recyclage du verre et de l'aluminium. Une des conclusions est qu'il permettrait des bénéfices environnementaux élevés : entre 140 et 280 millions d'euros pour le verre²¹ et entre 980 et 1 080 millions d'euros pour l'aluminium. Près de la moitié de ces bénéfices pour le verre et des deux tiers pour l'aluminium ne sont pas internalisés. Dans cet exemple, les coûts du recyclage sont donc largement couverts par les bénéfices.

En 2010, le nombre total d'emplois, publics et privés, dans le secteur des déchets, hors agriculture, sylviculture, construction et BTP, est évalué à environ 128 000 (source : ministère de l'Ecologie), réparties de la façon suivante :

- 86 000 emplois dans la collecte ;
- 34 000 emplois dans la valorisation matière ;
- 8 000 emplois dans les valorisations énergétique, agronomique et dans l'élimination.

L'évolution moyenne annuelle est évaluée à + 3,3 % par an sur la période 2004-2008. La plus forte progression est observée dans le recyclage avec, depuis 2002, + 5 % par an²².

Les emplois liés aux activités déchets du BTP (démolition, tri et valorisation) sont estimés à environ 13 000 (source : ADEME, d'après les données du Syndicat national des entreprises de démolition et du Syndicat des recycleurs du BTP).

La maîtrise des coûts passe par une juste utilisation de procédés techniques performants et par des objectifs de performances environnementales optimisant le ratio coûts/bénéfices. L'amélioration des impacts environnementaux, notamment par le recyclage, génère des bénéfices dont la monétarisation laisse entrevoir une large possibilité de développement. Il convient de prendre en compte la capacité de la société à absorber les coûts supplémentaires alors même que les externalités n'ont pas de conséquences économiques directes et immédiates. Pour cela, des instruments économiques spécifiques sont à développer.

Dans un contexte où les exigences de dépollution et de limitation des impacts environnementaux augmentent, la croissance de l'emploi généré par le recyclage et la valorisation des déchets se fait par :

- une augmentation des tonnages des déchets traités ;
- une augmentation de la technicité ;
- une amélioration de la valeur d'usage de la matière première recyclée.

19 - Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, Service de l'observation et des statistiques, *Chiffres & Statistiques* n° 91, décembre 2009.

20 - Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, 2007, « Monétarisation des impacts environnementaux liés au recyclage, Guide méthodologique et applications ».

21 - Hypothèses : entre 60 et 120 €/t pour le verre avec 2,365 millions de tonnes recyclées en 2008 et entre 2 100 et 2 300 €/t pour l'aluminium avec un peu plus d'un million de tonnes recyclées en 2008.

22 - Ministère de l'Economie, de l'Industrie et de l'Emploi, décembre 2008, « Développer les éco-industries en France », rapport de synthèse réalisé par le Boston Consulting Group.

Le développement industriel des filières

La collecte, le tri, le recyclage et la valorisation des déchets offrent un certain nombre d'opportunités de développement industriel dont les principales tendances et ordres de grandeur sont présentés ici.

Le soutien à l'innovation technologique et organisationnelle est un facteur clé de réussite pour renforcer la compétitivité des entreprises françaises et favoriser l'accès à de nouveaux marchés aussi bien sur le territoire national qu'à l'export : gains de productivité, maîtrise du coût en main d'œuvre, développement de capacités de traitement de flux de plus en plus complexes et de nouveaux flux, introduction accrue de matières premières de recyclage dans l'industrie.

Les démonstrateurs de recherche, les plates-formes technologiques (voir encadrés ci-contre) et les expérimentations préindustrielles qui répondront aux besoins de recherche et développement identifiés dans cette feuille de route contribueront à soutenir ce développement industriel.

Démonstrateur de recherche

Le stade de démonstrateur de recherche vise à expérimenter une option technologique dans des conditions réelles de fonctionnement. Le choix de l'échelle du démonstrateur permet de passer du stade du laboratoire à une taille permettant de valider les technologies à l'échelle prévue pour l'industrialisation. Le démonstrateur ne peut être exploité à des fins commerciales. La commercialisation de la technologie est souvent envisagée à long terme. Compte tenu des échéances de marché des technologies et des risques techniques et économiques, les subventions à la recherche et au développement, complétées, le cas échéant, par d'autres modes d'intervention (avances remboursables, acquisition de droits de propriété intellectuelle, prêts, prises de participation...) sont les plus adaptées à ce stade des projets.

Plate-forme technologique d'essais

Dans nombre de domaines techniques, l'expérimentation des technologies suppose des moyens d'essais adossés à des compétences dédiées. Ceux-ci peuvent être mutualisés entre différents porteurs de technologies, notamment afin d'en minimiser les coûts. Ces dispositifs pourront être pris en charge dans le cadre des programmes d'investissements d'avenir sous forme d'aides à l'équipement nécessaire aux essais (dispositifs de raccordement électrique pour énergies renouvelables, plates-formes industrielles collectives portées par une entreprise ou un centre technique, etc...). En revanche, ces aides n'ont pas vocation à soutenir des équipes de recherche pérennes ou des infrastructures immobilières. Les aides pourront se concrétiser par des subventions, des prises de participation, des droits sur la propriété intellectuelle générée, des prêts ou des avances remboursables.

La principale évolution attendue dans les années à venir est le passage d'un recyclage pondéreux (de matières massives telles que les gravats, les déchets de chantiers...), peu coûteux en traitement, à un recyclage à forte intensité technologique et humaine. En d'autres termes, pour les filières actuelles de gestion de déchets, le ratio « emploi par tonne » devrait continuer de baisser, pour devenir inférieur ou égal à 1 emploi pour 1 000 tonnes, et il sera malgré tout compensé par l'augmentation des volumes collectés, triés et valorisés. Pour les nouvelles filières à forte intensité technologique et humaine, le ratio « emploi par tonne » devrait se maintenir à des niveaux élevés (> 3 emplois pour 1 000 tonnes) avec également une augmentation significative des volumes collectés et valorisés, ce qui aura un effet multiplicateur sur la croissance de l'emploi.

Un certain nombre de filières disposent aujourd'hui d'un important potentiel de développement compte tenu des volumes mobilisables et/ou de la valeur ajoutée de leur valorisation. C'est notamment le cas des métaux stratégiques, des polymères et élastomères, des déchets de la construction et du BTP ou des déchets de l'agriculture et de l'industrie agroalimentaire... Ces filières sont identifiées dans les technologies clés de l'environnement²³ comme des relais significatifs de croissance et devraient apporter une contribution majeure pour atteindre les objectifs ambitieux de valorisation fixés dans les politiques publiques.

23 - Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, 2011, « Technologies clés 2015 ».

Feuille de route

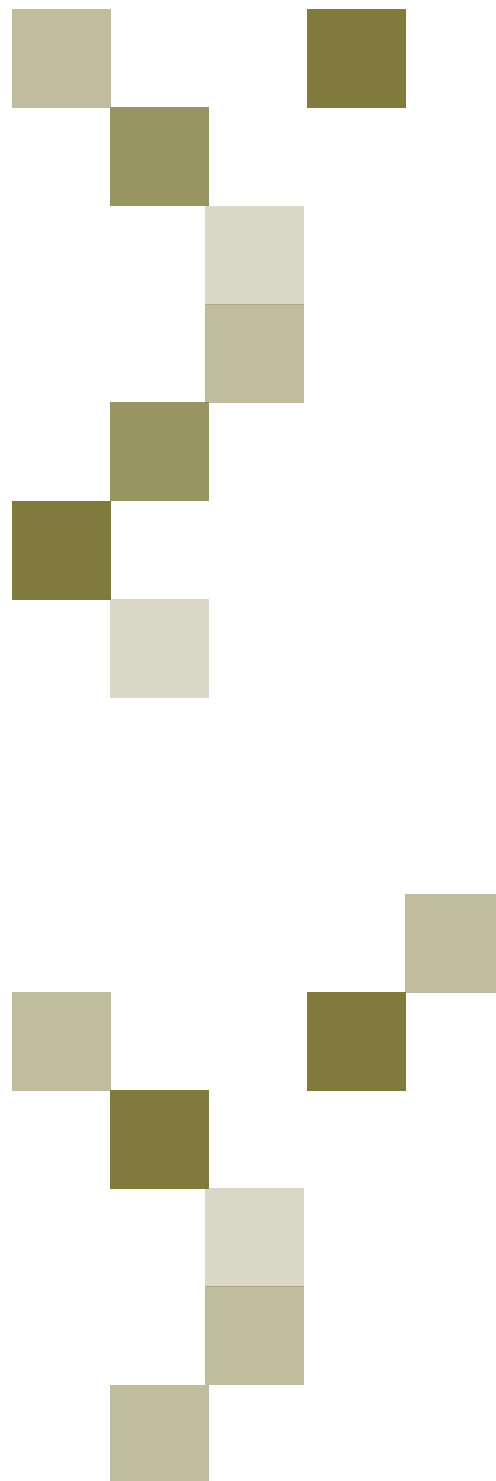
Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

On peut noter, dans certains cas, que le développement industriel d'acteurs peut se trouver confronté, voire freiné, par des positions dominantes d'offres de service, de donneurs d'ordres ou de secteurs industriels des matières. Néanmoins, ces positions dominantes peuvent aussi avoir une influence favorable par la concentration des flux permettant le développement du marché ou d'avoir une assise suffisante pour accéder aux marchés internationaux.

L'activité des équipementiers, si elle est aujourd'hui dominée par des acteurs étrangers (allemands, italiens, scandinaves...), est amenée à connaître un développement très important, aussi bien sur l'amont (accès à la matière) que sur l'aval (contrôle qualité, mesure de composition en continu et connaissance des matières produites). De nouvelles technologies à haute valeur ajoutée, mettant en œuvre de nombreux équipementiers mis en réseau, sont nécessaires pour s'adapter à des flux spécifiques, augmenter les rendements de production de matières de qualité et le cas échéant en extraire des produits polluants (décontamination), des pièces de réemploi, avant ou après broyage.

Au niveau industriel, la mise en œuvre de matière première de recyclage et l'adaptation des procédés de production sont des axes majeurs de développement de l'économie circulaire qui ont un impact direct significatif sur les volumes de déchets valorisés.

La France dispose donc aujourd'hui d'acteurs industriels leaders dans leurs domaines, des TPE-PME aux grands groupes, de centres techniques, de structures académiques et aussi de pôles de compétitivité de premier plan dans le domaine de la collecte, du tri, du recyclage et de la valorisation des déchets. Il importe que leur regroupement et la mise en commun de leurs compétences autour de projets ambitieux de recherche et développement contribuent désormais à développer positivement l'activité industrielle et l'économie circulaire, en France et à l'export.



> 3. Les visions

Les visions de long terme établies dans le cadre de cette feuille de route ont vocation à décrire, à traits grossiers, des situations de collecte, de tri, de recyclage et de valorisation des déchets à l'horizon 2050 par rapport à la situation actuelle.

Elles n'ont pas la prétention de décrire ce que sera la réalité à l'horizon 2050, mais plutôt de définir le champ des possibles pour ensuite en déduire un large ensemble de verrous, de priorités de recherche et de besoins de démonstrateurs de recherche associés à la réalisation de ces visions de long terme. La réalité sera très probablement une combinaison des visions 2050.

Une vision de moyen terme, à l'horizon 2020, est également introduite à la fin du chapitre, afin de décrire la manière dont se traduirait la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement et des directives européennes qui fixent des objectifs chiffrés à atteindre sur la période 2015-2020. Cette vision 2020 constitue un point de passage, strictement réglementaire, avant d'accéder aux différentes visions de long terme.

Les visions à l'horizon 2050

La construction de scénarios à long terme repose sur l'identification de paramètres clés, des variables dont on sait que leur évolution contrastée aboutira à des visions radicalement différentes. Ces scénarios ayant notamment vocation à éclairer les décideurs, le choix a été fait de limiter le nombre de paramètres clés et le nombre de visions qui en découlent.

Ces paramètres clés ne prétendent pas à l'exhaustivité, mais visent plutôt à mettre en avant les quelques variables qui, pour le groupe d'experts, seront de nature à infléchir significativement la collecte, le tri, le recyclage et la valorisation des déchets à l'horizon 2050.

La construction d'un maximum de quatre visions est un exercice conceptuel qui s'affranchit délibérément de choix d'orientations stratégiques ou de la définition d'objectifs prioritaires.

Les experts ont mis en exergue l'intensité et la nature de la régulation publique au niveau européen comme un paramètre structurant et pertinent pour construire des scénarios à long terme. Une intensité forte se traduit par une mise en œuvre de tous les mécanismes possibles de régulation et d'incitation par les différentes autorités publiques (locales, nationales et européennes). À l'inverse, une intensité faible se traduit par l'absence d'intervention publique et une organisation autonome des acteurs. La nature de la régulation publique porte sur les déchets, mais aussi sur le climat (réglementation, taxation, REP...). Elle est complémentaire à l'intensité et, selon le mécanisme choisi, influence les conditions de gestion des déchets.

D'autre part, en étudiant l'économie circulaire, l'autre paramètre déterminant identifié concerne les tensions dans les pays émergents entre l'offre et la demande en matières premières, y compris énergétiques. Sont visées notamment la Chine, mais aussi probablement certains pays d'Afrique en fonction de leur niveau de développement en 2050. Ces tensions, dont l'origine est externe au périmètre de la feuille de route, exercent une pression plus ou moins importante sur l'économie circulaire au niveau européen. On attend dans ces régions une augmentation significative des besoins en matières premières afin de satisfaire leur marché intérieur. Des tensions fortes se traduisent dans ces pays émergents par une offre limitée, le besoin de maîtriser la demande en matières premières ou en énergies fossiles et de sécuriser les approvisionnements, notamment en important des déchets des pays développés, d'Europe en particulier. À l'inverse, une tension faible se traduit par une offre de matières premières vierges ou de recyclage répondant à la demande des pays émergents, voire excédentaire par rapport à une demande qui peut être faible voire nulle dans certains cas (exemple de la matière organique).

Feuille de route

Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

Les quatre visions à l'horizon 2050

	Intensité et nature de la régulation publique, niveau européen		
		Faible régulation publique	Forte régulation publique
Tensions entre offre et demande en matières premières, y compris énergétiques, dans les pays émergents	Faibles tensions	Vision 1 : le recyclage localisé dans les pays émergents, dans un nouvel ordre économique mondial harmonisé	Vision 2 : la politique commune européenne des matières premières
	Fortes tensions	Vision 3 : la circulation à sens unique des matières premières	Vision 4 : la réponse proactive européenne

Vision 1 : le recyclage localisé dans les pays émergents, dans un nouvel ordre économique mondial harmonisé

Dans cette vision, il n'existe pas de tension dans les pays émergents entre l'offre et la demande de matières premières (y compris énergétiques) et l'Europe ne met pas en place de régulation publique spécifique.

L'industrie européenne s'approvisionne en matières premières vierges et de recyclage sur le marché mondial, où l'offre est abondante. Les matières premières de recyclage sont disponibles au moindre coût (par rapport aux autres visions) dans un contexte d'économie mondialisée dépourvu de tension.

L'absence de tension entre offre et demande dans les pays émergents, malgré une pression vraisemblable du côté de leur demande intérieure, s'explique par un nouvel ordre économique mondial harmonisé et caractérisé dans ces pays par :

- une offre de matières premières vierges abondante, accessible et disponible ;
- des offres alternatives (matières premières de recyclage, énergie issue de déchets) développées quand les matières premières vierges ont des stocks limités ;
- des sécurisations d'approvisionnements au niveau international.

Les activités nationales de collecte, tri et récupération sont réduites à quelques filières rentables économiquement et l'Europe assiste à une prédominance du recyclage localisé dans les pays émergents.

En Europe, le développement de l'économie circulaire est partiel et contrasté selon les matières : important pour certaines matières à forte valeur ajoutée disponibles sur le marché mondial, faible pour les déchets à valeur ajoutée limitée ou négative, tels que certains déchets issus de l'agriculture ou du BTP.

Vision 2 : la politique commune européenne des matières premières

Comme dans la vision 1, il n'existe pas de tension dans les pays émergents entre l'offre et la demande de matières premières. Malgré tout, l'Europe met en place une importante régulation publique, aussi bien en nature, par la diversité des mécanismes mis en œuvre, qu'en intensité, par le choix de réguler au degré le plus élevé possible. C'est le choix d'une société qui a pris un haut degré de conscience environnementale sur les déchets comme sur le climat et est prête à s'orienter vers un mode de consommation construit autour d'une économie circulaire.

Des politiques ambitieuses de prévention, d'éco-conception et de lutte contre le changement climatique sont mises en œuvre à destination des ménages et des acteurs économiques.

Les activités de collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets sont également développées à leur maximum technique, pour chaque type de déchets, de l'échelle locale pour ceux issus de l'agriculture ou du BTP à l'échelle européenne pour les matières stratégiques.

L'Europe, en créant artificiellement des stocks de matières premières de recyclage du fait de l'importante régulation mise en œuvre, améliore ainsi sa sécurité d'approvisionnement en matières premières et se prémunit contre d'éventuelles tensions sur les cours de certaines matières importées.

Vision 3 : la circulation à sens unique des matières premières

A la différence des deux visions précédentes, il existe une forte tension dans les pays émergents entre l'offre et la demande de matières premières. Néanmoins, l'Europe ne met pas en place de régulation publique spécifique.

La forte tension entre l'offre et la demande s'explique par la conjugaison :

- d'une demande forte ;
- d'une offre peu disponible et/ou accessible, non sécurisée ;
- d'offres alternatives (matières premières de recyclage, énergie issue de déchets) insuffisamment développées.

Cela a pour conséquence de provoquer un effet d'aspiration, par les pays émergents, des principaux flux européens de déchets et de matières premières de recyclage, à l'exception des matières pondéreuses, comme les déchets du BTP et la matière organique. Cette concentration contribue à des cours mondiaux de matières premières très élevés.

Pour des raisons économiques, le recyclage est développé quasi exclusivement dans les pays émergents.

L'activité économique est fragilisée en Europe par l'absence de garantie sur les approvisionnements et la très forte volatilité des prix des matières premières. Les quelques activités d'économie circulaire sont limitées à des secteurs économiquement rentables avec des matières premières à forte valeur ajoutée.

Vision 4 : la réponse proactive européenne

Comme dans la vision 3, il existe une forte tension dans les pays émergents entre l'offre et la demande de matières premières, avec un effet d'aspiration des flux européens de déchets et de matières premières de recyclage. Le cours mondial des matières premières est très élevé, avec une très forte volatilité.

Comme dans la vision 2, l'Europe met en place une régulation publique importante, en nature comme en diversité, pour orienter ses choix de société vers une économie circulaire, grâce à un haut niveau de conscience environnementale.

L'activité européenne de la collecte, du tri, du recyclage et de la valorisation des déchets est alors animée par deux moteurs : la régulation et l'économie. Sous l'effet de la régulation publique et contraint par la demande forte exercée par les pays émergents, l'économie circulaire européenne est orientée vers :

- les stocks de matières stratégiques, à des fins de sécurisation des approvisionnements ;
- la prévention et l'éco-conception à destination des ménages et des acteurs économiques ;
- la gestion locale des déchets organiques et du BTP ;
- le recyclage, très développé, de l'ensemble des matières ;
- le marché des matières premières de recyclage, actif dans la zone Europe, avec une forte consommation intérieure.

Feuille de route

Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

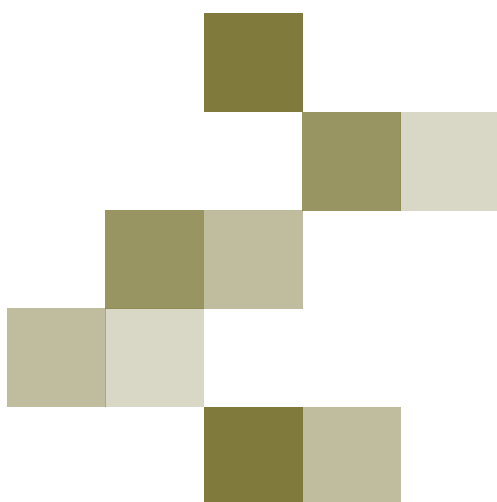
La vision de moyen terme à 2020

Comment se traduisent les objectifs du Grenelle de l'environnement et des directives européennes sur la période 2015-2020 ?

Les objectifs convergent vers une réduction de la production de déchets, une augmentation des taux de collecte et de recyclage des matières et produits hors d'usage, une amélioration de la valorisation énergétique et une réduction globale de quantités de déchets partant en incinération ou en stockage. La hiérarchie des modes de traitement des déchets, inscrite dans la réglementation actuelle²⁴, privilégie dans l'ordre : la préparation en vue de la réutilisation, le recyclage, toute autre valorisation, notamment la valorisation énergétique, et, enfin, l'élimination. Conformément à la loi Grenelle 1²⁵, la France atteint ses objectifs fixés à 2012, à savoir :

- 75 % des emballages ménagers et des déchets banals des entreprises (hors bâtiment et travaux publics, agriculture, industries agroalimentaires et activités spécifiques) sont recyclés ;
- les quantités de déchets partant en incinération ou en stockage sont réduites de 15 % par rapport à 2009.

En 2015, les véhicules hors d'usage sont réutilisés ou recyclés à 85 % (contre 79,5 % en 2008 en France) et réutilisés ou valorisés à 95 % (contre 81 % en France en 2008)²⁶. Cette même année, le taux de recyclage matière et organique des déchets ménagers et assimilés est de 45 %.



En 2016, les piles et accumulateurs sont collectés à 45 % avec un rendement minimum de recyclage, qui, par exemple, varie entre 50 et 75 % pour les piles et accumulateurs nickel cadmium²⁷. Cette même année, les DEEE ménagers et professionnels sont collectés à 65 %, réutilisés et recyclés à un taux compris entre 50 et 80 % (selon les différents DEEE), et valorisés à un taux compris entre 70 et 80 %²⁸.

La réglementation thermique 2012 a permis de réduire la consommation d'énergie primaire des bâtiments de 150 milliards de kilowattheures entre 2013 et 2020 via d'importants travaux de rénovation des logements. Elle induit néanmoins une augmentation de la production de certains déchets (isolants, verre plat, produits de finition, menuiseries...) et une modification importante de la typologie des déchets.

En 2020, le papier, le métal, le verre, le plastique contenus dans les déchets ménagers et, éventuellement, dans les déchets d'autres origines, pour autant que ces flux de déchets soient assimilés aux déchets ménagers, sont préparés en vue de leur réemploi ou recyclés à 50 %. Les déchets de construction et de démolition sont préparés à 70 %²⁹.

Dans une vision prospective de plus long terme à l'horizon 2050, la période 2015-2020 est à considérer comme une étape de consolidation des filières traditionnelles selon un scénario de type tendanciel, mais aussi de transition indispensable vers un nouveau mode d'organisation d'économie circulaire. En effet, la poursuite, au-delà de 2020, de la politique actuelle concernant les déchets conduirait à atteindre des asymptotes pour les taux de collecte, de recyclage et de valorisation énergétique, comme cela s'observe déjà pour certaines filières. Les derniers pourcentages seraient durement gagnés avec les systèmes organisationnels et les technologies actuelles, pour des coûts élevés, des consommations énergétiques vraisemblablement importantes et des bénéfices environnementaux incertains.



24 - Ordonnance n° 2010-1579 du 17/12/10 portant diverses dispositions d'adaptation au droit de l'Union européenne dans le domaine des déchets (JO n° 293 du 18 décembre 2010).

25 - Loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement du 3 août 2009 (article 46).

26 - Directive européenne 2000/53/CE sur les VHU.

27 - Directive européenne 2006/66/CE sur les piles et accumulateurs.

28 - Directive européenne sur les DEEE en cours de révision.

29 - Directive européenne 2008/98/CE du 19 novembre 2008 relative aux déchets.

> 4. Les verrous

Les verrous sont les éléments qui empêchent d'atteindre les visions définies précédemment. Ils sont de nature technologique, économique, sociologique ou réglementaire et peuvent apparaître séparément ou conjointement. Six familles de verrous ont été identifiées.

Les verrous technologiques

Verrou V1.1 : capacité des équipements, des procédés et techniques de démantèlement, déchiquetage, broyage, tri, préparation et transformation de la matière à :

- détecter et séparer les matières avec une cadence élevée ;
- être flexibles et à s'adapter au rythme de l'apparition de nouveaux produits et de nouvelles matières ;
- fabriquer des matières premières de recyclage de qualité et selon un optimum technico-économique.

Ces procédés et techniques sont déterminants pour orienter les flux vers les filières les plus pertinentes, garantir dans le temps la régularité et la qualité des gisements de matières premières de recyclage, préserver la valeur de la matière première et atteindre des prescriptions techniques de plus en plus sévères.

Verrou V1.2 : capacité des équipements, procédés et techniques de recyclage à :

- substituer des matières vierges par des matières recyclées. Certains procédés et équipements industriels sont en effet conçus pour fonctionner exclusivement avec de la matière première vierge et ne permettent pas d'utiliser des matières premières de recyclage ;
- fabriquer des produits innovants à base de matières recyclées pour de nouvelles applications ;
- extraire des substances, contaminants, polluants, additifs... à partir de déchets.

Verrou V1.3 : performance des équipements, procédés et techniques de valorisation énergétique des déchets :

- efficacité énergétique de solutions techniques combinant des traitements thermiques, des déchets ou des combustibles de recyclage ;
- efficacité des techniques d'utilisation du biogaz et d'amélioration de la qualité du biogaz.

Verrou V1.4 : procédés innovants de production d'énergie et de biocarburants à partir de déchets.

Les verrous liés à la caractérisation des gisements de déchets et des matières

Verrou V2.1 : connaissance fine en temps réel de la composition des mélanges de déchets, des déchets eux-mêmes et des matières premières de recyclage (différentes matières organiques, métaux stratégiques, alliages...), de leur teneur en polluants et contaminants, en carbone biogénique³⁰ et de leur valeur énergétique ; métrologie associée à ces caractérisations.

Verrou V2.2 : anticipation de la composition des gisements de déchets à plus ou moins long terme.

Les verrous liés à la logistique et à la traçabilité

Verrou V3.1 : capacité de la collecte à mobiliser des gisements de déchets en mélange et de déchets diffus (compte tenu des hétérogénéités géographiques, saisonnières, intrinsèques...) et à maîtriser la qualité des matières en vue de la satisfaction des besoins des maillons aval des filières.

Verrou V3.2 : traçabilité des matières et des substances tout au long des filières (matières spécifiques, agents chimiques ou biologiques dangereux, nanomatériaux...).

30 - Le carbone biogénique est considéré ici comme le carbone d'origine biologique (biomasse, bois, papier...) par opposition au carbone d'origine fossile (charbon, pétrole...).

Feuille de route

Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

Les verrous économiques, politiques, réglementaires et liés à l'organisation des acteurs

Verrou V4.1 : connaissances des effets des politiques publiques et des instruments associés sur l'économie du recyclage, connaissances des mécanismes de marché, des modèles économiques innovants.

Verrou V4.2 : coûts significatifs de collecte et de précollecte et faible rentabilité de concentration de matières diffuses, volatilité des prix des matières premières et de l'énergie. De fait, les externalités environnementales sont prises en compte de manière incomplète dans les échanges économiques de matières et pour les arbitrages entre valorisation énergétique et recyclage matière.

Verrou V4.3 : manque de visibilité des opérateurs, compte tenu de la volatilité des prix des matières premières et de l'énergie, et manque d'instruments économiques (instruments de couverture, certificats de recyclage, etc...) pour gérer cette volatilité.

Verrou V4.4 : capacité de coopération des acteurs de la chaîne de valeur dans le cadre de filières industrielles, notamment pour les filières émergentes ; difficulté d'amorcer une filière pour un nouveau gisement de déchets sans, a priori, de demande spontanée ; absence d'utilisateurs de matières premières dans le périmètre géographique du gisement pour les matières à faible valeur ou pondéreuses ; taille critique de certains acteurs conjuguée parfois à l'insuffisance de l'activité économique, qui limite leur capacité à investir en recherche et développement.

Verrou V4.5 : existence de dispositifs réglementaires et juridiques non justifiés par les enjeux environnementaux, concernant les matières premières de recyclage et les combustibles issus de déchets ; dispositifs incitatifs insuffisants ; contrôle douanier insuffisant ; transport international et circulation de flux inappropriés.

Verrou V4.6 : disponibilité des capacités des installations de stockage de déchets conjuguée à l'absence de demande significative de matière première de recyclage. Ce point est un verrou au développement du recyclage à court terme. A long terme, la pression exercée par la faible disponibilité des matières premières vierges devrait favoriser le développement des matières premières de recyclage.

Les verrous sociologiques

Verrou V5.1 : adaptation aux changements économiques liés à l'apparition et à la disparition d'activités économiques. Le déficit d'image positive auprès du grand public et des industriels consommateurs de ces produits est préjudiciable à l'activité du secteur et à son développement.

Verrou V5.2 : changements des comportements, acceptabilité des matières recyclées et des produits innovants à base de matières recyclées, acceptabilité de la gestion domestique des déchets pour les ménages.

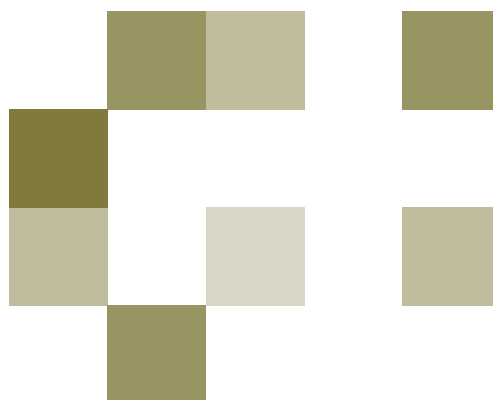
Verrou V5.3 : situations conflictuelles liées aux impacts environnementaux et sanitaires, réels et perçus, des installations industrielles de tri et recyclage.

Les verrous liés aux impacts environnementaux et sanitaires

Verrou V6.1 : connaissance approfondie des impacts environnementaux du recyclage des déchets sur le réchauffement climatique.

Verrou V6.2 : connaissance des impacts locaux environnementaux et sanitaires et des risques professionnels.

Verrou V6.3 : outils et méthodes d'évaluation et de surveillance des impacts.



> 5. Les besoins prioritaires de recherche et développement

Ce chapitre identifie les besoins prioritaires de travaux de recherche et développement afin de lever les verrous précédemment identifiés, conformément aux enjeux évoqués. Il concerne les quatre phases successives de recherche et développement, à savoir : la recherche fondamentale ou en connaissances nouvelles, la recherche industrielle, le développement expérimental et enfin l'expérimentation préindustrielle (voir Annexe).

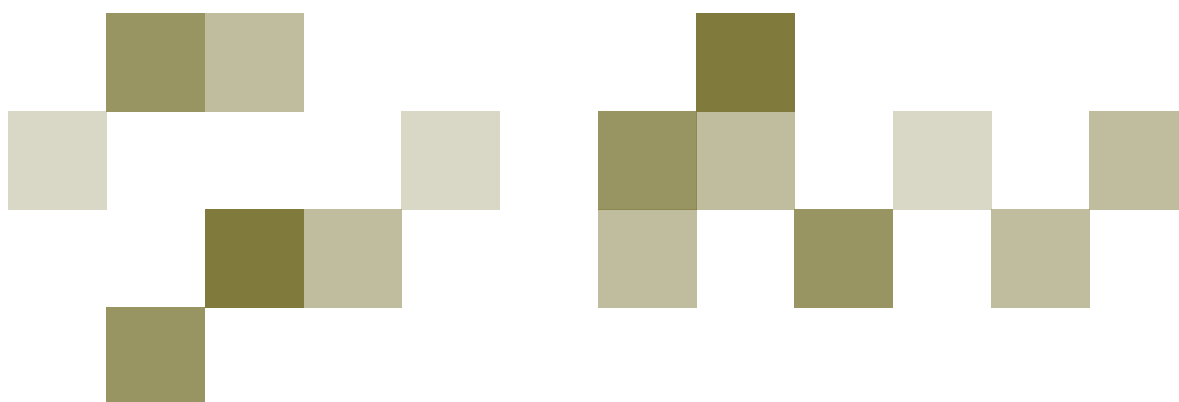
Les activités liées à la valorisation matière et énergétique des déchets s'intègrent dans un système de valeur composé de l'ensemble des chaînes de valeur des entreprises parties prenantes, de la collecte des déchets jusqu'à la production de biens, de services ou d'énergies. La création de valeur pour les entreprises et pour l'ensemble du système peut être optimisée en agissant sur les activités principales, du tri jusqu'à la mise en œuvre de la matière, et sur les activités connexes, telles que l'acquisition de connaissances sur les matières, la logistique, la commercialisation et les services associés à la production de matières recyclées et d'énergies. La R&D en connaissances nouvelles et les innovations technologiques et organisationnelles sont des leviers d'optimisation de la valeur au niveau de ces différentes activités. La création de valeur pour la société, hormis le développement des emplois, implique la minimisation des impacts sanitaires et environnementaux de ces activités économiques. Le développement de filières à l'échelle européenne dépend également du contexte des politiques publiques, des modes de régulation, des marchés ainsi que des agents économiques.

Ce cadre d'analyse conduit à définir six axes de recherche et d'innovation :

- **axe 1 : tri et préparation des matières et des produits usagés,**
- **axe 2 : transformation et mise en œuvre de la matière et des produits usagés,**
- **axe 3 : caractérisation des déchets et des matières et métrologie,**
- **axe 4 : optimisation de la chaîne de valeur des filières,**
- **axe 5 : politiques publiques, marchés et acteurs,**
- **Axe 6 : impacts environnementaux et sanitaires.**

Les axes 1 et 2 sont essentiellement technologiques et couvrent l'ensemble des chaînes de valorisation matière, agronomique ou énergétique. Les innovations technologiques peuvent correspondre à des nouvelles technologies, des combinaisons de technologies existantes ou encore au transfert de technologies vers les déchets d'autres domaines d'application.

Le groupe d'experts n'identifie pas de besoins technologiques prioritaires de R&D spécifique à la collecte des déchets. Ils sont abordés dans l'axe 3, transversal, de la collecte des déchets à leur valorisation ultime.



Feuille de route

Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

Axe 1 : tri et préparation des matières et des produits usagés

Les activités de recherche et développement sur les procédés et les technologies de tri et de préparation de la matière sont nécessaires en vue d'augmenter et de régulariser les flux et d'optimiser la qualité des matières recyclées, tout en diminuant la quantité de refus non valorisés, notamment sur :

- **les procédés de démantèlement** (démontage et dépollution) adaptés aux différentes catégories de produits usagés (équipements électriques et électroniques, véhicules hors d'usage, pneus usagés, ameublement, déchets du bâtiment et des travaux publics...) ;
- **les techniques de déchiquetage et de broyage ;**
- **l'association de technologies de tri automatique de matières en mélange** permettant l'identification, l'extraction et/ou la séparation des matières ;
- **l'intégration des nouvelles technologies de l'information** (capteurs, traitement du signal, logiciels de traitement de l'information...) dans les procédés de tri et de préparation de la matière ;
- **tout autre procédé de préparation des déchets en vue de leur transformation en substances**, matières ou produits destinés à être valorisés ;
- **les procédés de préparation avant réutilisation des produits usagés.**

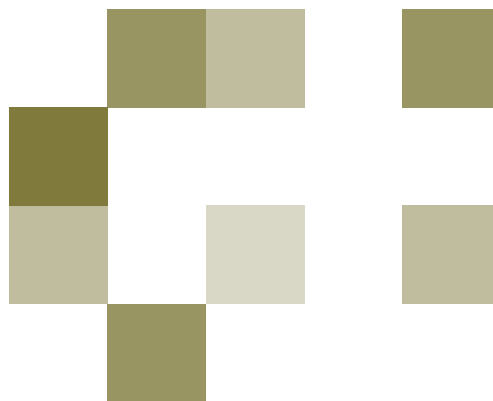
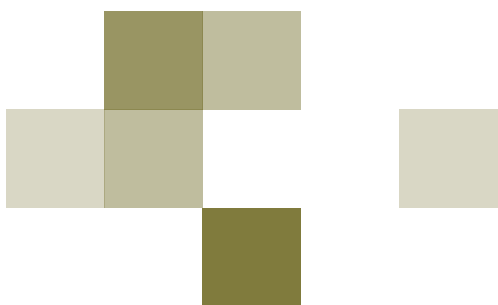
Les technologies répondront aux besoins de systèmes à très haut débit et de contrôle de qualité en temps réel.

Des produits de longue vie (laine de verre, plâtre, gros électroménager...) se retrouvent désormais dans le circuit des déchets alors que les filières ou technologies de recyclage n'ont pas été pensées et/ou que ces déchets contiennent des substances aujourd'hui interdites.

Les technologies doivent évoluer au fur et à mesure de l'apparition de nouvelles solutions techniques de production de biens de consommation, en l'occurrence liées à la substitution de matières (exemple : différentes générations de batteries pour les téléphones mobiles). Elles doivent suivre le rythme de pénétration rapide sur les marchés des nouveaux biens et de leur durée de vie de plus en plus courte.

Les procédés doivent pouvoir s'adapter à **des matériaux de plus en plus complexes au sein de composants miniaturisés** : matériaux composites (matrice métallique, céramique ou en résine polymère renforcée par des fibres de verre, de carbone...), matériaux hybrides, nanomatériaux (nanomatériaux hybrides artificiels...), matériaux avancés adaptatifs dits « intelligents » (alliages métalliques à mémoire de forme, alliages superplastiques, quasi-cristaux, alliages amorphes).

Des procédés sont aussi requis pour la préparation et la transformation des **biomatériaux produits à partir de biomasse**, qui se développeront dans les matériaux de construction, les composites pour l'automobile et l'aérospatiale, les membranes de pointe, les textiles industriels, le matériel d'emballage, etc...



Axe 2 : transformation et mise en œuvre de la matière et des produits usagés

Axe 2.1 Valorisation des substances et des matières

Trois types de recyclage peuvent être distingués :

1. le recyclage en boucle fermée : utilisation de la matière de recyclage pour un usage et une destination identiques ;
2. le recyclage en boucle ouverte : utilisation de la matière de recyclage pour une destination différente, mais en substitution d'une matière première vierge ;
3. la valorisation matière : utilisation d'une matière de recyclage pour un produit qui n'aurait pas été fabriqué à partir de matière vierge.

D'une manière générale, le recyclage peut affecter les propriétés mécaniques, rhéologiques, de couleur, d'aspect et/ou d'odeur. Il s'agit donc d'orienter les efforts de recherche relative à la mise en œuvre de la matière première de recyclage principalement autour des axes suivants :

- **conférer plus de valeur aux matières premières de recyclage en développant de nouveaux procédés de transformation de la matière et des produits usagés :**
 - > adapter et conforter les procédés de production dans des domaines d'application existants pour intégrer plus de matières premières de recyclage et améliorer la qualité des produits (pas de rupture technologique) ;
 - > développer des procédés de mise en œuvre des matières premières de recyclage pour élargir les domaines d'application et pour produire de nouveaux produits (rupture technologique) ;
 - > approfondir la connaissance des relations entre performance et propriétés des produits à base de matière première recyclée ;
- **développer de nouveaux produits, matières ou substances à partir de matières recyclées pour de nouveaux marchés.** Ces innovations peuvent être motivées, d'une part, par le fait d'atteindre des spécificités qui ne pourraient pas être obtenues à partir de matière première vierge et, d'autre part, par l'absence d'objectif en termes de qualité.

Axe 2.2 Valorisation des matières organiques

Le retour au sol des matières organiques provenant de déchets est une voie majeure de valorisation, y compris à l'issue de filières énergétiques, comme la méthanisation, et au travers de la valorisation agronomique des digestats et composts.

La R&D est nécessaire sur les **procédés de traitement biologique** (méthanisation, compostage), en vue d'augmenter et régulariser les flux, d'optimiser la qualité de la matière produite, y compris énergétique, tout en diminuant la quantité de refus non valorisés.

De nouveaux besoins en matériels d'équipement émergent de la recherche d'usages potentiels des matières organiques exogènes autres qu'agricoles. Les zones concernées montrent des besoins en matière organique pour reconstituer les sols, mais leurs accès, souvent difficiles (pentes fortes, nombreux obstacles...), sont souvent un frein à l'épandage et nécessitent des équipements adaptés.

De nouvelles techniques d'extraction de substances à partir de matières organiques répondant à des besoins d'usage à forte valeur ajoutée sont aussi à développer (par exemple, l'extraction de composés aromatiques).

Axe 2.3 Valorisation énergétique des déchets

La recherche relative à la valorisation énergétique s'oriente principalement autour du développement :

- **de technologies adaptées aux combustibles solides de récupération ;**
- **de nouveaux procédés thermiques** qui doivent démontrer une efficacité énergétique optimisée ;
- de la **méthanisation des déchets organiques et de la production de biogaz**, avec un souci d'améliorer le bilan énergétique et environnemental de la filière ;
- **de technologies visant à valoriser le biogaz et la chaleur fatale** (moteurs, turbines, cycles combinés...), **de leur optimisation** ainsi que de technologies visant à **améliorer la qualité du biogaz** issu des déchets, en l'épurant de ses composés traces, en fonction de son usage futur (biogaz carburant, injection dans les réseaux, production d'électricité ou de chaleur...) ;
- **de nouveaux procédés de production d'énergie** à partir des déchets (ex : production d'hydrogène pour les piles à combustible) ;
- de procédés de **production de biocarburants avancés** à partir de déchets ménagers, de déchets industriels et de déchets agricoles.

Axe 3 : caractérisation des déchets et des matières et métrologie

La caractérisation des matières est nécessaire, de la collecte des déchets jusqu'à la valorisation ultime des matières, afin de bien adapter les équipements de traitement à la nature et aux volumes de flux, d'orienter les flux vers les filières adéquates de valorisation, d'extraire les polluants, de « tracer » les substances et les matières et d'évaluer l'impact de la valorisation des déchets sur l'environnement et la santé humaine.

Une attention particulière sera portée, notamment :

- à la **valeur énergétique des matières**, en particulier pour les flux de nature hétérogène, afin d'améliorer l'efficacité énergétique des procédés de production d'énergie ;
- au contenu en **carbone biogénique et fossile des déchets**, afin de mieux évaluer l'impact sur le réchauffement climatique ;
- à la **teneur en polluants et contaminants des déchets à valoriser et des matières recyclées** (pesticides, résidus médicamenteux, perturbateurs endocriniens, amiante, métaux lourds, polluants organiques persistants, additifs, etc...), afin de mieux caractériser les déchets en amont (capacité à les refuser ou à adapter les procédés de valorisation) et d'évaluer en aval l'impact de la valorisation des déchets sur l'environnement et la santé publique.

A ces fins, la métrologie cherche à s'adapter à des besoins de mise en œuvre simple et d'information en temps réel, en particulier pour les matières organiques, les plastiques, les métaux stratégiques et les déchets combustibles. Ces technologies vont de la reconnaissance des matières à la caractérisation moléculaire. Des recherches sur les méthodes d'échantillonnage sont aussi requises.

Axe 4 : optimisation de la chaîne de valeur des filières

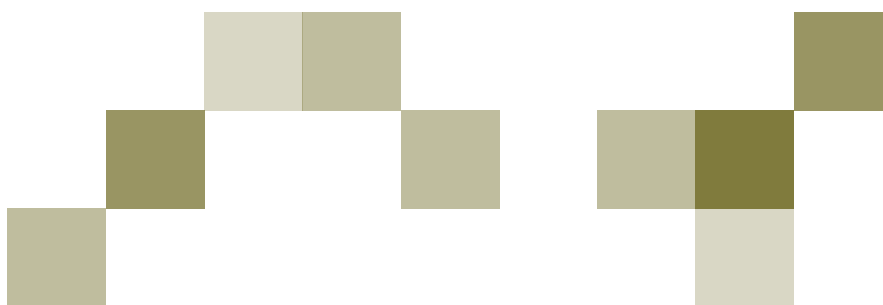
Axe 4.1 La logistique

La collecte est un maillon clé de la gestion des déchets surtout lorsque les gisements sont diffus et fluctuent selon les zones géographiques et dans le temps. S'ajoute la problématique de mobilisation de gisements qui ne peuvent être stockés sur le long terme (les biodéchets par exemple). La logistique inversée³¹ joue par ailleurs un rôle croissant pour les déchets postconsommation avec le développement des filières à responsabilité élargie des producteurs.

Les recherches en logistique permettront d'optimiser l'organisation des collectes et la massification de certains flux de déchets afin de diminuer leur coût et l'impact environnemental de leur valorisation.

Des procédures de suivi des déchets devraient permettre d'améliorer leur traçabilité et d'optimiser le fonctionnement de la logistique de mobilisation et de centre de tri grâce à des chaînes modulables en fonction de la qualification des déchets entrants.

Les recherches sur la logistique d'approvisionnement en matières recyclées des industries utilisatrices sont également requises.



31 - Elle consiste à utiliser la logistique de livraison pour collecter au retour et regrouper les déchets produits au niveau des centrales de distribution : les médicaments non utilisés sont ainsi collectés dans les pharmacies via les véhicules de livraison.

Axe 4.2. Le traitement de l'information sur les flux de matières

La maîtrise de l'information sur les flux des déchets est un enjeu fort pour la gestion des déchets. C'est l'un **des usages émergents des technologies de l'information et de la communication (TIC), du traitement du signal et de l'image**. Elle répond à la nécessité d'identifier, très en amont, les déchets (caractéristiques, variabilité dans le temps...) et de passer d'une logique de cueillette ou d'écramage à une logique d'industrialisation pour une valorisation maximale. Plusieurs dispositifs pourront y contribuer, par exemple :

- l'identification par radiofréquence (RFID) qui permet de rationaliser la collecte des déchets et le traitement automatisé des données, d'améliorer la traçabilité des déchets notamment dangereux, de faciliter la séparation des déchets et de leurs composants ;
- les technologies de marquage des matières lors de la conception de biens et produits ;
- l'usage de systèmes d'information géographique ou de suivi GPS...

Jusqu'à présent, les déploiements sont encore rares, surtout en France, où cette application des NTIC à la gestion des déchets en est encore au stade d'expérimentation et de quelques pilotes.

Axe 4.3 Les services associés

Une des voies possibles d'optimisation de la valeur est de proposer des **services associés aux produits commercialisés**. Des projets innovants en matière de services pourraient émerger au niveau de la mobilisation des déchets (machines délivrant des gratifications et enregistrant certaines données, compactant les déchets...), de l'usage des matières recyclées (conseil sur l'usage des matières recyclées, service d'épandage de compost, bourses déchets...), du réemploi et de la réutilisation des objets usagés (réutilisation de composants, services de réparation...), ou encore du développement d'outils financiers (marché de certificat...).

Axe 5 : politiques publiques, marchés et acteurs

Les activités de recherche et développement identifiées dans ce domaine se déclinent selon trois axes.

Axe 5.1 Les politiques publiques et leurs instruments

- **Organisation et régulation mondiale d'un marché des matières premières, y compris de recyclage** : les différentes questions à étudier concernent l'existence ou non d'un schéma d'organisation spontanée, l'influence d'une régulation et le choix des mécanismes de régulation à instaurer.
- **Les politiques publiques en faveur du recyclage, de la gestion des déchets, des produits et des ressources** : en étudiant les différentes politiques publiques et leur évolution dans le temps, des combinaisons favorables, des modes de régulation et de gouvernance propices peuvent être évalués.
- **Les politiques publiques d'innovation** et leur rôle sur le développement du recyclage.
- **Les instruments de politique publique** : une analyse des instruments des politiques publiques pour déterminer leur potentiel incitatif ou dissuasif sur le recyclage et la récupération est nécessaire : la volatilité des prix, les filières REP, la taxe générale sur les activités polluantes, les différentiels de TVA entre matières, l'intégration des externalités dans les transactions économiques, les dispositifs réglementaires et juridiques, etc...
- **Outils d'aide à la décision publique, en l'occurrence, l'évaluation monétaire des externalités** : amélioration des méthodes et développement de nouveaux modèles en vue d'acquies des données monétaires fiables, prise en compte de la sensibilité des échanges aux variations à long terme des coûts de transport, etc...

Feuille de route

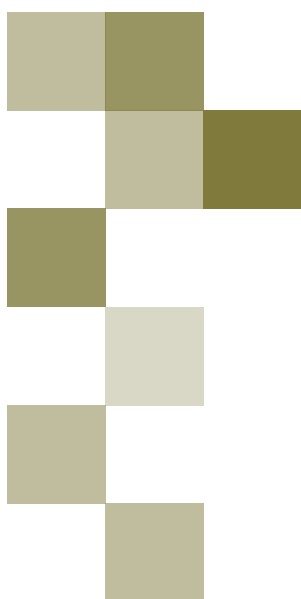
Collecte, tri, recyclage et valorisation des déchets

Axe 5.2 Les coopérations entre agents économiques et les comportements individuels

- **Les coopérations entre agents économiques** : analyse des systèmes d'acteurs, des modes de coopération et de la répartition de la valeur au sein des filières allant de la production de biens de consommation jusqu'au recyclage des matières, analyse de modèles de coopération économique innovants (écologie industrielle...), anticipation des résistances entre acteurs et procédures de concertation adaptées à la résolution de situations conflictuelles.
- **L'adhésion sociale et les changements de comportements des acteurs** : études des représentations sociales et des pratiques de consommation, de tri, de recyclage, de réemploi, de réutilisation, de l'acceptabilité des matières recyclées, des tendances et des facteurs de changement ainsi que des signaux faibles.

Axe 5.3 Les modèles économiques et les marchés

- **Les modèles de marché des matières premières vierges et recyclées** : peut-on sortir, et comment, de l'économie grise dans le domaine du recyclage ? Quels sont les modèles de marché et les modèles économiques ? Y a-t-il des modèles géographiquement différenciés en fonction des matières ?
- **Les modèles économiques de services et les acteurs associés** : développement de projets innovants.
- **Outils d'analyse des marchés permettant de cartographier rapidement les gisements et les stocks de matières recyclables** (par acteurs, par zones géographiques, etc...).
- **Les impacts économiques et sociaux de l'émergence de nouveaux marchés et modèles économiques** (nouvelles activités et acteurs économiques, disparition de secteurs d'activités, incidences sur l'emploi...).



Axe 6 : impacts environnementaux et sanitaires

Les divers modes de gestion des déchets ainsi que le réemploi ou la réutilisation suscitent de multiples interrogations sur les impacts environnementaux et sanitaires qu'ils seraient susceptibles de présenter. Les besoins en R&D dans ce domaine peuvent être déclinés en trois thèmes.

Axe 6.1 Les impacts globaux

Une des priorités des travaux de R&D est de mieux connaître l'influence sur le changement climatique des différents modes de gestion des déchets et la nature et les niveaux d'émissions de gaz à effet de serre générés. Cela permettra d'adapter les modes de gestion et les technologies pour atténuer ces émissions.

A titre d'exemple : une meilleure connaissance du contenu en carbone biogénique ou fossile, le suivi des technologies de traitement des gaz ou fumées, des modes de gestion limitant les émissions de gaz à haut pouvoir effet de serre (méthane, protoxyde d'azote...), la prise en compte des puits de carbone liés à un retour au sol ou à un autre mode de gestion.

La détermination des impacts sanitaires et environnementaux liés au réemploi et à la réutilisation de la matière ou des biens d'équipements constitue une autre voie de R&D, que ce soit les conséquences d'une plus forte intégration de matières premières de recyclage dans les produits de construction ou les impacts liés à la réutilisation de biens d'équipement vieillissants comportant des matières aujourd'hui interdites ou énergivores.

Axe 6.2 Les impacts locaux

De nombreuses questions restent posées concernant le devenir des substances exogènes dans l'environnement et leur impact sanitaire. La synergie des polluants, la toxicité des mélanges, la mesure des polluants émergents (pesticides, résidus médicamenteux, perturbateurs endocriniens, amiante, additifs, etc...) et l'accumulation des polluants sont des domaines à investiguer en priorité.

Les préoccupations sanitaires liées aux conditions de travail des salariés et aux installations de traitement de déchets ainsi qu'aux nouvelles technologies sont prégnantes : poussières, air ambiant, bruit, risques chimiques, biologiques, organisationnels, ergonomie des postes. Leur prise en compte dans les projets de recherche et développement contribuera à prévenir les risques professionnels dès les phases de conception et de développement des installations.

Axe 6.3 Le développement d'outils et méthodes d'évaluation et de surveillance des impacts

L'amélioration de la prise en compte des impacts environnementaux et sanitaires dans les outils d'évaluation des schémas de gestion des déchets constitue un enjeu majeur. Peu d'outils performants existent en la matière. Cette prise en compte suppose un suivi des impacts et donc le développement d'outils de métrologie et la détermination des facteurs à considérer dans les outils de modélisation.

> 6. Les fonctions des démonstrateurs de recherche, des plates-formes technologiques d'essais et des expérimentations préindustrielles

Les démonstrateurs de recherche, les plates-formes technologiques d'essais et les expérimentations préindustrielles sont des outils conçus pour répondre, à tout ou partie des besoins de recherche et développement précédemment identifiés.

Afin de garantir leur efficacité et leur robustesse face aux tensions de marché sur les matières premières et aux évolutions réglementaires possibles, ces outils doivent disposer d'un certain nombre de fonctions spécifiques, parmi lesquelles :

- l'adaptation à des **gisements de déchets d'intérêt stratégique** (notamment des métaux stratégiques, des polymères, des élastomères) pour en augmenter significativement la **valeur économique**, tout en réduisant les impacts environnementaux ;
- l'adaptation à des **gisements de déchets d'intérêt stratégique** (notamment des déchets de la construction et du BTP, des déchets de l'agriculture et de l'industrie agroalimentaire) pour en augmenter significativement la capacité de valorisation de **volumes importants**, tout en réduisant les impacts environnementaux ;
- l'élargissement des domaines d'application pour produire, à partir de matière première de recyclage, de nouveaux produits ou des produits à haute valeur ;
- l'adaptation de procédés de production dans des domaines d'application existants pour intégrer plus de matières premières de recyclage et améliorer la qualité des produits ;
- **la flexibilité et la modularité des outils de tri**, combinant différentes techniques, pour s'adapter aux flux de déchets de natures variées et fluctuant dans le temps ;
- l'intégration de **solutions technologiques associant les différents acteurs industriels d'une filière afin d'optimiser techniquement et économiquement chaque procédé en fonction du cahier des charges de l'utilisateur du produit ou de la matière résultant et d'être en mesure d'analyser la valeur totale de l'ensemble de la filière** ;
- l'intégration, au sein de **consortiums, d'acteurs économiques** de tailles et de secteurs d'activités complémentaires sur l'ensemble des maillons d'une filière pour conforter les innovations ;
- l'accessibilité pour les PME d'espaces de test et de validation de technologies ou d'intégration de technologies ;
- de **nouveaux services associés à l'offre** de matières premières de recyclage, d'énergie ou de produits usagés recyclés ;
- la **traçabilité des matières pour augmenter l'efficacité de la chaîne de valeur**, avec en particulier la maîtrise des impacts environnementaux et sanitaires, et la détection des matières en vue de leur valorisation ;
- l'intégration au sein de **consortiums d'acteurs économiques** de tailles et de secteurs d'activités complémentaires et, dans la mesure du possible, des acteurs de l'ensemble de la chaîne du recyclage, y compris les équipementiers ;
- la cohérence avec les travaux européens en cours de normalisation, par exemple sur les combustibles solides de récupération, la matière organique, les plastiques, les granulats...
- le renforcement de **l'attractivité des territoires** en créant des espaces collaboratifs permettant de concrétiser les synergies entre les acteurs de la recherche et de l'industrie, en confortant l'ancrage territorial de la R&D propice au développement de l'emploi ;
- le respect des objectifs de **développement durable** ;
- la conciliation avec les objectifs des politiques publiques relatives aux déchets, au climat, à l'énergie, aux matières premières, aux produits...

> 7. Annexe : Les quatre phases de recherche et développement

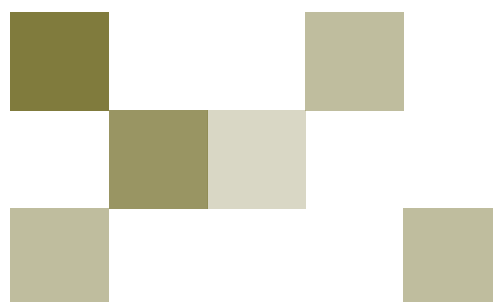
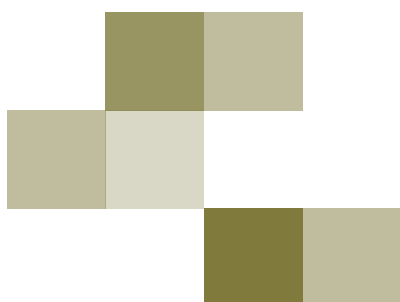
Les activités de recherche et développement peuvent se décomposer en quatre phases successives avant d'aboutir au déploiement commercial. Il s'agit des phases de recherche fondamentale ou en connaissances nouvelles, de recherche industrielle, de développement expérimental et enfin d'expérimentation préindustrielle (voir figure page ci-contre)³².

La **recherche fondamentale ou en connaissances nouvelles** comprend les activités visant à un élargissement des connaissances scientifiques et techniques non directement liées à des objectifs industriels ou commerciaux. Les résultats sont librement diffusés au sein de la communauté scientifique et plus largement dans celle des experts du domaine de connaissance visé.

La **recherche industrielle** comprend la recherche planifiée ou des enquêtes critiques visant à acquérir de nouvelles connaissances et aptitudes en vue de mettre au point de nouveaux produits, procédés ou services, ou d'entraîner une amélioration notable des produits, procédés ou services existants. Elle comprend la création de composants de systèmes complexes nécessaires à la recherche industrielle, notamment pour la validation de technologies génériques, à l'exclusion des prototypes commercialement exploitables.

Le **développement expérimental** comprend la concrétisation des résultats de la recherche industrielle dans un plan, un schéma ou un dessin pour des produits, procédés ou services nouveaux, modifiés ou améliorés, qu'ils soient destinés à être vendus ou utilisés, y compris la création de prototypes non commercialisables. Elle peut en outre comprendre la formulation conceptuelle et le dessin d'autres produits, procédés ou services ainsi que des projets expérimentaux ou pilotes, à condition que ces projets ne puissent pas être utilisés industriellement ou exploités commercialement.

L'**expérimentation préindustrielle** se situe en aval des démonstrateurs de recherche et concerne, notamment, l'expérimentation de technologies à l'échelle de préséries avant de passer à l'industrialisation. Le développement de nouvelles technologies dans les domaines du recyclage, dont les cycles d'investissement sont particulièrement longs, présente des facteurs de risques importants, y compris dans des parties aval de développement technologique. Des opérations de démonstrations préindustrielles pour un équipement ayant atteint un premier stade de développement (les verrous technologiques étant levés), mais dont le lancement de la fabrication en série suppose de'en démontrer la viabilité technico-économique, pourront également être considérées.



32 - Les trois premières phases sont définies dans l'encadrement communautaire des aides d'Etat à la recherche, au développement et à l'innovation (communication 2006/C 323/01, JOUE du 30/12/2006) et la 4e phase dans les Investissements d'avenir, convention Etat-ADEME Action : « Economie circulaire » (JORF n° 0182 du 8 août 2010).



Outils
technologiques



L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

www.ademe.fr



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr