

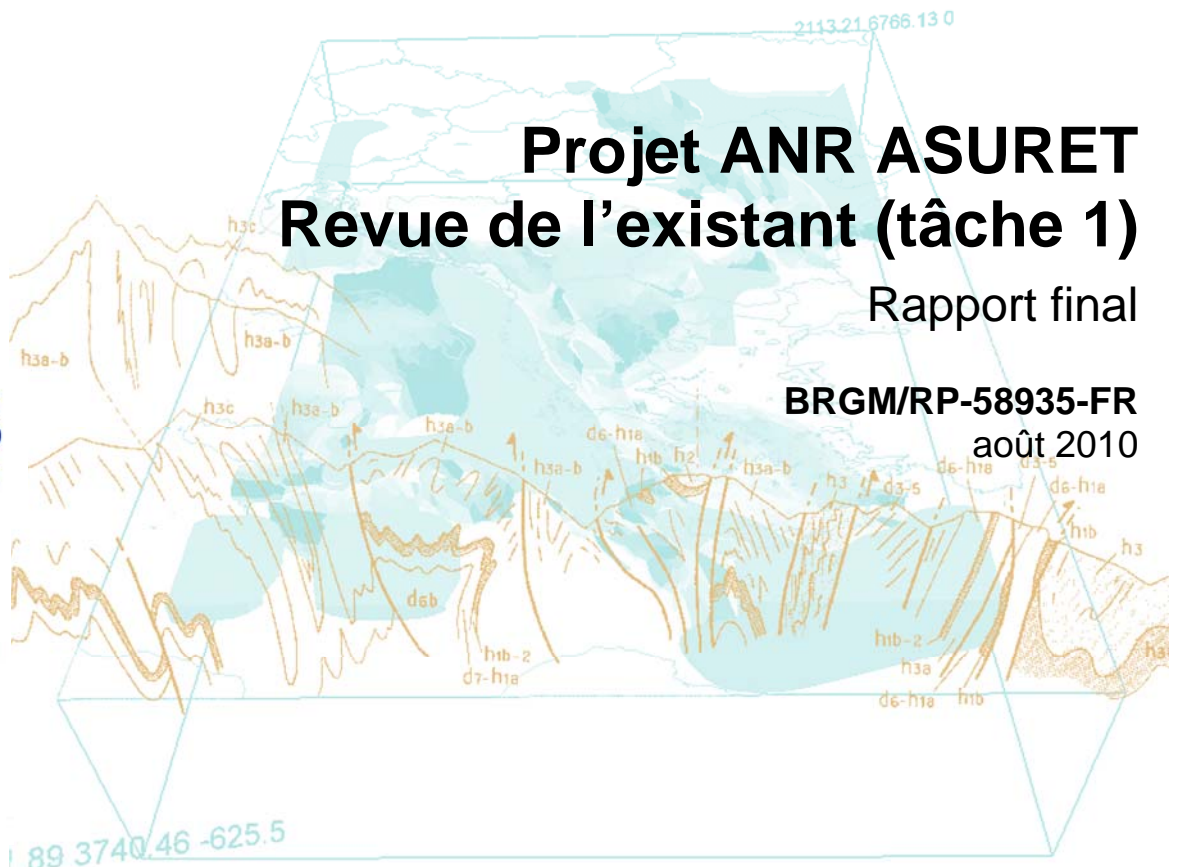


Document public

Projet ANR ASURET Revue de l'existant (tâche 1)

Rapport final

BRGM/RP-58935-FR
août 2010



Document public

Projet ANR ASURET

Revue de l'existant (Tâche 1)

Rapport final

BRGM/RP-58935-FR
août 2010



Étude réalisée dans le cadre de l'appel à projet « ECOTECH »
2009 de l'ANR avec le soutien de la ville d'Orléans
et du Conseil général des Bouches-du-Rhône



Sous la coordination de L. Rouvreau



Auteurs
P. MICHEL, S. VAXELAIRE, J. VILLENEUVE (BRGM)
E. JAYR (CSTB)
E. VERNUS (INSAVALOR POLDEN)
N. BUCLET, V. RENAULT (UTT CREIDD)
A. DE CAZENOVE, H. VEDRINE (13 DEVELOPPEMENT)



Vérificateur :
Nom : Gaël BELLENFANT
Date : 29/08/2010
Signature :

Approbateur :
Nom : Hervé GABORIAU
Date : 14/09/2010
Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.



Mots-clés : Construction, Déconstruction, Matières premières minérales, Matières premières secondaires, Recyclage, Valorisation, Évaluation environnementale, Flux de matières, Paradigme, Territoire.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Rouvreau L., Michel P., Vaxelaire S., Villeneuve J. (BRGM), **Jayr E.** (CSTB), **Vernus E.** (INSAVALOR POLDEN), **Buclet N., Renault V.** (UTT CREIDD), **De Cazenove A., Vedrine H.** (13 Développement), (2010) – Projet ANR ASURET – Revue de l'existant (Tâche 1). Rapport final. BRGM/RP-58935-FR. 161 p., 39 ill., 2 ann.

Synthèse

Le développement de notre société repose notamment sur l'extraction, au coût monétaire le plus bas possible de matières premières et d'énergie du sous-sol, leur transformation et leur accumulation dans la technosphère, puis leur rejet (au moins partiel) sous forme de déchets. La demande croissante en matériaux a toujours été traitée par une augmentation de la production.

Une prise de conscience récente du caractère non renouvelable de certaines ressources naturelles, les tensions observées sur le marché des matières premières et de l'énergie, la pression réglementaire croissante impulsée par les institutions Européennes, remettent en cause ce postulat, au travers d'une incitation forte au développement des filières de recyclage et de valorisation. Ces filières de collecte, de traitement et de valorisation des matériaux issus de la déconstruction peinent encore à décoller techniquement et économiquement, malgré de nombreuses initiatives tant au niveau européen que national.

La transition vers des territoires durables et une maîtrise de l'entropie territoriale supposent (Roussat, 2007) une réorganisation et une diminution des flux externes (les entrées et sorties du territoire) et des flux internes (en optimisant la réutilisation de la matière et de l'énergie). Il s'agit de changer de paradigme en allant vers une approche systémique du territoire, probablement plus adaptée à la définition d'un modèle de développement cohérent.

Les solutions sont bien sûr à rechercher dans l'amélioration des systèmes techniques, mais aussi dans une modification de l'organisation existante et une planification de ces échanges.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le projet **ASURET** (*Analyse Systémique de l'Utilisation de Ressources renouvelables de la Technosphère*), qui se concentrera tout particulièrement, dans une optique de préservation des ressources naturelles et d'atténuation des impacts environnementaux, sur l'optimisation de l'utilisation des flux de matières mobilisées par les activités de construction et d'aménagement au sein de deux territoires : le projet s'appuiera d'une part sur l'étude de la politique générale mise en place par une collectivité (Agglomération d'Orléans) et, d'autre part, un programme de construction/réhabilitation focalisé sur un type d'équipement collectif (collège), dans le cadre des actions menées par le Conseil Général des Bouches-du-Rhône.

Il s'agit de s'interroger sur ce que l'on cherche à préserver, l'échelle du territoire pertinent à laquelle doivent être abordées ces questions, la méthode de mesure des impacts à l'échelle du territoire considéré.

Le projet **ASURET** s'inscrit dans le cadre du programme ECOTECH « Programme production et technologies de l'environnement » financé par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche).

D'une durée de 36 mois, ce projet a débuté le 1^{er} mars 2010. Il est conduit par un consortium qui associe le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), la division POLDEN d'INSAVALOR (INSA Lyon), l'UTT CREIDD (Centre d'études et de recherches interdisciplinaire sur le développement durable de l'institut Charles Delaunay, Université technologique de Troyes), la société d'économie mixte (SEM) 13 Développement et le BRGM, qui assure la coordination du projet.

ASURET est également soutenu par la ville d'Orléans et le Conseil Général des Bouches-du-Rhône qui ont accepté d'être des « territoires d'expérimentation ».

ASURET a pour finalité de proposer à l'ensemble de la communauté des acteurs de la construction et de l'aménagement du territoire (construction et déconstruction de bâtiments, d'équipements, d'infrastructures) :

- une approche et une méthodologie d'aide à la décision, afin de réduire les impacts environnementaux (plus particulièrement ceux liés à la consommation de ressources naturelles d'origine minérale) des activités de construction/déconstruction et d'aménagement ;
- des éléments concrets pour le développement de filières de recyclage ;
- des éléments d'aide à l'orientation d'une politique publique favorisant la réduction globale des impacts liés aux flux de matières premières et secondaires au sein d'un territoire.

Ce premier livrable du projet esquisse, au travers d'une revue de l'existant, une première image des enjeux et des notions qui vont être abordés dans les étapes suivantes du projet ASURET.

Cette revue de l'existant est articulée autour des points mis en exergue par les premiers travaux du consortium : (i) complémentarité et synergies possibles avec des actions et des projets de recherches en cours ou achevés, (ii) description des flux de matières dans le secteur du BTP (besoins du secteur en matière de matériaux minéraux naturels et de produits fabriqués à partir de matières premières naturelles, évaluation, composition et caractérisation du gisement de déchets du BTP, évaluation du gisement de matières premières secondaires potentiel, conditions dans lesquelles la notion de stock peut être mise en œuvre pour décrire les quantités de matières accumulées dans la technosphère, outils disponibles pour décrire et caractériser l'ensemble des flux et dresser des bilans), (iii) description de la situation actuelle du recyclage et de la valorisation dans le secteur du BTP, (iv) application des concepts d'évaluation environnementale au domaine du BTP, (v) analyse des chaînes de responsabilités et de décision dans le BTP, (vi) prise en compte du contexte réglementaire actuel et de ses évolutions prochaines, tant au niveau national qu'europpéen, (vii) enjeux sociétaux associés, qui sont essentiels dans toute action destinée à permettre une prise de conscience collective au travers d'un changement de paradigme.

Sommaire

1. Contexte du projet ASURET	11
1.1. CONTEXTE GÉNÉRAL.....	11
1.2. RÉFLEXIONS AUTOUR DES ENJEUX ÉCONOMIQUES ET SOCIÉTAUX.....	12
1.2.1. De la nécessité de changer de paradigme.....	12
1.2.2. Pertinence du BTP comme domaine d'étude et d'observation	13
1.2.3. Quels enjeux sociétaux ?	15
1.3. OBJECTIFS ET CARACTÈRE NOVATEUR D'ASURET	16
1.4. REVUE DE L'EXISTANT	17
2. Complémentarité d'ASURET avec d'autres projets	19
2.1. PROJET EUROPÉEN « FORWAST »	19
2.1.1. Objectifs	19
2.1.2. Concept et méthode.....	19
2.1.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET	22
2.2. PROJET ANR « CONFLUENT »	22
2.2.1. Objectifs	22
2.2.2. Concept et méthodes	23
2.2.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET	23
2.3. PROGRAMME « ÉCOLOGIE TERRITORIALE »	23
2.3.1. Objectifs	23
2.3.2. Concept et méthodes	24
2.3.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET	24
2.4. PROJET ANR « ANTAG »	25
2.4.1. Objectifs	25
2.4.2. Concept et méthodes	25
2.4.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET	27
2.5. PROJET RECORD « DÉCHETS DE DÉMOLITION ET DÉCONSTRUCTION »	28
2.5.1. Objectifs	28
2.5.2. Concept et méthodes	28
2.5.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET	29

2.6. ACTION DE RECHERCHE « ÉVALUATION DES SYSTÈMES URBAINS »	29
2.6.1. Objectifs	29
2.6.2. Concept et méthodes.....	29
2.6.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET	30
3. Flux de matières dans le secteur du BTP	31
3.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.....	31
3.2. BESOINS EN MATIÈRES PREMIÈRES DU BTP	35
3.2.1. Produits réalisés à partir de matériaux naturels et à usage principal dans la construction et le BTP	38
3.2.2. Autres matériaux pour le BTP.....	41
3.3. GISEMENT DES DÉCHETS DU BTP.....	42
3.3.1. Gisement à l'échelle européenne	42
3.3.2. Gisement national.....	44
3.4. NOTION DE STOCK.....	47
3.4.1. Introduction	47
3.4.2. Estimation du stock courant.....	48
3.4.3. Estimation du stock historique	50
3.4.4. Évaluation des stocks : exemples d'application pour le secteur résidentiel	50
3.4.5. Conclusion	54
3.5. QUELS OUTILS POUR DÉCRIRE CES FLUX ET DRESSER DES BILANS ?	54
4. (Dé)construction et recyclage dans le secteur du BTP.....	57
4.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.....	57
4.2. ÉVOLUTION DES TECHNIQUES CONSTRUCTIVES.....	58
4.2.1. Évolution des matériaux de construction depuis l'Antiquité	58
4.2.2. Évolution des techniques constructives dans le secteur du bâtiment....	63
4.2.3. Évolution des techniques constructives dans les travaux publics	70
4.3. ÉVOLUTION DES TECHNIQUES DE DÉCONSTRUCTION	75
4.3.1. Techniques de déconstruction.....	76
4.3.2. Caractéristiques des différentes techniques de démolition/déconstruction	79
4.3.3. Optimisation des opérations de déconstruction et de recyclage	81

4.4. STRUCTURE ET FILIÈRES DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DES MATÉRIAUX DE DÉCONSTRUCTION	82
4.4.1. Le réseau des plateformes de valorisation des déchets du BTP	82
4.4.2. Les filières de valorisation des déchets du BTP	84
4.4.3. Inventaire des matières premières secondaires issues des déchets du BTP dans le cadre du projet ASURET	97
4.5. POLITIQUE DES PAYS EUROPÉENS AFFICHANT DE MEILLEURES PERFORMANCES DANS LE DOMAINE DE LA VALORISATION ET DU RECYCLAGE	98
5. Évaluation environnementale.....	101
5.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES	101
5.2. OUTILS D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE	101
5.2.1. Analyse de Cycle de Vie	101
5.2.2. L'empreinte écologique	102
5.2.3. Le Bilan carbone	102
5.2.4. Le MIPS	103
5.2.5. Intérêt des différents outils	103
5.3. LES BASES DE DONNÉES D'INVENTAIRES D'ACV – ÉLÉMENTS DISPONIBLES.....	105
5.3.1. Les fiches de déclaration environnementales et sanitaires (FDES)	105
5.3.2. La base de données européenne ELCD	105
5.3.3. La base de données Ecoinvent	106
5.3.4. Autres données d'inventaire disponibles.....	106
5.3.5. Intérêt des bases de données disponibles pour le projet ASURET	107
5.4. QUELS BILANS ENVIRONNEMENTAUX POUR LA (DÉ)CONSTRUCTION ET LE RECYCLAGE ?	107
5.4.1. Préambule	107
5.4.2. Thèse de Nicolas Roussat	108
5.4.3. Thèse de S. SAYAGH	108
5.4.4. Méthodologie ADEME	109
5.4.5. Autres outils	110
5.4.6. Synthèse	111
6. Chaîne de responsabilités et de décision dans le BTP	113
6.1. LES ACTEURS.....	113
6.2. RESPONSABILITÉS ET OBLIGATIONS DE CHACUN PAR RAPPORT À LA GESTION DES DÉCHETS	114

6.3. DÉMARCHES ADMINISTRATIVES ET RÔLE DE CHACUN POUR PRESCRIRE LE TRI DES DÉCHETS DU BÂTIMENT LORS D'UN CHANTIER.....	115
7. Un cadre réglementaire en pleine évolution.....	119
7.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.....	119
7.2. CADRE RÉGLEMENTAIRE NATIONAL.....	120
7.3. LEVIER GRENELLE	125
7.4. PLAN D'ACTIONS DÉCHETS 2009-2012 DU GOUVERNEMENT	127
7.5. ÉVOLUTIONS EUROPÉENNES À VENIR	127
8. Des enjeux sociétaux essentiels	131
8.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.....	131
8.2. DISPOSITIFS DE MUTUALISATION, RÉSEAUX D'ÉCHANGES ET PRATIQUES INCITATIVES EXISTANTES.....	132
8.3. LES OUTILS ET LES INDICATEURS EXISTANTS.....	136
8.3.1. Présentation générale de la méthode PAT-Miroir©.....	136
8.3.2. Application de la méthode	137
8.3.3. Résultats attendus	138
8.3.4. Pour ASURET.....	138
9. Conclusion	139
10. Bibliographie	141

Liste des illustrations

Illustration 1 - Cycle des matières premières dans l'économie et sa représentation dans les tables d'entrées/sorties de flux physiques.....	21
Illustration 2 - Estimation du besoin annuel en matériaux ou produits pour le BTP en France extraits ou fabriqués à partir de ressources dites épuisables.....	32
Illustration 3 - Estimation du besoin annuel en minéraux pour le BTP en France.....	34
Illustration 4 - Évolution de la production de plâtre et produits à base de plâtre entre 1998 et 2005 (Source : UNICEM) – Champ : Entreprises de 20 salariés ou plus.	36
Illustration 5 - Quel produits pour quels marchés - Principaux débouchés des matériaux à base de gypse dans le domaine des matériaux et de la construction (Les matériaux de construction, Edition 2007 SESSI).	36
Illustration 6 - Consommation de ciment en France (2004 – Données SESSI).....	38
Illustration 7 - Les usages du béton prêt à l'emploi en France (2004 – Données SESSI).....	39
Illustration 8 - Production de déchets de construction et de démolition en Europe (E.E.A., 2002).	43
Illustration 9 - Gisement total de déchets de construction et de démolition dans l'Europe des 27.....	43
Illustration 10 - Production totale de déchets du BTP dans l'Europe des 27 pour l'année 2005, estimation basse et haute.	44
Illustration 11 - Gisement de déchets du BTP (données 2004) d'après IFEN, 2007.....	45
Illustration 12 - Masse moyenne par m ² de surface utilisable par période de construction (Autriche d'avant 1919 jusqu'à après 1991) – Source Forwast.	53
Illustration 13 - Composition des « Bâtiments résidentiels » en 1900 et 1970.....	53
Illustration 14 - Durée de vie moyenne des bâtiments résidentiels en Autriche (source Forwast).....	54
Illustration 15 - Facteurs et indicateurs de calcul du stock de bâtiments résidentiels en Autriche (Source Forwast).....	54
Illustration 16 - Cycle du cuivre en Autriche, extrait du document de formation associé au logiciel STAN (Methodology of Material Flow Analysis, Vienna University of Technology), d'après Döbert <i>et al.</i> (2005).....	56
Illustration 17 - Production de déchets en France (ADEME, Les déchets en chiffres – 2009).	57
Illustration 18 - Maison gauloise.....	58
Illustration 19 - Ruine d'une maison romaine.....	59
Illustration 20 - Maison du Moyen-Âge en pierres et en bois.....	59
Illustration 21 - Longère.	60
Illustration 22 - Château de Chambord.	60
Illustration 23 - Maison ouvrière (gauche) et maison bourgeoise (droite).....	61

Illustration 24 - Construction du XX ^e siècle en verre	62
Illustration 25 - Évolution de la consommation énergétique des bâtiments mise en rapport aux différents niveaux de réglementations thermiques depuis 1975 (CAUE Isere, en ligne et AGEDEN, en ligne, cités dans Ravel, 2008).....	65
Illustration 26 - Typologies des bâtiments.	66
Illustration 27 - Techniques constructives par typologies des bâtiments.	69
Illustration 28 - La structure d'une chaussée routière (Setra, 2010).	71
Illustration 29 - La structure d'un pont (LRMSH, en ligne).	73
Illustration 30 - Le Pont de Normandie construit au XX ^e (CCI Le Havre, en ligne).	74
Illustration 31 - Viaduc de Millau (Viaduc de Millau, en ligne).	74
Illustration 32 - Composants voie ferrée (RFF, en ligne).....	75
Illustration 33 - Critères de choix d'une technique de demolition/déconstruction des ouvrages.	80
Illustration 34 - Les plates-formes classées en diverses catégories en fonction de leurs différentes fonctions (regroupement, tri, prétraitement) (ADEME, FNB, 1997).	83
Illustration 35 - Devenir des déchets non inertes et non dangereux issus des chantiers de démolition et des travaux publics.....	85
Illustration 36 - Matériaux faisant apparaître de la réutilisation, du réemploi ou de la valorisation dans les chantiers BTP.....	97
Illustration 37 - Traitement des déchets de construction et de démolition en Europe (E.E.A., 2002).....	99
Illustration 38 - Avantages et inconvénients des différents outils d'évaluation environnementale.	104
Illustration 39 - Filières de gestion des déchets de chantier.	123

Liste des annexes

Annexe 1 - Gisement des déchets du BTP – Enquêtes	151
Annexe 2 - Valeurs par défaut des durées de vie des produits	157

1. Contexte du projet ASURET

1.1. CONTEXTE GÉNÉRAL

Le développement de notre société repose notamment sur l'extraction, au coût monétaire le plus bas possible (donc hors internalisation des coûts externes, ou externalités), de matières premières et d'énergie du sous-sol, leur transformation et leur accumulation dans la technosphère, puis leur rejet (au moins partiel) vers l'extérieur sous forme de déchets.

Les territoires urbanisés, qui représentent près de 50 % de la population mondiale aujourd'hui, 75 % pour la France, concentrent l'essentiel de cette activité dans un système à l'entropie sans cesse croissante.

La demande croissante en matériaux a toujours été traitée par une augmentation de la production. Une prise de conscience récente du caractère non renouvelable de certaines ressources naturelles, les tensions observées sur le marché des matières premières et de l'énergie, la pression réglementaire croissante impulsée par les institutions européennes, notamment aux travers de la Directive Cadre Déchets 2008/98/CE du 19 Novembre 2008, remettent en cause ce postulat, au travers d'une incitation forte au développement des filières de recyclage et de valorisation.

Cette prise de conscience se traduit par exemple dans le secteur de la construction par l'introduction lors de la révision de la directive Produits de Construction (DPC, Directive 89/106/CEE)¹, de la notion « d'utilisation durable des ressources naturelles ».

Dans le même temps, les filières de collecte, de traitement et de valorisation des matériaux issus de la déconstruction peinent à décoller techniquement et économiquement, bien que ce secteur soit concerné par de nombreuses initiatives tant au niveau européen que national.

La transition vers des territoires durables et une maîtrise de l'entropie territoriale supposent (Roussat, 2007) une réorganisation et une diminution des flux externes (les entrées et sorties du système) et des flux internes (en optimisant la réutilisation de la matière et de l'énergie). Il s'agit de changer de paradigme en allant vers une approche systémique du territoire, probablement plus adaptée à la définition d'un modèle de développement cohérent.

C'est dans cette perspective qu'a été initiée la réflexion autour du projet **ASURET** (*Analyse Systémique de l'Utilisation de Ressources renouvelables de la*

¹ La révision de la Directive Produits de Construction a officiellement été lancée le 26/05/08 par une conférence de presse de la Commission européenne. Le texte du projet Règlement Produit de Construction (RPC) est actuellement analysé par le Conseil et le Parlement (<http://www.dpcnet.org/>).

Technosphère), qui vise à proposer à l'ensemble de la communauté des acteurs de la construction et de l'aménagement du territoire (construction et déconstruction de bâtiments, d'équipements, d'infrastructures) une approche et une méthodologie d'aide à la décision, en vue de réduire les impacts environnementaux de ces activités – tout particulièrement ceux liés à la consommation de ressources naturelles – tout en apportant des éléments concrets pour le développement de filières de recyclage.

Le projet **ASURET** s'inscrit dans le cadre du programme ECOTECH « Programme production et technologies de l'environnement » financé par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche).

D'une durée de 36 mois, ce projet a débuté le 1^{er} mars 2010. Il est conduit par un consortium qui associe le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), la division POLDEN d'INSAVALOR (INSA Lyon), l'UTT CREIDD (Centre d'études et de recherches interdisciplinaire sur le développement durable de l'institut Charles Delaunay, Université technologique de Troyes), la société d'économie mixte (SEM) 13 Développement et le BRGM, qui assure la coordination du projet.

ASURET est également soutenu par la ville d'Orléans et le Conseil Général des Bouches-du-Rhône qui ont accepté d'être des « territoires d'expérimentation ».

1.2. RÉFLEXIONS AUTOUR DES ENJEUX ÉCONOMIQUES ET SOCIÉTAUX

1.2.1. De la nécessité de changer de paradigme

Un territoire soutenable doit s'envisager non seulement en termes de durabilité interne mais également externe, au regard de ses interactions avec d'autres territoires, afin de ne pas compromettre la durabilité de ceux-ci (Roussat, 2007).

L'analyse des interactions entre un territoire et la biosphère, ou avec d'autres territoires, sur le plan des flux de matière et d'énergie, est cependant encore assez difficile à réaliser, tant au niveau de l'organisation géographique et spatiale de ces flux, que de la structuration qualitative et quantitative des échanges.

Les données disponibles ne permettent souvent d'établir que des bilans incomplets, pour lesquels il est extrêmement difficile de dépasser un stade d'analyse en « entrées – sorties » et de boucler des cycles de matières et d'énergie. Une analyse du métabolisme des territoires au travers d'une approche systémique (« *penser globalement et agir localement* ») permettrait probablement de favoriser le développement de modèles de production et de consommation plus vertueux, contribuant à intégrer plus harmonieusement les activités humaines dans le fonctionnement de la biosphère.

ASURET propose d'aborder, au travers de cette approche systémique, les questions :

- de l'échelle spatiale et temporelle auxquelles doivent être pensées ces filières ;
- des conditions économiques, techniques et sociétales de leur développement et de leur optimisation (quelles installations, quelles capacités, quelle localisation, pour

quels matériaux, comment développer les synergies entre l'ensemble des acteurs autour d'un objectif commun, comment communiquer, comment mesurer les progrès ?).

Il s'agit d'apporter des éléments de réponse aux problèmes de l'évaluation et d'utilisation des gisements potentiels de ressources accumulés dans la technosphère et de l'anticipation des impacts de l'évolution des modes de construction et de déconstruction.

1.2.2. Pertinence du BTP comme domaine d'étude et d'observation

Les matériaux de construction représentent environ 40 % du tonnage des matériaux transportés chaque année, et plus de 420 Mt (millions de tonnes) de granulats sont consommées annuellement par le marché du BTP (soit près de 7 tonnes/hab./an), dont 85 Mt/an pour le seul secteur du bâtiment.

En 2007, 23 Mt de granulats ont été recyclées, dont 12 Mt issues de la déconstruction. Ce même secteur du bâtiment génère annuellement 48 Mt de déchets de chantier (750 kg/hab./an) dont 3 Mt issus de la construction, 13 Mt issus de la réhabilitation et 31 Mt issus de la démolition.

Le volume de déchets inertes produits par les chantiers du BTP en France dépasse les 333 Mt/an² : les matériaux de (dé) construction, qui constituent donc un flux de matière important du métabolisme des territoires, sont encore largement (45 % selon l'ADEME) envoyés en centre de stockage de déchets. *« Les matériaux de construction constituent les principaux flux de matières solides dans la société industrielle moderne, et également les principaux stocks de ressources immobilisées dans les bâtiments, les routes, les grandes infrastructures. Dans cette perspective, il ne s'agit pas seulement de construire des bâtiments écologiques, mais également, et surtout, de concevoir et mettre en œuvre une politique globale de gestion intégrée de l'ensemble des matériaux de construction, de leur extraction initiale à leur fin de vie ultime »* (Erkman, 2004).

Les territoires, en particulier les zones urbanisées, accumulent ainsi de formidables stocks de matières, produits à partir de ressources naturelles et d'énergie, et qui constituent un important gisement potentiel de matières premières secondaires (350 t/hab. de matière stockée dans les bâtiments et les infrastructures de la ville de Vienne selon Kennedy *et al.* (2007).

Ce stock évolue de plus en plus rapidement au travers de schémas de développement (que les hausses ponctuelles et tendanciennes du prix de l'énergie et des matières premières remettent en cause) mais aussi par le biais du raccourcissement de la durée

² Les déchets du BTP s'élèvent à 343 Mt / an, dont 333 Mt de déchets inertes (97 %). Ces derniers représentent plus de 83 % de la production annuelle totale de déchets en France, qui s'élève à 414 Mt (hors déchets de l'agriculture, déchets organiques des industries agro-alimentaires et déchets non dangereux des services). Au total, le BTP produit 88 % des déchets issus des activités économiques en France, et 83 % des déchets en comptant des déchets des ménages (source : IFEN, 2008).

de vie programmée de nombreux aménagements, qui n'excède pas quelques dizaines d'années pour une partie d'entre eux.

Le secteur des TP « produit » des déchets très majoritairement inertes (293 Mt sur un total de 295,5 Mt en 2004). Ces chiffres doivent être considérés avec une certaine prudence dans la mesure où les terres excédentaires, issues des terrassements et facilement réutilisables, sont souvent mal suivies (c'est également le cas des matériaux naturels issus des terrassements généraux dans le secteur du bâtiment). Ce gisement est donc là encore mal connu et mal caractérisé.

Les plans départementaux des déchets du BTP initiés ces dernières années ont mis en évidence l'insuffisance et l'imprécision des données existantes autres que celles liées aux quantités de matériaux « nobles » produites (granulats, plâtre, ciment).

Paradoxalement, le gisement des déchets produits par le BTP est aujourd'hui très mal caractérisé (lieux de production, composition, moyens et lieux d'élimination) si l'on excepte quelques filières spécifiques comme celles de l'acier et des métaux non ferreux. Ceci affecte l'efficacité de la mise en œuvre de ces plans, mais également le développement des filières de recyclage, dans la mesure où les impacts environnementaux sont imparfaitement évalués. La FFB³ estimait ainsi en 2003 que le coût d'élimination des 31 millions de tonnes de déchets produits représentait 2,54 milliards d'Euros, soit 3,5 % du chiffre d'affaire du secteur Bâtiment.

La « compilation » à l'échelle régionale des schémas départementaux des carrières pose la question de l'échelle à laquelle la gestion de la ressource doit être envisagée. À titre d'exemple, l'Île-de-France, qui n'est plus autosuffisante en granulats (certains départements, Essonne, Val d'Oise, ayant consommé la quasi-totalité de leurs ressources disponibles), importe des départements voisins entre 40 et 45 % de sa consommation, alors qu'un certain nombre d'entre eux révisent à la baisse leurs objectifs de production dans une logique de préservation de leurs ressources naturelles. Dans ces conditions, la question de la « durabilité interne et externe » du système de l'Île-de-France et des conditions dans lesquelles les « besoins » de l'ensemble de la collectivité sont malgré tout satisfaits peut être posée, sachant qu'au plan national, près de 93 % des matériaux transitent par la route⁴ et que le prix de la tonne de granulats, l'énergie grise et les émissions de gaz à effet de serre associées doublent tous les 30 à 50 km de transport.

La croissance des besoins des territoires en matières premières pour la construction et l'aménagement peut également être mise en perspective avec le fait que 70 % des réserves de production françaises de gypse (plâtre) sont situées en région parisienne et, pour une grande part, neutralisées car situées en zones urbanisées. La production annuelle de plâtre a dépassé 5 Mt en 2006, pour une zone de chalandise qui peut atteindre 800 km, contre 20 km pour le granulats. Dans le même temps, les déchets de plâtre ne font à l'heure actuelle l'objet que d'une valorisation marginale, alors que ce matériau est potentiellement indéfiniment recyclable.

³ FFB : Fédération Française du Bâtiment.

⁴ Le reste se partage à parité entre voie d'eau et rail.

Plus globalement, la part du recyclage dans le domaine de la construction intervient pour 4 % (échelle nationale) dans les apports en matériaux (contre 6 fois plus en Allemagne ou au Royaume-Uni). La région Île-de-France, qui est plus efficiente dans le domaine, produit 15 % du total des granulats de recyclage français. L'UNPG⁵ s'est engagée auprès du MEEDDAT sur un objectif de recours à 50 Mt de granulats recyclés d'ici à 5 ans (la production totale de granulats étant de 428 Mt en 2006).

Les activités de construction, déconstruction et aménagement génèrent de nombreux impacts environnementaux et sanitaires (raréfaction des ressources naturelles, dégradation des écosystèmes, consommations énergétiques et émissions associées) qui ne sont qu'imparfaitement pris en compte dans l'évaluation des performances du recyclage. Le taux d'utilisation de matières premières secondaires, pénalisé par ces biais, ne progresse que lentement, malgré l'existence de technologies de collecte, de traitement et de valorisation.

De plus, les questions du recyclage et de la valorisation sont principalement posées à l'échelle d'un projet, d'une ville ou d'une collectivité locale d'extension définie, sans que soient abordées les questions préalables des échelles spatiale et temporelle, de la disponibilité et de la pérennité de la ressource. Il est donc nécessaire de poser les bases d'une réflexion sur le plus long terme qui vise à considérer les territoires aménagés et urbanisés comme des gisements de matériaux (Brunner, 2007) évolutifs dans le temps et l'espace, qu'il convient de caractériser (quantité, composition, distribution) et dont les conditions d'exploitation techniques et économiques restent à discuter.

1.2.3. Quels enjeux sociétaux ?

Compte tenu de la multiplicité des acteurs de la construction et de l'aménagement (élus et collectivités locales, représentants de l'État, citoyens, associations, industriels, porteurs de projets), seule une approche systémique permettra de favoriser l'émergence de nouvelles pratiques plus durables. Le rassemblement de ces acteurs, aux préoccupations souvent antinomiques, autour d'objectifs communs de réduction des impacts environnementaux, passe par la définition de nouveaux référentiels ou critères d'analyse, afin de favoriser la mise en place d'approches et de filières plus intégrées, ce qui permettra d'accroître la visibilité de ces pratiques et de mieux apprécier l'évolution des performances.

Les donneurs d'ordres et les maîtres d'ouvrages doivent jouer un rôle essentiel dans le développement de ces nouvelles pratiques, notamment au travers de l'utilisation des outils incitatifs déjà à leur disposition ou à venir (loi Grenelle) et des évolutions réglementaires. Il s'agit là aussi d'intégrer de nouveaux critères et de nouveaux référentiels, tant au niveau des pratiques internes que de la forme des demandes en externe (prise en compte de la disponibilité de la ressource pour le choix des matériaux, incitation à l'utilisation de matériaux issus du recyclage, participation à la mise en place de filières de valorisation...).

⁵ UNPG : Union Nationale des Producteurs de Granulats.

La communication autour de ces enjeux constitue un élément clé dans le changement des mentalités et la recherche de solutions systémiques. Pour des raisons d'opposition de type syndrome NIMBY⁶, il est aujourd'hui de plus en plus difficile d'ouvrir une carrière en France (le pays en comptait 5 000 il y a 10 ans, contre 3 000 aujourd'hui et peut-être 1 000 dans 10 ans, s'alarme l'UNICEM⁷). Cette réduction du nombre de carrières devrait se traduire par une augmentation de la distance moyenne à parcourir pour accéder à la ressource, qui passerait ainsi de 15 à 40 km, avec tout ce que cela implique en termes d'impacts économiques, sanitaires et environnementaux et notamment d'émissions de CO₂.

Le recyclage n'est pas neutre lui non plus en termes d'émissions, et impose pour sa part la mobilisation de moyens mobiles sur les chantiers, ainsi que l'implantation d'un maillage territorial de plateformes de proximité, indispensables à une bonne gestion des matériaux et des flux.

1.3. OBJECTIFS ET CARACTÈRE NOVATEUR D'ASURET

La politique publique et territoriale doit apporter une réponse à la demande croissante en services de la population, sans que l'organisation mise en place et les technologies mises en œuvre ne sollicitent trop lourdement l'environnement local et global (exploitation des écosystèmes et des ressources naturelles au-delà de leurs capacités de régénération, dégradation de leur capacité à fournir des services écologiques, perturbation de l'équilibre des cycles biogéochimiques terrestres).

Les solutions sont bien sûr à rechercher dans l'amélioration des systèmes techniques, mais aussi dans une modification de l'organisation existante et d'une planification de ces échanges.

Le développement d'outils d'évaluation environnementale et d'éco-conception autour de notions qui intègre progressivement le langage courant à défaut d'être toujours pleinement maîtrisées par leurs utilisateurs (analyses de cycle de vie, bilan carbone⁸, empreinte écologique⁹, analyse multicritères...), appliqués aux projets de construction et d'aménagement à toutes les échelles spatiales (bâtiments, infrastructures, quartiers, ville...), constitue un premier élément de réponse.

La collecte et l'analyse comparative d'expériences réalisées en France ou à l'étranger (notamment dans d'autres pays européens où les orientations sont parfois très différentes) peuvent également fournir une clé d'entrée intéressante. Le développement de modèles abordant de façon globale les aspects liés à la

⁶ NIMBY : Not In My Backyard : littéralement « pas dans mon jardin ».

⁷ UNICEM : Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction.

⁸ Le Bilan carbone est une ACV limitée aux flux de carbone axé sur l'évaluation de l'impact des activités sur les gaz à effet de serre.

⁹ L'empreinte écologique est une ACV dont l'évaluation des impacts, exprimée en hectares, est limitée à la production de ressources renouvelables équivalentes aux ressources consommées par une population ou une activité et à l'assimilation des pressions environnementales afférentes.

consommation d'énergie et de ressources, et ceux associés à la production de déchets à différentes échelles spatiales et susceptibles de servir de support à l'intégration des connaissances, constitue le troisième axe de recherche.

ASURET a pour objectif d'apporter des éléments d'aide à l'orientation d'une politique publique favorisant la réduction globale des impacts liés aux flux de matières premières et secondaires au sein d'un territoire. Les territoires sont définis comme des systèmes qui puisent des ressources dans leur « environnement », les stockent, les transforment et rejettent des déchets et des émissions. Il s'agit de s'interroger sur ce que l'on cherche à préserver, sur l'échelle du territoire pertinent à laquelle doivent être abordées ces questions, sur la méthode de mesure des impacts à l'échelle du territoire considéré.

ASURET se concentrera tout particulièrement, dans une optique de préservation des ressources naturelles et d'atténuation des impacts environnementaux, sur l'optimisation de l'utilisation des flux de matières mobilisées par les activités de construction et d'aménagement au sein de deux territoires : le projet s'appuiera d'une part sur l'étude de la politique générale mise en place par une collectivité (Agglomération d'Orléans) et, d'autre part, un programme de construction/réhabilitation focalisé sur un type d'équipement collectif (collège), dans le cadre des actions menées par le Conseil Général des Bouches-du-Rhône.

1.4. REVUE DE L'EXISTANT

Ce livrable esquisse, au travers d'une revue de l'existant, une première image des enjeux et des notions qui vont être abordés dans les étapes suivantes du projet ASURET. Cette revue de l'existant est articulée autour d'un certain nombre de points que les premiers travaux du consortium ont mis en exergue :

- la complémentarité et les synergies possibles avec des actions et des projets de recherches en cours ou achevés ;
- les flux de matières dans le secteur du BTP au travers d'une première analyse des données accessibles concernant :
 - la description des besoins du secteur du BTP en matière de matériaux minéraux naturels et de produits fabriqués à partir de matières premières naturelles,
 - l'évaluation, la composition et la caractérisation du gisement de déchets du BTP,
 - l'évaluation du gisement de matières premières secondaires (MPS) potentiel,
 - les conditions dans lesquelles la notion de stock peut être mise en œuvre pour décrire les quantités de matières accumulées dans la technosphère,
 - les outils disponibles pour décrire et caractériser l'ensemble des flux et dresser des bilans ;
- la description de la situation actuelle du recyclage et de la valorisation dans le secteur du BTP, à partir de :
 - l'évolution des techniques constructives,
 - l'évolution des techniques de déconstruction,

- la structure des filières de traitement et de valorisation des matériaux de déconstruction,
- l'analyse de la politique des pays européens affichant les meilleures performances dans ce domaine ;
- l'application des concepts d'évaluation environnementale au domaine du BTP ;
- la prise en compte du contexte réglementaire actuel et de ses évolutions prochaines, tant au niveau national qu'europpéen ;
- les enjeux sociétaux, qui sont essentiels dans toute action destinée à permettre une prise de conscience collective au travers d'un changement de paradigme.

2. Complémentarité d'ASURET avec d'autres projets

2.1. PROJET EUROPÉEN « FORWAST »

Le projet FORWAST¹⁰ (*Overall mapping of physical flows and stocks of resources to forecast waste quantities in Europe and identify life-cycle environmental stakes of waste prevention and recycling*) est un projet de recherche ciblé du 6^{ème} programme cadre de R&D de l'Union Européenne (UE).

Ce projet s'est achevé au premier trimestre 2010, l'ensemble des documents publics du projet sont accessibles via le site du projet : <http://forwast.brgm.fr/>.

Le consortium de projet était composé par : BRGM (France), 2.0 LCA (Danemark), RMA (Autriche), TU Vienna (Autriche), U. Stuttgart (Allemagne), U. Thessaloniki (Grèce), GIG (Pologne).

2.1.1. Objectifs

Le projet avait pour objectifs majeurs de fournir pour chacun des 27 pays de l'UE:

- une prévision des stocks de matériaux accumulés et des quantités de déchets attendues au cours des 25 prochaines années ;
- une évaluation des impacts environnementaux de différents scénarios de prévention, de recyclage et de traitement des déchets dans l'UE.

2.1.2. Concept et méthode

Le modèle développé pendant le projet s'appuie sur les tables d'entrées/sorties monétaires de l'économie des 27 pays de l'EU. Ces tables, au format ESA 95 (*European system of account*), représentent pour chaque état membre, d'une part les « productions » (table des entrées) exprimées en valeurs monétaires des différentes activités économiques (divisées en 59 catégories) et, d'autre part, les « consommations » (table des sorties) toujours exprimées en valeurs monétaires.

Ces activités de production et de consommation ont été désagrégées par domaine afin de faire apparaître les activités de traitement de déchets et de valorisation des matières premières secondaires. Par exemple, les activités de productions de métaux ont été subdivisées afin de faire apparaître les productions issues des ressources

¹⁰ FORWAST (<http://forwast.brgm.fr/>)

naturelles et les productions issues du recyclage. La démarche a été déclinée pour chaque type d'activité.

Les tables monétaires ont par ailleurs été doublées par des tables d'entrées sorties exprimées en flux physiques, miroir des flux monétaires (Illustration 1). Les tables monétaires et les tables d'entrées/sorties sont reliées entre elles par une matrice de prix (P).

Des tables (R) de consommations de ressources, d'émissions (-B) dans l'environnement, d'évolution ($-\Delta S$) des stocks de matières accumulées dans la technosphère et de génération de déchets (-Cv) sont sommées. Un bilan massique permet alors de quantifier la quantité de matière accumulée dans les stocks ou générée sous forme de déchets ($-\Delta S - Cv$).

Le modèle, FORWAST, appliqué à une série temporelle, permet de modéliser à l'échelle de l'Europe (EU 27) les quantités de matières accumulées dans la technosphère (les stocks), les déchets générés à un moment donné et la dégradation des stocks qui correspond aux déchets futurs.

Pour chaque activité, l'attribution d'une durée de vie aux produits (Ls) permet de déterminer l'échéance à laquelle ils vont devenir des déchets et donc de distinguer la période durant laquelle ils sont comptabilisés dans les stocks de celle durant laquelle ils vont générer des déchets.

Cette désagrégation des données permet d'analyser les effets de trois scénarios de gestion de déchets :

- un mode gestion de déchets inchangé par rapport à la situation actuelle ;
- un scénario où la part du recyclage est accrue ;
- un scénario qui privilégie une prévention de la production de déchets accrue.

Pour chaque scénario, les résultats du modèle sont :

- une estimation des stocks dans la technosphère. Le modèle permet également de caractériser ces stocks par type de matériaux, de produits et en fonction de leur « localisation » dans l'économie (industrie, ménages, activités de traitement des déchets) ;
- une estimation des flux de déchets générés, quantifiés par type de produit (exemple : produits en caoutchouc et en plastique) et par activité économique (exemple : construction de bâtiments résidentiels) ;
- un calcul de l'impact environnemental associé à chaque unité de produit généré (en kg ou en € pour les activités de service) : pour une activité donnée, les besoins en ressources, les émissions dans l'environnement, les quantités de déchets générées sont déduits du modèle, ce qui permet d'en évaluer l'impact environnemental.

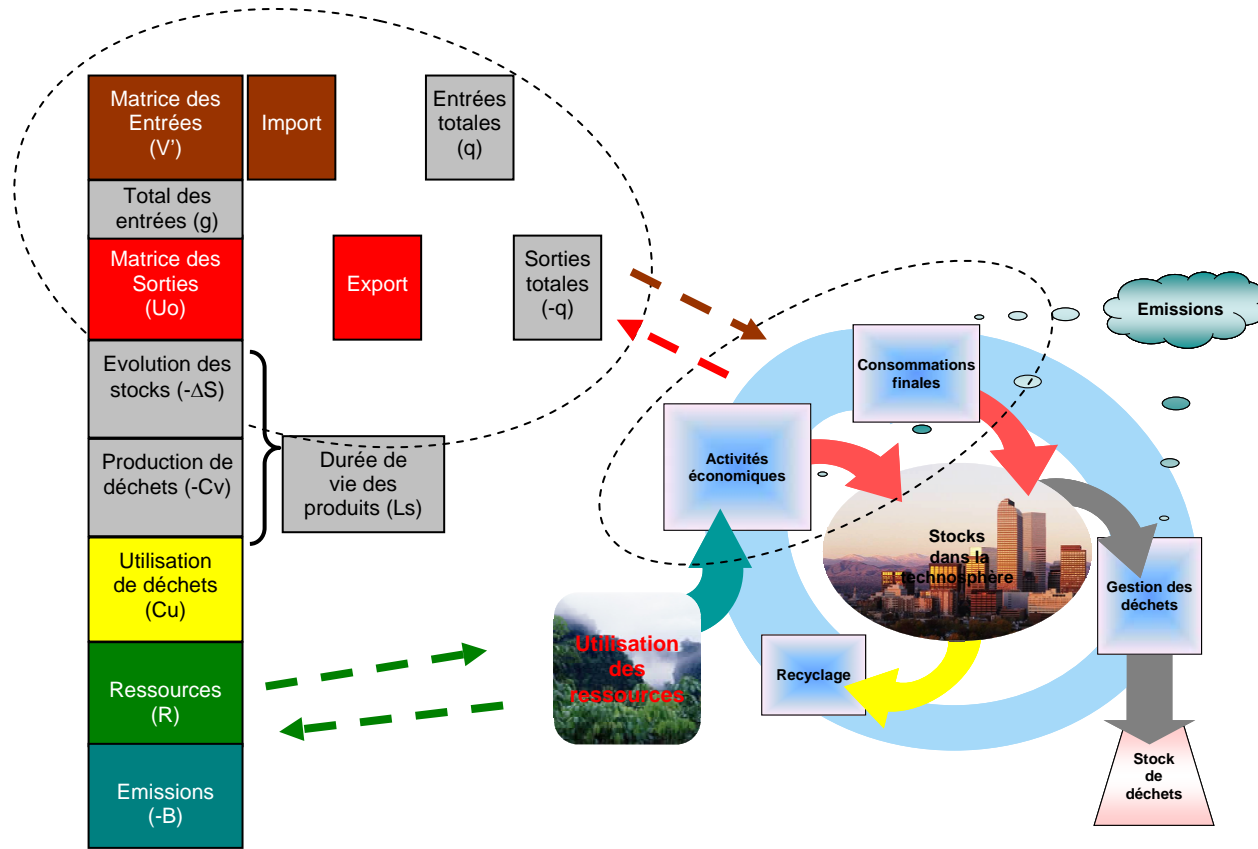


Illustration 1 - Cycle des matières premières dans l'économie et sa représentation dans les tables d'entrées/sorties de flux physiques.

2.1.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET

Un modèle de type Forwast doit permettre d'évaluer à une échelle globale (pays) les stocks de matériaux dans la construction et les infrastructures, ainsi que leur dégradation dans le temps.

Il est par conséquent possible :

- de réaliser une analyse prospective afin d'en déduire les quantités futures de déchets générées, les gisements de matières premières secondaires et les potentialités de valorisation associées ;
- d'évaluer l'impact du développement de pratiques vertueuses de recyclage et d'utilisation des matières premières secondaires dans le secteur de la construction, et des infrastructures sur :
 - les consommations de ressources,
 - le coût énergétique du recyclage,
 - la production de déchets,
 - l'environnement.

Le modèle développé dans le projet Forwast apparaît comme complémentaire d'autres outils qui vont être mis en œuvre dans ce projet à une échelle locale (ville d'Orléans, et collèges des Bouches-du-Rhône) : le MFA (estimation des flux et des stocks physiques) et le SIG (représentation géolocalisée de ces flux et stocks).

La confrontation entre l'approche globale développée au travers de FORWAST et les approches locales au niveau de territoires d'extension plus réduite permettra :

- d'alimenter la discussion autour de la notion d'échelle d'observation des conditions dans lesquelles des extrapolations peuvent être envisagées ;
- de discuter des écarts, des incertitudes afférentes à ces différentes approches, de discriminer et de hiérarchiser les paramètres, de valider ou infirmer les observations faites à l'échelle locale ;
- de fournir des données en cas d'absence de données ou de données lacunaires à l'échelle locale.

2.2. PROJET ANR « CONFLUENT »

2.2.1. Objectifs

Le projet ANR « Villes Durables » CONFLUENT (CONnaissance des Flux Urbains et Empreintes des Territoires) a débuté en 2009.

Le projet est coordonné par Sabine Barles (Université Paris Est – LATTs). Outre l'UMR LATTs et le CREIDD (UMR STMR), le troisième partenaire est l'équipe UMR Sisyphe de l'Université Paris VI

Ce projet s'intéresse à l'amélioration des méthodologies de mesure des métabolismes urbains dans une perspective de mise en place et d'amélioration de stratégies territoriales durables.

2.2.2. Concept et méthodes

La conduite de ce projet repose sur deux grands axes :

- améliorer les méthodologies de mesure du métabolisme des territoires, en particulier dans le domaine alimentaire et énergétique, ainsi que les méthodes de détermination de l'empreinte des territoires (empreinte aquatique, alimentaire, énergétique...);
- contribuer, grâce aux indicateurs issus du travail précédent, à la détermination de stratégies territoriales durables, à l'aide en particulier de cellules de réflexion multi-acteurs au niveau des territoires de l'Aube et du Grand Toulouse. Les deux domaines d'application seront le domaine de l'alimentaire et celui de l'énergie dans les bâtiments.

2.2.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET

En s'intéressant aux flux de la déconstruction des bâtiments, et en ayant également recours à la méthodologie du métabolisme et de l'Analyse des Flux de Matière et d'Énergie, le projet ASURET permet de s'intéresser plus en détail au métabolisme des bâtiments que ne pourra le faire CONFLUENT, en particulier pour cette phase de fin de vie, aujourd'hui relativement peu maîtrisée. Par ailleurs, tout comme dans CONFLUENT, il sera question d'une compréhension du jeu d'acteurs et des questions de coordination essentielles à toute démarche efficace d'écologie industrielle et territoriale.

2.3. PROGRAMME « ÉCOLOGIE TERRITORIALE »

2.3.1. Objectifs

Associée aux communes de Lomme et de Hellemmes, la ville de Lille, déjà impliquée depuis plusieurs années dans le développement durable, s'est engagée en 2005 dans une démarche d'écologie territoriale¹¹, afin de réduire ses impacts environnementaux et améliorer sa gestion des ressources.

¹¹ L'écologie territoriale assimile le fonctionnement d'un territoire à celui d'un écosystème. L'objectif est de disposer d'une cartographie de flux circulant à travers le territoire d'étude et de déterminer les consommations directes (par matière, par secteur) et indirectes (flux cachés ou énergie grise). La démarche vise notamment à optimiser l'utilisation de ressources et d'énergie et limiter les productions de déchets et de nuisances, par une mutualisation, un partage et des échanges entre acteurs du territoire, permettant ainsi la création locale de nouvelles activités de production, de transformation et de services.

Le projet, mené en partenariat avec GDF Suez et l'association Auxilia, a en particulier consisté en une analyse de flux de matières et d'énergie (AFME), préalable indispensable à la compréhension des flux physiques traversant le territoire. Cette démarche a permis, par la création de nouvelles voies de coopération entre les acteurs du territoire et une meilleure compréhension des flux de matières et d'énergie, de mieux appréhender le territoire lillois.

2.3.2. Concept et méthodes

L'adaptation de la méthodologie proposée par Eurostat en 2001 à la ville de Lille a nécessité la collecte des données existantes à cette échelle et l'extrapolation de données disponibles à d'autres échelles. Le territoire lillois importe, consomme, transforme de l'énergie et des matières premières puis exporte des produits et rejette des déchets, des gaz à effet de serre... Les flux étudiés sont ceux identifiés comme les plus importants au regard des enjeux du développement durable et des activités du territoire lillois : l'énergie (gaz naturel, charbon, fioul, pétrole, électricité, bois), l'eau (eau potable, eau industrielle, eau de remontée de nappe, eau superficielle, eau de pluie, eau en bouteille), les matériaux de construction (béton, ciment, brique, tuile, verre), les produits alimentaires (alimentation humaine), le textile, le bois, le papier-carton, les métaux et le plastique.

Le bilan matières effectué dans le cadre de l'étude, achevée fin 2007, a fait émerger deux possibilités très concrètes de valorisation de la matière :

- les matériaux de construction. Un processus de déconstruction privilégiant systématiquement le tri des matériaux *in situ*, plutôt que l'évacuation sous la forme d'un flux mêlé, permettrait d'envisager une réutilisation locale et optimale des matières. Dans le cas de la ville de Lille, le flux de matières excavées est estimé à 150 kt par an, ce qui correspond à plus de 10 000 rotations de camions bennes (de 15 tonnes). Selon une estimation d'une grande entreprise de déconstruction/démolition du secteur lillois, seulement 10 à 20 % du volume de ces déchets de terrassement (terre excavée) sont recyclés, contre 80 à 90 % des déchets de déconstruction (en particulier le flux de briques). À la suite de cette étude, un projet d'élaboration de charte de déconstruction a vu le jour. L'objectif est de pouvoir démonter et trier des matériaux valorisables avant démolition des bâtiments, ces matériaux pouvant ainsi être réutilisés et recyclés ;
- les textiles usagés (coton). L'AFME a permis de détecter une opportunité locale d'utilisation dans la fabrication de matériaux isolants pour le secteur de la construction. Un volume de 207 tonnes en 2005 de déchets textiles a ainsi été collecté. D'après les spécialistes, ce volume peut être facilement augmenté.

2.3.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET

Le programme « Écologie territoriale » rejoint plusieurs préoccupations d'ASURET, notamment vis-à-vis :

- de l'analyse des flux de matières sur un territoire (pour la partie matériaux de construction notamment) ;

- de la réflexion conduite autour des modes de coopération entre les acteurs du territoire.

2.4. PROJET ANR « ANTAG »

2.4.1. Objectifs

Le projet ANR **ANTAG** (Anticipation de l'accès à la ressource granulats par rupture des schémas actuels à long terme) d'une durée de 3 ans s'est achevé en juin 2010).

Le consortium du projet rassemblait :

- l'UNICEM qui représente les producteurs et une grande majorité des consommateurs de granulats ;
- le laboratoire ARMINES (École des Mines de Paris) ;
- l'équipe « Mining Engineering & Mineral Economics » de l'Université Minière de Leoben en Autriche ;
- le BRGM.

Ces trois derniers membres du consortium font partie de la plateforme technologique européenne traitant du développement durable des ressources minérales.

Les résultats du projet sont disponibles sur le site suivant : <http://antag.brgm.fr>.

2.4.2. Concept et méthodes

Ce projet avait pour objectif de fournir un modèle de calcul permettant d'anticiper des situations de « crise » concernant la ressource en granulats en France, à une échéance à long terme de 20 à 30 ans et de simuler des évolutions du marché du granulat en s'éloignant plus ou moins significativement du mode de fonctionnement actuel analysé d'après les observations de l'UNICEM de 1995 à 2005.

Les éléments déclencheurs susceptibles de provoquer une modification du comportement du marché des granulats (action de rupture) peuvent être de nature diverse comme par exemple une décision politique (réduction des possibilités d'exploitation, taxation des impacts environnementaux) ou une évolution du contexte économique français.

Le contexte dans lequel ces éléments déclencheurs interviendraient n'est pas exploré spécifiquement par le projet ANTAG, plutôt orienté vers l'étude de leurs effets sur l'accès à la ressource dans la logique « what if » : ANTAG essaie d'apporter une proposition de réponse à des questions du type : comment le marché du granulat va évoluer si les possibilités d'exploitation sont réduites ?

Ce projet est basé sur le développement et l'exploitation d'un modèle représentatif du marché du granulat qui s'attache à simuler les effets en termes de coûts, d'impacts environnementaux et sociétaux de ces actions de rupture.

Il s'agit d'une approche de type macro-économique avec l'exploitation de modèles mathématiques dans un système dynamique. L'outil de modélisation utilisé Vensim®¹², est un outil visuel qui permet de conceptualiser, simuler, analyser et optimiser des modèles de systèmes dynamiques (ses caractéristiques incluent des fonctions dynamiques, l'analyse de sensibilité de Monte-Carlo, de l'optimisation, du traitement de données et des interfaces d'application).

Le premier aspect du projet a consisté à modéliser les processus qui conditionnent le fonctionnement du marché du granulat depuis le lieu de production vers son lieu d'utilisation. Les paramètres clefs pris en compte sont :

- la capacité non consommée en tonne par an (différence entre la somme des capacités de production et la somme des demandes) qui pilote le marché ;
- la production locale (à partir de roches massives et meubles) ;
- la capacité de production ;
- la demande et le stock de réserves accessibles¹³ ;
- les besoins en granulat pour la construction (génie civil et travaux publics) qui conditionnent la demande locale (en tonne par an) ;
- les modalités de transport des granulats entre sources de production et les points de consommation. Une réflexion a été menée sur cet aspect (transport par route, rail ou voie fluviale).

Le second aspect du projet consistait à imaginer des scénarios permettant de simuler des évolutions du marché du granulat s'éloignant plus ou moins significativement des schémas actuels. Huit scénarios ont ainsi été finalement retenus :

- « Cas de base » : poursuite du fonctionnement actuel sur toute la période de la simulation (de 1995 à 2005, les données réelles sont utilisées pour le calage ; une extrapolation est réalisée de 2006 à 2037) ;
- « Ralentissement économique » afin d'étudier les conséquences sur la demande en granulats d'une diminution de l'activité économique (simulé par une diminution du facteur de progression du PIB) ;
- « Intensification du recyclage » avec une augmentation significative du recours aux granulats issus du recyclage des produits de démolition. La capacité de recyclage a été estimée à 124 Mt/an pour toute la France métropolitaine en 2035 (pour 24 Mt/an actuellement en 2005), ceci sans présager des conditions dans lesquelles ces 124 Mt seraient produites et consommées. Ce scénario permet d'estimer les éventuels gains en termes de préservation des ressources naturelles et d'impacts environnementaux sur ces 30 ans ;

¹² Informations disponibles sur : www.vensim.com

¹³ Réserves exploitables non contraintes par des problèmes d'acceptation sociale ; l'acceptation sociale, mesurée en %, sa mesure étant difficile, ce facteur est, au moment du calibrage, gardé constante à sa valeur maximale de 100 %.

- « Réduction des besoins » dictée par des améliorations technologiques aboutissant à une diminution de la consommation de granulats à surface de bâtiment construite équivalente et par l'emploi de matériaux de substitution ; l'objectif, volontairement très optimiste, est fixé à 1 tonne de granulats consommés par m² dans le bâtiment¹⁴ ;
- les autres scénarios sont associés à :
 - une utilisation accrue de modes alternatifs de transport,
 - une importation massive de granulats afin de préserver les ressources naturelles nationales,
 - des contraintes croissantes sur les conditions d'accès aux sites de production locaux de roches meubles pour des raisons d'acceptabilité sociale, avec ou sans un report progressif sur les roches massives.

Les scénarios se déclinent selon le découpage retenu qui est celui du découpage régional des SDAGE (Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux) avec les données contextuelles qui lui sont propres. Le territoire national est ainsi découpé en 6 régions.

Pour chaque territoire étudié, les scénarios ont été déclinés suivant leur pertinence vis à vis du contexte. L'évolution du marché du grulats dans les territoires concernés et ces conséquences sont alors évaluées année par année jusqu'en 2037 sur la base :

- des indicateurs annuels de fonctionnement du marché¹⁵ ;
- des indicateurs des aspects « transport »¹⁶ ;
- des indicateurs d'impacts environnementaux tels que les émissions de CO₂ (en tonne par an) dues aux activités de production (consommation d'énergie) et de transport et à l'occupation de surface notamment.

Par rapport aux deux territoires d'étude du projet ASURET, l'étude de cas sur la Ville d'Orléans pourra bénéficier de l'analyse des scénarios de prospective sur la ressource grulats déclinés sur le territoire du SDAGE Loire-Bretagne et l'étude de la construction de collège dans le département des Bouches-du-Rhône de l'analyse des scénarios sur le territoire du SDAGE Rhône-Méditerranée.

2.4.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET

Par rapport à ses objectifs, le projet ASURET pourra bénéficier de l'analyse du fonctionnement du marché du grulats et des éléments des scénarios prospectifs du projet ANTAG, ainsi que des évaluations techniques et des développements méthodologiques réalisés dans le cadre de ce projet.

¹⁴ Contre 2,0 t actuellement et 1,75 t à l'horizon 2035 dans la continuité.

¹⁵ La demande annuelle locale et totale, les productions locales, importées ou issues du recyclage de déchets de démolitions, les capacités non consommées (en t/an) et les réserves autorisées (en t).

¹⁶ Les quantités associées au transport extérieur et local par route (en t/an), la distance moyenne parcourue sur route (en km), les flux transportés (en t/km/an).

Plus précisément, l'étude du travail réalisé dans le cadre du projet ANTAG permettra :

- d'améliorer notre compréhension du marché du granulat et de mieux appréhender les facteurs susceptibles d'influencer les différents équilibres lors de la conception d'un outil d'aide à la décision dédié à l'optimisation de la gestion des flux de matériaux (tâche 5.1 du projet ASURET) ;
- de bénéficier du retour d'expérience sur les supports informatiques utilisés pour le volet représentation cartographique dynamique du projet (sous-tâche 4.3).

2.5. PROJET RECORD « DÉCHETS DE DÉMOLITION ET DÉCONSTRUCTION »

2.5.1. Objectifs

Le projet « *Déchets de démolition et déconstruction* » lancé par l'association RECORD vise à faire le point sur les pratiques en matière de production, de traitement et de valorisation des déchets de démolition et déconstruction et de formuler une analyse critique de cet état des lieux. Il s'inscrit dans le cadre de la mise en place des mesures réglementaires définies par la directive 2008/98/CE sur les déchets et par les lois nationales Grenelle I et II en matière de gestion et valorisation des déchets de démolition.

Ce travail est essentiellement mené en s'appuyant sur des données nationales et européennes. Il est également alimenté par des retours d'expérience recueillis auprès de maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre et entreprises du bâtiment.

Ce projet, d'une durée de 12 mois a s'achève à la fin de l'année 2010. Le consortium du projet rassemblait POLDEN (INSAVALOR) et 13 Développement.

2.5.2. Concept et méthodes

La première phase de l'étude visait, à partir d'une synthèse de la réglementation nationale et européenne sur la gestion et la valorisation des déchets de démolition, à dégager de l'état des lieux des informations disponibles sur le sujet, des interrogations, lacunes ou incertitudes quant à la qualité des données et les réelles pratiques en matière de valorisation de déchets de déconstruction/démolition.

Sur la base du bilan des données existantes et des lacunes et incertitudes mises en évidence, une grille d'entretien a été construite pour servir de support d'entretien auprès de différents acteurs impliqués dans la gestion des déchets de démolition/déconstruction. Des entretiens sont menés dans le cadre de la seconde phase, en cours, auprès de représentants des acteurs institutionnels, de maîtres d'ouvrage et assistants à maître d'ouvrage, de prestataires d'études préalables, d'opérateurs de travaux, de prestataires de gestion de déchets et d'utilisateurs finaux de matériaux recyclés.

À partir des données recueillies auprès des différents acteurs interrogés, une analyse critique sera proposée par leur rapprochement avec les données génériques existantes.

Les différents retours d'expériences recueillis au cours des phases 1 et 2 seront synthétisés en termes de freins et leviers à la valorisation des déchets de démolition pour déboucher sur des recommandations de mesures et de pistes de recherche et développement en faveur de la valorisation des déchets de démolition et de l'optimisation des flux matière – énergie.

Ce travail est effectué pour partie par 13 Développement et POLDEN.

2.5.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET

Le projet ASURET pourra bénéficier de plusieurs des acquis du projet RECORD :

- qualité des données et les réelles pratiques en matière de valorisation de déchets de déconstruction/démolition ;
- freins et leviers à la valorisation des déchets de démolition ;
- mesures et pistes de recherche et développement en faveur de la valorisation des déchets de démolition et de l'optimisation des flux matière – énergie.

2.6. ACTION DE RECHERCHE « ÉVALUATION DES SYSTÈMES URBAINS »

2.6.1. Objectifs

L'action de recherche « *Évaluation intégrée des systèmes urbains* » s'inscrit dans le cadre du programme de recherche Villes et Territoires Durables du CSTB qui vise à apporter aux collectivités locales et aux opérateurs urbains des méthodes et outils pour un développement urbain durable.

Il s'agit d'une action de recherche interne au CSTB.

2.6.2. Concept et méthodes

Inscrite dans l'axe thématique « Concevoir la ville en évaluant les systèmes urbains », cette action de recherche, dans une approche d'écologie territoriale, tend à appréhender le cycle des ressources : matière, eau et énergie. Elle aborde notamment la problématique des ressources et déchets pour le secteur de la construction. Sur cet axe, l'objectif est d'apporter des éléments d'aide à l'orientation d'une politique publique favorisant la réduction globale des impacts liés aux flux de matières premières et secondaires à l'échelle d'un territoire.

2.6.3. Valorisation potentielle dans le projet ASURET

Les synergies entre ce projet et ASURET sont notamment à rechercher du côté des aspects liés aux ressources et aux déchets dans le domaine de la construction, aux éléments d'aide susceptibles d'aider à l'orientation des politiques publiques et la réduction des impacts, notamment liés aux flux de matières premières et secondaires.

3. Flux de matières dans le secteur du BTP

3.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Au niveau national, la consommation intérieure de matières en 2007¹⁷ s'élève à 909 millions de tonnes (Mt) de matières. Les minéraux à usage principal dans la construction (autour de 450 Mt) et la biomasse issue de l'agriculture et de la pêche destinées à une utilisation humaine ou animale, en grande partie extraits du territoire, constituent à eux seuls les trois quarts de la consommation intérieure de matières.

Le projet ASURET vise à proposer à l'ensemble des acteurs de la construction et de l'aménagement du territoire (construction et déconstruction de bâtiments, d'équipements, d'infrastructures) une approche et une méthodologie d'aide à la décision, en vue de réduire les impacts environnementaux de ces activités – tout particulièrement ceux liés à la consommation de ressources naturelles – tout en apportant des éléments concrets pour le développement de filières de recyclage.

Le projet ASURET s'intéresse prioritairement aux matériaux minéraux naturels, auxquels appartiennent les granulats, et dont les flux et les consommations au sein d'un territoire sont très mal décrits, faute d'indicateurs pertinents. Le granulat est le produit pondéré le plus consommé par le secteur du BTP. Il sert notamment de matériau de base pour la fabrication du béton prêt à l'emploi (coulé sur les chantiers) et des produits préfabriqués en béton, d'autre part pour la construction des infrastructures routières et ferroviaires (terrassements, couches de roulement, ballast...).

Le besoin annuel en matériaux minéraux naturels à usage principal pour le BTP issus des activités d'extraction s'élève à plus de 435 Mt (en comptabilisant seulement que les granulats, graviers, sables et gypse). Les matériaux de construction produits en partie à partir de ces matériaux extraits représentent plus de 115 Mt d'après les données qui ont pu être recueillies (cf. Illustration 3).

Les matériaux minéraux naturels (de type granulats notamment) ou secondaires (plâtre...) ciblés à priori dans le cadre du projet ASURET représenterait, par exemple, 92 % en masse des matériaux utilisés dans une maison traditionnelle en brique par exemple selon Tanikawa (2005) avec les granulats, bétons, mortiers, briques - le bois représenterait 6 %, les métaux (acier) moins de 0,3 %, le reste étant constitué de matériaux non précisé.

Hormis les minéraux à usage principal dans la construction, selon le Commissariat général au développement durable (2009), les ressources épuisables incluent les métaux, les minerais non métalliques, les combustibles fossiles, et les produits qui sont

¹⁷ Source : Commissariat général au développement durable - Service de l'observation et des statistiques (2010) Les ressources et les déchets, L'environnement en France, juin 2010.

majoritairement composés de ces matières brutes. Il a donc été décidé de mener une première réflexion sur les masses en jeu utilisées dans le BTP pour évaluer de manière plus globale l'utilisation des ressources dites épuisables (ou les produits qui sont majoritairement composés de ces matières brutes) dans le BTP. L'illustration 2 synthétise les données recueillies ; celles-ci seront détaillées dans le paragraphe 3.2. À noter qu'aucune donnée sur la production de matériaux, tels que la laine de roche ou les matériaux en fibre-ciment utilisés dans le BTP, n'a pas été recueillie comme les quantités extraites d'argiles, pierres et ardoises pour le BTP.

Matériaux à usage principal pour le BTP En millions de tonnes par an	Toutes activités BTP	<i>Source</i>
Minéraux à usage principal dans la construction		
Issus des activités d'extraction		
Granulats, graviers et sables	430,5	<i>Production 2008, UNICEM Pour la fabrication du plâtre et dérivé et la filière ciment, SNIP, 2005-2006</i>
Gypse	5,0	
Issus des activités de production de matériaux de construction		
Ciments (à base d'argile, calcaire et gypse)	21,4	<i>Syndicat Français de l'Industrie Cimentière, 2008</i>
Mortiers	2,8	<i>Production 2008, UNICEM</i>
Béton prêt à l'emploi	44 Mm ³	
Produits en béton	30	
Briques, tuiles et produits de construction en terre cuite	5,6	<i>Fédération des Tuiles & Briques, 2008</i>
Plâtres et éléments en plâtre (à base de gypse)	4,2	<i>Syndicat des industries du plâtre (SNIP), 2006</i>
Chaux	3,2	<i>Production totale, tous secteurs d'utilisation confondus SESSI (2004)</i>
Bitume routier, enrobés, émulsion, liants bitumineux	47,2	<i>Union des Syndicats de l'industrie Routière Française (USIRF), 2008</i>
Dont bitume	3,36	
Dont enrobés	41,80	
Dont émulsion	0,91	
Dont liants bitumineux	1,14	
Produits en matières plastiques pour le BTP	1,2	<i>Fédération Nationale de la Plasturgie, 2003</i>
Éléments métalliques principalement utilisés : acier (fondation, gaine/tube...), aluminium (menuiserie...), cuivre (tuyau d'alimentation) et zinc (couverture...).	Pas de données spécifiques au BTP	

Illustration 2 - Estimation du besoin annuel en matériaux ou produits pour le BTP en France extraits ou fabriqués à partir de ressources dites épuisables.

Ont été ainsi identifiés les métaux et les produits fabriqués à partir de produits pétroliers comme les plastiques et bitumes.

En effet, dans l'industrie routière, 47,24 millions de tonnes de bitume routier, enrobés, émulsion, liants bitumineux ont été produites en 2008 selon l'USIRF (l'Union des Syndicats de l'industrie Routière Française). Le groupe COLAS¹⁸ annonce par exemple qu'en incorporant 9 % en moyenne d'enrobés recyclés en 2007, dans la totalité de sa production, ce qui représente une économie de près de 3,5 Mt de granulats de qualité, soit l'équivalent de la production de 35 centrales d'enrobage, ainsi qu'une économie d'environ 175 000 tonnes de bitume, soit la production de bitume d'une raffinerie de moyenne importance. Vu les masses en jeu pour l'industrie routière et le fait que le recyclage des enrobés est une des filières de recyclage des déchets du BTP opérationnelles, la prise en compte des matériaux bitumeux dans le cadre du projet ASURET s'est relevé être pertinente.

Selon la Fédération Nationale de la Plasturgie, le secteur du bâtiment consomme 23 % (1,2 Mt) de la totalité des matières plastiques produites en France (données 2003). Même si les masses en jeu ne sont pas du même ordre que les matériaux minéraux naturels, la prise en compte des bitumes dans le champ d'étude du projet ASURET implique dans un souci de cohérence de considérer également les plastiques dans le projet (pour le volet consommation de ressources produites à partir de produits pétroliers, ressources épuisables).

De plus, on peut penser que les contraintes sur ces produits pétroliers vont à terme influencer la valeur marchande des matériaux et soutenir le développement de filières de recyclage dédiées¹⁹.

L'étude d'Emery *et al.* (2007)²⁰ par exemple a permis d'estimer la valeur marchande des matériaux « recyclables » contenus dans une habitation traditionnelle. Les principaux contributeurs identifiés à la valeur marchande globale estimée (combinaison des masses en jeu et des valeurs marchandes de chaque matériau) sont : « *steel frames, concrete products, plaster board and other boards, insulation, doors, floor coverings, furniture and pipes* ».

À titre d'illustration, le cours de la ferraille de fer (utilisée pour la production d'acier) a ainsi augmenté de 50 % entre la mi 2009 et la mi 2010, alors que le cours du cuivre (minerai) avait presque retrouvé à l'été 2010 son plus haut niveau (2006 – 2007). Ces fluctuations se traduisent à la fois par des tensions sur les marchés, mais également par un afflux de matériaux à recycler. La filière métaux est une autre filière de recyclage des déchets de chantier bien implantée.

¹⁸ <http://www.colas.com/>

¹⁹ En France, la filière de recyclage du PVC des déchets de chantier du bâtiment a vu le jour en mars 2003. Toutes activités confondues (construction, démolition et réhabilitation), les déchets en PVC du bâtiment étaient estimés en 2005 à 15 000 tonnes en France par PVC-Recyclage (cf. § 4.4.2).

²⁰ S.B. Emery *et al.* (2007) - Resources, Conservation and Recycling 52 (2007), p. 395-409.

Minéraux à usage principal pour le BTP En millions de tonnes par an	Bâtiment	Source	Travaux publics	Source	Toutes activités BTP	Source
Issus des activités d'extraction						
Graviers et sables			398,4	Granulats éruptifs, Sables, graviers d'alluvions, Granulats calcaires, pour l'industrie routière, USIRF	430,5	Production 2008, UNICEM
Gypse	4,2	Fabrication de plâtre, estimations d'après données (SNIP)				
Calcaire, craie et dolomite	0,8	Fabrication de ciment				
Argiles et kaolin	?		?		?	
Pierres et ardoises						
Issus des activités de production de matériaux de construction						
Ciments (à base d'argile, calcaire et gypse)					21,4	Syndicat Français de l'Industrie Cimentière, 2008
Bétons et Mortiers	28,3	Fédération de l'Industrie du Béton, 2008			32,8	Production 2008, UNICEM
<i>Dont mortiers</i>					2,8	
<i>Dont béton prêt à l'emploi</i>					44 Mm ³	
<i>Dont produits en béton</i>					30	
Briques, tuiles et produits de construction en terre cuite	5,6	Fédération des Tuiles & Briques, 2008				
Plâtres et éléments en plâtre (à base de gypse)	4,2	Syndicat des industries du plâtre (SNIP), 2006				
Chaux					3,2 ²¹	SESSI (2004)
Fibre-ciment	?	couvertures ²² ou bardages		Syndicat des Industries Françaises du fibres-ciment		
Laine de roche	?					

Illustration 3 - Estimation du besoin annuel en minéraux pour le BTP en France.

²¹ Production totale, tous secteurs d'utilisation confondus.

²² Plaques ondulées, plaques support de tuiles canal, ardoises en fibres-ciment...

Dans une optique de préservation des ressources naturelles et d'atténuation des impacts environnementaux, le projet ASURET s'intéresse aux matériaux utilisés pour le BTP qui pèsent sur les ressources épuisables (détails au § 3.2) et qui, in fine, après déconstruction/démolition des bâtiments ou infrastructures puissent être en partie réutilisés/recyclés comme matière première secondaire dans des filières de recyclage bien implantées ou en devenir (filières détaillées dans le § 4.4.2). Une première analyse des données par le Consortium Asuret a ainsi montré que d'autres matériaux utilisés dans les chantiers BTP pourraient être intégrés à l'étude.

Il a donc été décidé par le Consortium **Asuret, d'intégrer aux données prises en compte par ASURET, les bitumes, les plastiques et métaux.**

3.2. BESOINS EN MATIÈRES PREMIÈRES DU BTP

Les besoins en matières premières du BTP à l'échelle nationale sont décrits dans ce paragraphe. Ont été étudiés les produits ou matériaux extraits ou fabriqués à partir de ressources dites épuisables pour le BTP (données synthétisées dans l'illustration 2) à savoir les minéraux à usage principal dans la construction, bitumes, plastiques et métaux.

Minéraux à usage principal dans la construction

Une estimation du besoin annuel en minéraux à usage principal pour le BTP en France a pu être réalisée par type de matériaux sur la base des informations recueillies auprès des syndicats et organisations professionnelles (voir l'illustration 3).

• Gypse et plâtre

En 2005 et 2006, 5,3 Mt²³ de gypse ont été extraites annuellement du sol français de la quinzaine de carrières exploitées, alors que dans le même temps, 0,3 Mt de gypse était importé chaque année.

Ce gypse est principalement utilisé :

- à 80 % pour fabriquer du plâtre et des dérivés, soit 4,23 Mt/an ;
- à 15 % (soit 0,80 Mt/an) par la filière ciment ;
- à 5 % par l'industrie chimique, soit 0,26 Mt/an.

Le gypse est majoritairement utilisé dans le bâtiment (construction et rénovation), comme enduit ou pour la fabrication d'éléments en plâtre (carreaux et plaques principalement), dans une moindre mesure pour des travaux de finition (stuc, staff), la fabrication de moules (industrie céramique par exemple) ou comme additif.

²³ Données issues du dossier de presse du colloque « *Du gypse au plâtre – Au cœur de la construction durable* » organisé par le Syndicat National des Industries du Plâtre (SNIP) en septembre 2007.

Produit / matériau	1998	2000	2005	Unité
Plaques ou planches de plâtre	184	209	249	Millions de m ²
Autres planches, plaques, carreaux de plâtre	12	11	8	
Ouvrages en plâtre	19	18	19	
Plâtre	1 052	1 016	864	Millions de tonnes
Gypse et anhydrite	2 070	2 156	1 640	

Illustration 4 - Évolution de la production de plâtre et produits à base de plâtre entre 1998 et 2005 (Source : UNICEM) – Champ : Entreprises de 20 salariés ou plus.

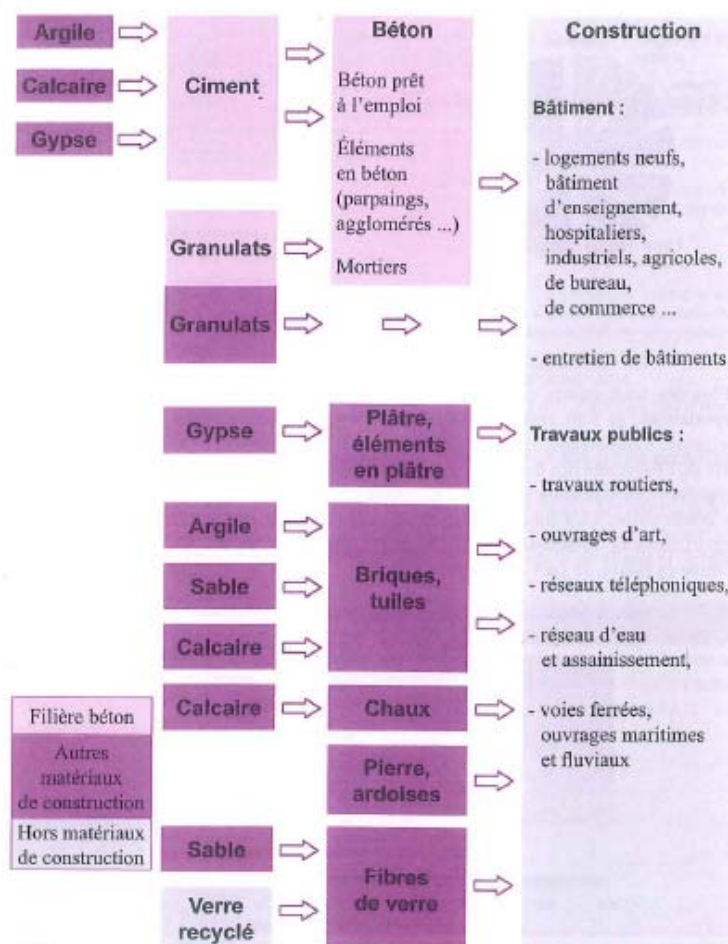


Illustration 5 - Quel produits pour quels marchés - Principaux débouchés des matériaux à base de gypse dans le domaine des matériaux et de la construction (Les matériaux de construction, Edition 2007 SESSI).

Le BTP constitue une voie très largement prépondérante pour l'utilisation des produits à base de gypse, puisque ce secteur d'activité absorbe 95 % de la production annuelle.

Les entrées de matière « gypse » immobilisée sous forme de bâti représentent donc environ 4,2 Mt/an si l'on considère que les seuls 80 % du gypse utilisés pour la fabrication du plâtre et de ses dérivés sont potentiellement accessibles au recyclage. Le devenir de ce stock est fortement lié à la durée de vie des bâtiments (ou à la périodicité de leur réhabilitation) et au développement de filières de recyclage ou de revalorisation.

La consommation annuelle de plaques de plâtre atteint environ de 280 M m² (dont 40 M m² importés) sur le territoire français selon le SNIP, avec une croissance annuelle du marché de 50 % au cours des dix dernières années.

À l'inverse, la production de plâtre a baissé de près de 15 % entre 2000 et 2005.

Au niveau Européen²⁴, la consommation de plaques est de 4 m²/hab./an en France (2005), alors qu'en Europe orientale elle est inférieure à 1 m² par habitant (10 m²/h/an aux États-Unis) bien qu'elle progresse sensiblement (+ 8 % à 15 % chaque année, voire davantage).

• Granulats

Le Commissariat Général au Développement Durable (2009)²⁵ estimait à 447 millions de tonnes²⁶ la consommation de minéraux à usage principal dans la construction pour l'année 2006, ce qui représente environ 7 tonnes par habitant.

L'UNICEM, dans son communiqué de presse du 16 mai 2008 (UNICEM, 2008b), a alerté les Pouvoirs publics sur les incertitudes qui pèsent sur l'approvisionnement en matériaux de construction, alors que la demande en matériaux devrait rester soutenue au cours des 15 à 20 prochaines années.

L'UNICEM mentionne à cette occasion les besoins en granulats pour la construction :

- 100 à 300 tonnes pour un logement individuel ;
- 20 000 à 40 000 tonnes pour un hôpital, un lycée ;
- Environ 10 000 tonnes par kilomètre de voie ferrée.

Les granulats extraits, recyclés et matériaux assimilés et granulats artificiels sont utilisés à hauteur de :

²⁴ Données SESSI.

²⁵ Commissariat Général au Développement Durable : « *Matières mobilisées par l'économie française, Comptes de flux pour une gestion durable des ressources* », Service de l'observation et des statistiques, n° 6, Juin 2009.

²⁶ Somme des flux de matières extraites du territoire ou importées, minorée des flux de matières exportées (elle correspond à la quantité de matières consommées par la population présente sur le territoire pour ses besoins propres).

- 145 millions de tonnes (Mt) pour la construction (bâtiments et ouvrages d'art) ;
- 415 Mt pour l'aménagement du territoire (voies de communication et zones d'activités) ;

soit 560 Mt au total selon l'Union Nationale des Producteurs de Granulat (UNPG, 2009).

L'UNICEM, dans son enquête de branche 2008, affiche une production de granulats de 430,5 Mt pour l'année.

Pour le volet travaux publics, seuls les matériaux utilisés pour l'industrie routière sont recensés, ces travaux représentant 35,7 % des travaux réalisés dans le domaine des travaux publics en 2008 (en pourcentage du chiffre d'affaire annuel des TP en 2008). Les autres grands postes de travaux identifiés dans ce domaine sont les suivants : canalisation (17,7 %), terrassement (17,1 %), travaux électriques (12,5 %), ouvrage d'art et équipement industriel (9,0 %) d'après la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP)²⁷.

3.2.1. Produits réalisés à partir de matériaux naturels et à usage principal dans la construction et le BTP

• Ciment

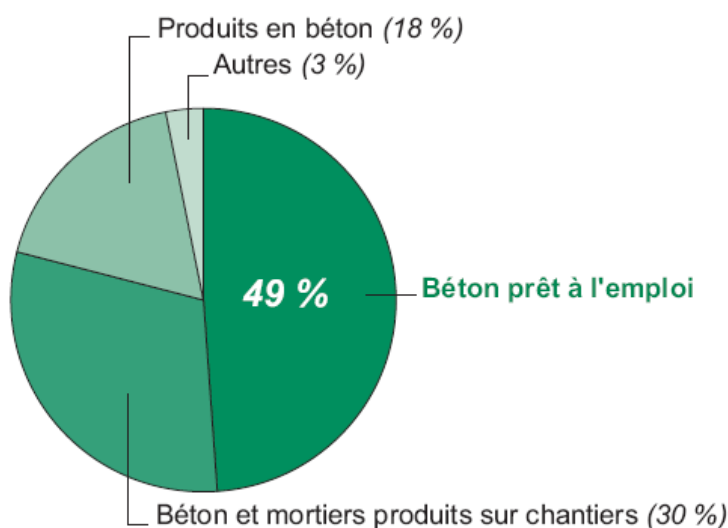


Illustration 6 - Consommation de ciment en France (2004 – Données SESSI).

Le ciment est produit à partir de la cuisson à 1 450 °C d'un mélange constitué principalement de calcaire, d'argile et de gypse. Les 22 Mt consommées chaque année sont utilisées principalement dans la construction neuve (bâtiment, ouvrages d'art). Les

²⁷ Travaux souterrains (1,2 %), travaux en site maritime ou fluvial (1,5 %), travaux en génie agricole (0,3 %), voies ferrées (1,6 %), fondations spéciales, sondages et forages (3,4 %).

importations représentent à peu près 10 % de la consommation intérieure, alors que les exportations représentaient environ 1,2 Mt en 2004 (données SESSI).

En 2008, selon l'enquête de branche de l'UNICEM, la production de ciment s'élevait à 21,4 Mt (données du Syndicat Français de l'Industrie Cimentière).

• Béton

Le béton est produit à partir d'un mélange constitué principalement de sable, de granulats, de ciment (qui représente de l'ordre de 15 % du mélange) et d'adjuvants en très faible proportion.

Le béton est principalement utilisé en « béton prêt à l'emploi », en produits « préfabriqués » et en béton « fabriqué sur chantier ».

Le béton « prêt à l'emploi » est préparé dans des installations fixes (les centrales à béton) et généralement livré sur chantier dans des camions malaxeurs (les « toupies »), pour être coulé dans des moules ou coffrages. En 2004, le SESSI dénombrait 1 700 centrales à béton (rayon d'action de 20 à 30 km) et 8 000 camions malaxeurs.

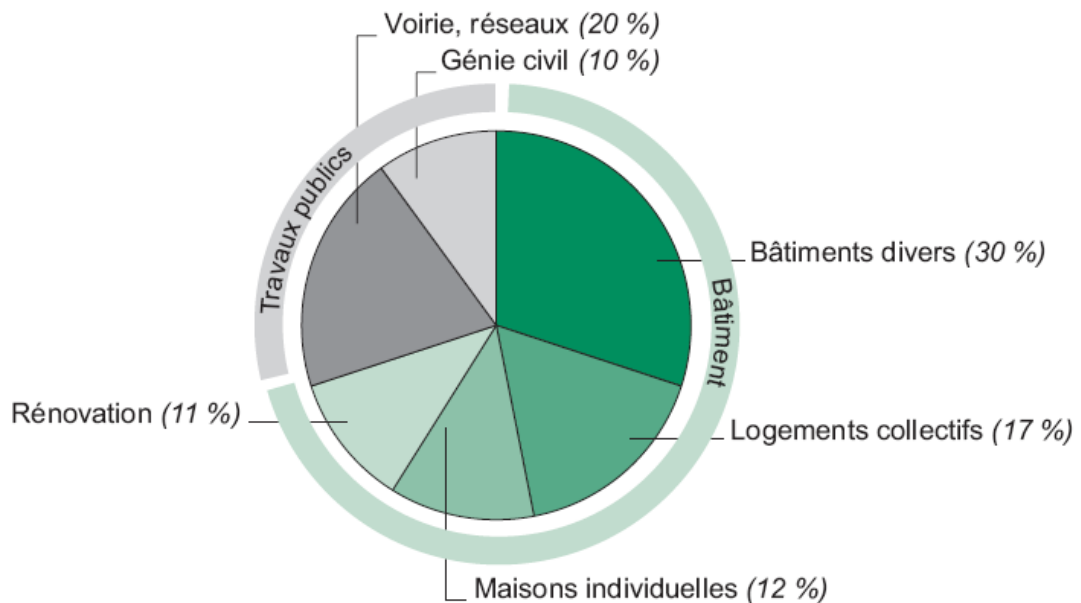


Illustration 7 - Les usages du béton prêt à l'emploi en France (2004 – Données SESSI).

Le caractère temporaire des chantiers, combiné à l'exigence de proximité entre lieux de production et de consommation conditionne les ouvertures et fermetures de centrales.

Le béton « fabriqué sur chantier » est préparé sur le site de consommation avec des moyens qui peuvent varier de la simple bétonnière à la centrale de grande capacité.

Le béton « préfabriqué » est fabriqué en usine, puis livré sur site dans un rayon de 50 km environ (le SESSI recensait environ 1 000 sites de production en 2004). Le bâtiment représente environ 60 % des produits béton.

En 2008, selon l'enquête de branche de l'UNICEM, 30 Mt de produits en béton ont été fabriqués auxquels s'ajoutent 44 Mm³ de béton prêt à l'emploi.

• Mortiers

Les mortiers sont fabriqués à partir d'un mélange de sable, de ciment, d'eau et d'adjuvants. Contrairement aux bétons, leur composition n'intègre pas de granulats. Ils sont utilisés comme joints, enduits. Les mortiers industriels sont fabriqués dans une centrale, puis livrés sur site, contrairement aux mortiers classiques qui peuvent être préparés sur chantier.

Le marché des seuls mortiers industriels représentait de l'ordre de 2,1 Mt en 2004 selon le SESSI et 2,8 Mt selon l'enquête de branche 2008 de l'UNICEM.

• Terres cuites

Les produits en terres cuites sont principalement fabriqués à partir d'argiles cuites entre 900 et 1 150 °C, auxquelles peuvent être rajoutés divers constituants (sable, calcaire...). Les briques et les tuiles constituent l'essentiel de ces produits.

Les briques sont principalement destinées à la construction neuve, domaine dans lequel elles sont en concurrence avec le béton qui domine largement le marché.

La tuile est le matériau le plus utilisé pour la couverture des maisons individuelles dans le neuf, comme pour l'entretien et la rénovation. Il domine largement la tuile béton, ainsi que les produits de substitution locaux (ardoise, lauze, zinc...).

Dans le domaine industriel et professionnel, la tuile est largement concurrencée par les produits béton, le métal, le PVC, etc.

La production de matériaux en terre cuite atteignait 5,7 Mt en 2004 (données SESSI) et 5,6 Mt en 2008 selon la Fédération des Tuiles et Briques.

• Chaux

Les produits calcaires sont utilisés sous forme de carbonate ou de chaux dans de nombreux domaines industriels (traitement des eaux, sidérurgie...), le Bâtiment (mortier, briques silico calcaires, béton cellulaire) et les travaux publics (stabilisation des sols argileux dans le cadre des aménagements linéaires).

La production annuelle de chaux atteignait 3,2 Mt en 2004, dont 0,2 Mt de chaux hydraulique, produite par calcination d'un calcaire impur.

- **Laine de roche**

La laine de roche est produite par fusion de roches volcaniques. Les fibres enchevêtrées possèdent la propriété d'emprisonner l'air. Elle se présente sous forme de rouleaux à faible densité et de panneaux rigides à forte densité.

3.2.2. Autres matériaux pour le BTP

- **Métaux**

Selon le Commissariat Général au Développement Durable (CGDD, 2010), le stock de métaux en cours d'utilisation est estimé autour de 10 à 15 tonnes par habitant dans les pays les plus développés : fer, aluminium, cuivre, zinc et manganèse en constituant l'essentiel.

Une partie de ce stock ne sera jamais ou difficilement recyclée (fondations, réseaux définitifs).

Dans la construction, les éléments métalliques principalement utilisés sont a priori, l'acier (fondation, gaine/tube...), l'aluminium (menuiserie...), le cuivre (tuyau d'alimentation) et le zinc (couverture...).

- **Bitume**

L'asphalte coulé, utilisé pour l'étanchéité dans le bâtiment, les revêtements en voirie et les dallages industriels, est constitué par un mélange à chaud en proportions variables de bitume, filler et poudre d'asphalte (ou fines), sable, gravillons.

Dans l'industrie routière, 47,24 millions de tonnes de bitume routier, enrobés, émulsion, liants bitumineux ont été produites en 2008 selon l'USIRF (l'Union des Syndicats de l'industrie Routière Française) à raison de 3,36 Mt de bitume, 41,8 Mt d'enrobés, 0,91 Mt d'émulsion et 1,14 Mt de liants bitumineux.

Les déchets d'enrobés routiers, enlevés des chaussées, par fraisage ou par relevage, s'élèvent à 8,5 Mt et sont recyclés à plus de 80 % (chiffres 2004²⁸).

- **Plastiques**

Selon la Fédération Nationale de la Plasturgie, le secteur du bâtiment consomme 23% (1,2 millions de tonnes) de la totalité des matières plastiques produites en France (données 2003).

Les principales applications sont le transfert des fluides, la couverture et le bardage, l'étanchéité, les ouvertures, les réseaux de distribution et d'évacuation des eaux, de

²⁸ IFEN, 2007

transport de gaz, à l'intérieur comme à l'extérieur du bâtiment, dans l'isolation thermique et acoustique, dans les revêtements de sols et murs...

Le PVC, matière la plus utilisée (fabriqué à partir de deux matières premières, le sel à 57 % et les dérivés du pétrole à 43 %), représente à lui seul 39 % du total (voir 50 % selon le forum PVC qui regroupe les acteurs de la filière).

Aujourd'hui, 63 % des fenêtres posées chaque année sont en PVC. Au total, 155 000 tonnes de profilés en PVC sont commercialisées chaque année en France pour les seules fenêtres et huisseries (Forum PVC France, 2010).

3.3. GISEMENT DES DÉCHETS DU BTP

3.3.1. Gisement à l'échelle européenne

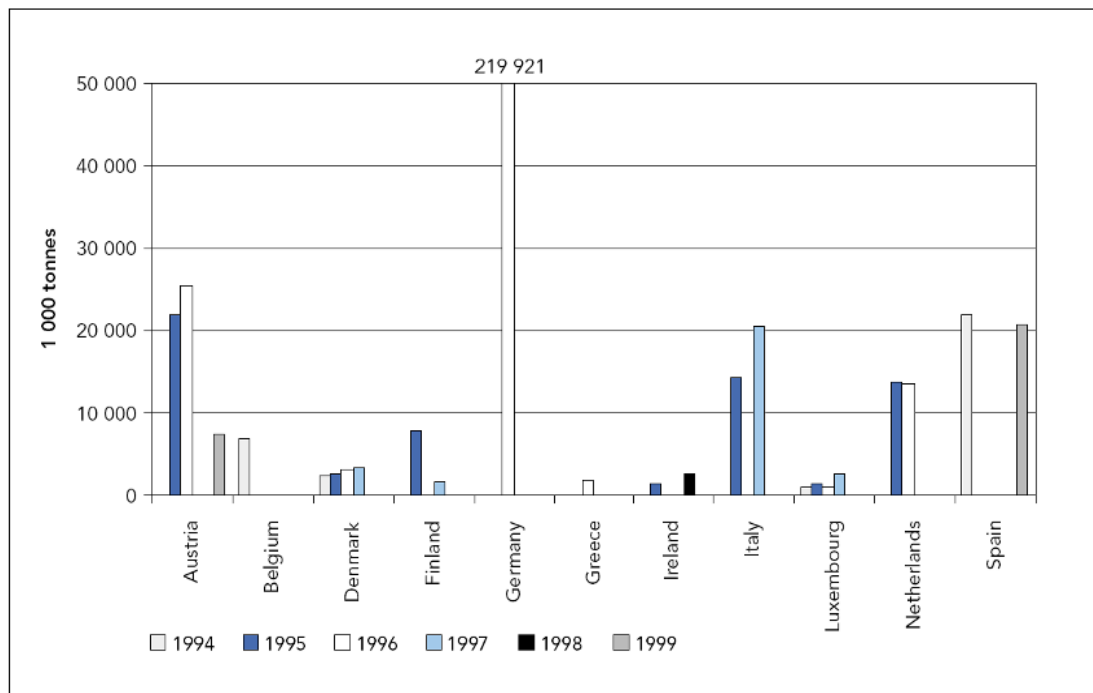
Au niveau européen, aucune donnée n'est publiée, le site Eurostat précise en effet que « les données disponibles pour les déchets de Construction & Démolition ne sont généralement pas comparables, en raison de l'absence actuelle de toute déclaration statistique à un niveau européen. Toutefois, depuis l'introduction de plans de gestion obligatoire des déchets à travers de nombreux États membres, la qualité des données sur les déchets de Construction & Démolition est susceptible de s'améliorer au fil du temps ».

Une première synthèse des données est présentée dans le rapport de l'Agence Européenne de l'Environnement datée de 2002 et intitulée « Review of selected waste streams » (citant les sources OECD/Eurostat, « Report to the European Commission DG XI.E.3 1999 » et « ETC/W questionnaire ») qui porte sur des données datant de 1994 à 1999 (E.E.A., 2002). Sur la base de cette étude, les données de gisement des déchets de construction et de démolition dans les différents pays européens apparaissent très disparates selon les pays, comme en témoigne le graphique suivant (ill. 8).

Les quantités de déchets par habitant varient considérablement d'un pays à l'autre. Cela peut en partie s'expliquer par les différences économiques et culturelles qui existent entre les pays. Il y a également des différences dans les définitions utilisées, par exemple, le niveau élevé en Autriche et en Allemagne peut être expliqué par le fait que ces pays comptabilisent les terres et cailloux excavés dans leurs données sur les déchets.

Ces différences pourraient aussi, dans une certaine mesure, s'expliquer par les différentes pratiques d'enregistrement et d'utilisation de ce type de déchets. Par exemple, si des déchets de briques et de bétons sont utilisés directement comme matériau de construction de petites routes et sentiers ou comme matériau de remblaiement sur site, ils ne seront pas enregistrés comme déchets le plus souvent.

Total quantities of construction and demolition waste in selected EEA countries



Note: The 1999 figure for Austria does not include excavated soil.

Illustration 8 - Production de déchets de construction et de démolition en Europe (E.E.A., 2002).

Plusieurs études ont été menées à l'échelle européenne depuis 2002 et la synthèse en a été faite récemment par le consortium ARCADIS/Bio Intelligence Service/IEEP dans son projet de rapport final pour la Commission européenne intitulé « Management of construction and demolition waste in EU » (DG ENV, 2010). Le gisement total de déchets de construction et de démolition dans l'Europe des 27 est estimé selon ces études par les valeurs suivantes :

Source	Gisement total de déchets de construction et de démolition (BTP) (tonne)	Ratio par habitant (t/hab)
(WBCSD, 2009) (données 2002)	510	1,1
(ETC/RWM, 2009) (données 2004)	866	1,8
(EUROSTAT, 2010) (données 2006)	970	2,0

Illustration 9 - Gisement total de déchets de construction et de démolition dans l'Europe des 27.

Les variations entre ces données ont été analysées par le même consortium. Cette analyse a conduit à expliquer les principales raisons de ces écarts par les niveaux inégaux de contrôle et de déclaration des déchets de construction et de démolition dans les États membres, ainsi que par les différences de définition et de mécanismes de déclaration.

Une nouvelle estimation de la production totale de déchets de construction et démolition (BTP) dans l'Europe des 27 est proposée par Bio Intelligence Service sur la base des données les plus consolidées (ETC/RWM 2009), corrigées en excluant les terres excavées (représentant en moyenne 75% de la production totale) pour six états membres (Danemark, Finlande, France, Allemagne, Irlande, Luxembourg) et en appliquant un ratio moyen de 1 tonne/habitant aux dix états membres (Bulgarie, Chypre, Grèce, Hongrie, Lettonie, Lituanie, Pologne, Roumanie, Slovaquie, Slovénie) dont la production déclarée apparaît comme sous-estimée du fait de déclarations incomplètes.

L'application de ces corrections conduit à une production totale de déchets de construction et démolition (BTP) dans l'Europe des 27 de 535 millions de tonnes en 2005 (hors terres excavées).

Considérant que cette estimation est assortie d'une grande incertitude, les auteurs proposent les gammes de valeurs suivantes, exprimées en ratio par habitant et en production totale pour l'année 2005 :

Production de déchets de construction et démolition (BTP)	Estimation basse	Estimation haute
Ratio par habitant hors terres excavées (t/habitant)	0,63	1,48
Ratio par habitant terres excavées comprises (t/habitant)	2,74	5,9
Quantité totale hors terres excavées (million de tonnes)	309	727
Quantité totale terres excavées comprises (million de tonnes)	1 346	2 898

Illustration 10 - Production totale de déchets du BTP dans l'Europe des 27 pour l'année 2005, estimation basse et haute.

3.3.2. Gisement national

La production française de déchets de construction et de démolition (BTP) en Europe était estimée à plus de 340 millions de tonnes en 2004 soit un ratio de 5,5 t/habitant. La France se situerait par conséquent dans la partie haute de la gamme de production de déchets de construction et de démolition dans l'Europe des 27 (cf. Illustration 10).

Ces chiffres sont issus de l'analyse statistique globale pour l'ensemble des activités BTP élaborée dans le cadre du règlement statistique européen sur les déchets²⁹. Ces

²⁹ Le règlement n° 2150/2002 du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne, appelé « règlement statistique déchets » (RSD), impose en effet à chaque État membre de fournir à la Commission européenne des données statistiques entre autres pour l'ensemble de l'activité BTP (tâche réalisée par l'IFEN sur les données 2004, le service de l'observation et des statistiques du Ministère du Développement Durable est depuis en charge de ces travaux).

données de production de déchets, données IFEN, Ministère chargé de l'Équipement datées de 2004 sont détaillées dans l'illustration 11. Elles ont été publiées dans un document de l'IFEN en 2007³⁰ sur le recyclage des déchets du bâtiment et des travaux publics et sont repris dernièrement dans le document de l'ADEME daté de 2009 sur la prévention et la gestion des déchets de chantier³¹.

En ce qui concerne le gisement des déchets du BTP, d'autres sources de données existent, plus anciennes mais aussi plus détaillées. On peut citer deux enquêtes relativement anciennes, réalisées sur le terrain par les fédérations professionnelles, aboutissant à une description détaillée des flux de déchets et détaillée en annexe, à savoir :

- enquête FFB, ADEME de 1999 sur les déchets de chantiers de bâtiment classés suivant leur nature³² ;
- enquête FNTP, ADEME et Ministère de l'Écologie et du Développement Durable sur les déchets des TP produits au niveau national (enquête 2001-2002).

Données 2004 En millions de tonnes	Travaux publics	Bâtiment (<i>Démolition, Réhabilitation de bâtiment, Construction</i>)				Total BTP
		<i>Démolition</i>	<i>Réhabilitation</i>	<i>Construction</i>	<i>Total bâtiment</i>	
Déchets inertes	292,8	29,2	8,6	2,7	40,5	333,3
Déchets non dangereux	1,5	1,8	3,5	0,4	5,7	7,2
Matériaux mélangés et matériaux indifférenciés	0,6	1,1	3,1	0,1	4,3	4,9
Déchets de bois	0,5	0,3	0,1	0,2	0,6	1,1
Déchets métalliques	0,3	0,2	0,2	0,1	0,5	0,7
Déchets minéraux non inertes non dangereux (plâtre...)	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2
Déchets de matières plastiques	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
Autres déchets non dangereux	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Déchets dangereux	1,1	0,2	1,4	0,1	1,7	2,9
Déchets de bois	1,0	0,0	1,4	0,0	1,5	2,5
Déchets minéraux pollués	0,1	0,2	0,0	0,0	0,2	0,4
Autres déchets dangereux	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	295,4	31,2	13,5	3,2	47,9	343,3

Illustration 11 - Gisement de déchets du BTP (données 2004) d'après IFEN, 2007.

³⁰ IFEN (2007) - Le recyclage des déchets du bâtiment et des travaux publics peut progresser, n° 116, Février 2007.

³¹ ADEME (2009a) - Prévenir et gérer les déchets de chantier, Méthodologie et outils pratiques opérationnels, Mai 2009.

³² Chiffres repris dans le document de Florio F *et al.* (2006) sur les déchets du bâtiment et des travaux publics et dans le document FFB et ADEME daté de 2007.

Selon les données de 2004, le secteur du bâtiment et des travaux publics (BTP) produirait à lui seul 343 millions de tonnes (Mt) soit 84 % des déchets produits en 2004 sur le territoire national. Les déchets de chantier du bâtiment présentent des spécificités liées au type de chantiers ; trois grands types de chantiers peuvent ainsi être distingués : la construction, la démolition (ou déconstruction), et la réhabilitation (ou rénovation)³³.

La plus grande partie de ces déchets est constituée de déchets inertes générés par les travaux publics (293 Mt soit 85 % des déchets du BTP). Le secteur du bâtiment produit « seulement » 48 Mt de déchets parmi lesquels 65 % proviennent de la démolition, 28 % de la réhabilitation et 7 % de la construction neuve proprement dite.

Ces chiffres doivent être considérés avec une certaine prudence dans la mesure où les terres excédentaires, issues des terrassements et facilement réutilisables, sont souvent mal suivies (c'est également le cas des matériaux naturels issus des terrassements généraux dans le secteur du bâtiment).

Les dernières estimations nationales des déchets en France (ADEME, 2009b) évaluent la quantité annuelle en France de déchets du BTP incluant les excédents de chantier utilisés hors site à près de 359 Mt.

L'analyse faite par l'IFEN³⁴ des données 2004 sur les déchets du BTP est reprise ci-après.

• Déchets inertes

Les déchets inertes, non susceptibles de modification physique, chimique ou biologique importante, représentent 97 % des déchets du BTP. Ils sont constitués de terre, gravats, pierres, béton et tuiles. La terre (hors végétale) et matériaux de terrassement représente 94 % des déchets des TP selon les données de 1999 soit potentiellement 80 % des déchets tous confondus des BTP.

En 2004, plus des deux tiers sont utilisés en remblaiement ou, une fois transformés en granulats après concassage, en sous-couches routières sur un autre site que le chantier où ils ont été produits. Le tiers restant est stocké en installations de stockage de déchets inertes.

Les déchets d'enrobés routiers s'élèvent à 8,5 Mt et sont recyclés à plus de 80 %. Il reste encore une marge de progression puisqu'au Pays-Bas par exemple, la proportion d'enrobés recyclés en enrobés est proche de 100 %, pays à peu près totalement

³³ La réhabilitation (ou rénovation) est une opération visant à intervenir sur un bâtiment existant pour changer des équipements ou matériaux, et/ou étendre sa surface, et/ou améliorer son confort ou sa performance thermique, acoustique... ou le mettre en conformité avec de nouvelles réglementations (accessibilité...). Lors de la réhabilitation, il y a une première phase de dépose voire de démolition ou déconstruction.

³⁴ IFEN, 2007.

dépourvu de granulats naturels, ce grâce à l'obligation légale d'inclure du recyclé dans chaque chantier d'enrobés (Serfass, 2008).

Les matériaux réutilisés sur le même chantier n'étaient pas considérés comme déchets et leur volume n'a pas été comptabilisé dans le bilan 2004 des déchets du BTP.

• Déchets non inertes et non dangereux du BTP

Alors que les déchets inertes sont à 85 % issus des chantiers de TP, les déchets non inertes et non dangereux sont générés majoritairement (à 79 %) par les chantiers « bâtiment ». Ils proviennent plus précisément pour la moitié de la réhabilitation puis du secteur de la démolition (25 %), des travaux publics (21 %) ; la construction neuve engendre très peu de ces déchets, à peine 6 %.

68 % de ces déchets sont des « matériaux mélangés ou indifférenciés ». Le reste est essentiellement constitué de bois (15 %) et de métaux (10 %). Pour la réhabilitation (moitié des tonnages), les déchets sont quasiment toujours mélangés (90 %) alors qu'ils le sont moins dans la démolition (60 %). Les déchets de plâtre représenteraient annuellement entre 0,3 et 2 Mt. La valeur inférieure (communiquée par le SNIP³⁵) correspond à la partie aujourd'hui accessible au recyclage (déchets de construction, notamment les plaques et les carreaux de plâtre) et la borne supérieure aux matériaux contenant en proportion variable du plâtre lié à un support (béton, brique, bois...) dont il est aujourd'hui impossible à séparer (matériaux issus de la réhabilitation et de la déconstruction).

67 % déchets non inertes et non dangereux issus des seuls chantiers de démolition et des travaux publics (soit 46% des tonnages de cette catégorie en 2004) sont récupérés/recyclés (cf. Illustration 35).

• Déchets dangereux du BTP

Les déchets du BTP contiennent une faible proportion de déchets dangereux (moins de 1 %), principalement du bois traité.

3.4. NOTION DE STOCK

3.4.1. Introduction

Selon le Commissariat Général au Développement Durable³⁶, la consommation intérieure en minéraux destinés à la construction atteint 7 tonnes par habitant en 2006, et l'accumulation nette du stock³⁷ pour la France (constituée à environ 95 % de

³⁵ SNIP : Syndicat National des industries du Plâtre.

³⁶ Commissariat Général au Développement Durable : Matières mobilisées par l'économie française, Comptes de flux pour une gestion durable des ressources, Service de l'observation et des statistiques, n° 6, Juin 2009.

³⁷ Ou NAS correspond aux matériaux qui s'accumulent dans le stock existant, communément appelé « technosphère », sous forme d'infrastructures, de bâtiments, de biens durables de durée de vie

matériaux de construction) devrait être proche de 8 tonnes par habitant et par an. Cet ordre de grandeur est à comparer aux 13,8 tonnes de matériaux consommées par Français en 2006.

Plus des deux tiers des matières consommées annuellement par les besoins intérieurs s'accumulent dans la technosphère.

ASURET entend fournir des données complètes et validées sur les flux de matière, les stocks, et les pressions environnementales créées par le secteur de la construction et des travaux publics. Compte tenu de l'importance de ce secteur dans la création et l'immobilisation de stocks de matières, et dans un contexte de développement durable et de protection de l'environnement, la dépendance entre l'utilisation des ressources naturelles, leur accumulation dans l'économie, la génération et la gestion des déchets doit être mieux comprise.

Les politiques de gestion des déchets peuvent interagir avec tous les secteurs. La manière dont elles peuvent affecter l'utilisation des ressources naturelles doit aussi tenir compte des possibilités de récupération de ces ressources dans les stocks, des contraintes techniques et économiques du recyclage, des effets collatéraux des coproduits - ou sous-produits associés à l'exploitation des ressources naturelles, et au final, du bilan global des coûts et bénéfices environnementaux.

Les incertitudes sur les enjeux environnementaux des politiques déchets sont principalement dues au manque de données réelles sur les quantités et qualités des flux de ressources, soit naturelles, soit venant de la récupération des déchets. Pour ces derniers en particulier, il est nécessaire de prendre en compte les stocks de ces ressources qui se retrouveront dans les flux de déchets du futur.

Ce chapitre décrit les méthodes couramment utilisées pour estimer ces stocks. Il s'appuie en grande partie sur une synthèse obtenue lors du projet européen Forwast, par le livrable « Methodology for mapping physical stocks » [Daxbeck, 2009].

La méthodologie décrite dans ce livrable ne traite qu'une sorte de stock. Il s'agit du stock en cours d'usage (stock accumulé dans l'économie). L'autre stock, constitué par les installations de stockages de déchets n'est pas pris en considération.

Pour déterminer le stock en cours d'usage, on s'appuie sur deux procédures :

- une évaluation du stock à partir de données économiques courantes ;
- une estimation du stock accumulé historiquement.

3.4.2. Estimation du stock courant

Les stocks peuvent être estimés de manière directe ou indirecte. Le terme « produit » est utilisé pour désigner un bien d'équipement vendu sur le marché (une automobile

supérieure à un an (voiture, électroménager...). Elle se calcule en faisant la différence entre les nouveaux matériaux qui s'ajoutent chaque année à la « technosphère », et ceux qui en sont retirés.

par exemple) et le terme « catégorie de produits » concerne l'ensemble des biens qui sont comptabilisés par les statistiques nationales comme étant produits par une activité économique (NACE).

La catégorie de produits est le produit principal de l'activité.

Méthode directe

Le nombre de « produits » couramment utilisés dans une « catégorie de produits » est comptabilisé et multiplié par le poids moyen de chaque produit.

Cette méthode devrait être privilégiée dès lors que des données nationales sont disponibles. Ces données peuvent être directement des flux massiques d'addition au stock ou une proportion du flux total de la « catégorie de produit » qui se retrouve dans les stocks.

Pratiquement, cela revient à choisir un niveau de nomenclature (niveau de détail) dans les statistiques et à comptabiliser tous les produits qui génèrent des stocks de la liste de produits attachée à ce niveau.

S'il n'est pas possible de spécifier chaque produit individuellement, il convient de relier un type de produit (comme par exemple « maisons individuelles » ou « bureaux ») à une masse moyenne obtenue en faisant des hypothèses.

Méthode indirecte

Il s'agit d'estimer la consommation massique annuelle (flux) d'une catégorie de produits, de la déduire à la proportion réellement ajoutée au stock, et de la multiplier par la durée de vie moyenne de la catégorie de produits.

L'idée de base est que le flux de produits ajoutés au stock multiplié par la durée de vie de ces produits représente le stock courant.

Pratiquement, le flux de produits ajoutés au stock est calculé en multipliant la quantité produite pendant un temps donné par une valeur moyenne de la masse de ces produits.

Les quantités produites pendant une période donnée peuvent être obtenues à partir des données compilées lors du projet Forwast.

Pour toutes les activités, les flux monétaires annuels produits et consommés sont convertis en masse en utilisant des données de prix.

Les prix peuvent être exprimés en masse (cas le plus courant), mais aussi en longueur (prix au km) ou en unités. Il est alors nécessaire de disposer d'une conversion de ces unités en masse.

La part des flux consommés qui se retrouve dans le produit doit être décrite. Là aussi, des valeurs par défaut sont fournies dans les matrices Forwast.

Enfin, pour estimer la durée de vie des produits, on peut utiliser des données d'amortissement publiées par le ministère des finances (pour des raisons fiscales). D'autres données sont disponibles dans la littérature. Des valeurs par défaut sont aussi fournies au paragraphe 4.

Une liste détaillée des durées de vie de différents produits est fournie au paragraphe 7. Elle rassemble les « AfA-Tables » [Bundesministerium der Finanzen, 2000], des tables spécifiques au secteur de la construction [Glenck *et al.*, 2000], [Krapfenbauer, 1998] et [Stark *et al.*, 2003].

3.4.3. Estimation du stock historique

Les méthodes directes ou indirectes permettent de réaliser une estimation du stock à partir de données de production actuelle. Par contre, elles ne tiennent pas compte des variations de quantité et de durée de vie des produits accumulés dans les stocks au cours de l'histoire.

Pour estimer ce stock historique, pour les catégories de produits sélectionnées, il faut tenir compte (comme pour l'estimation du stock courant) :

- du nombre de produits dans la catégorie ;
- de la masse moyenne par produit ;
- de la durée de vie moyenne des produits.

Mais également de :

- la distribution des biens qui quittent le stock pendant la durée de vie du produit ;
- la variation dans le temps des quantités ajoutées au stock pendant la durée de vie de ces produits ;
- la variation dans le temps des masses de ces produits pendant leur durée de vie ;
- la variation dans le temps de la durée de vie de ces produits.

De la même manière que précédemment, il peut s'agir de données sur les flux ou sur le stock lui-même.

3.4.4. Évaluation des stocks : exemples d'application pour le secteur résidentiel

Stock courant du secteur de la construction

Alors que les données statistiques regroupent le secteur de la construction en une seule activité, les besoins du projet Forwast ont nécessité une désagrégation en trois activités : bâtiments résidentiels, bâtiments non résidentiels et infrastructure.

La manière dont le stock peut être estimé est explicité ici pour l'activité « Bâtiments résidentiels »³⁸ qui comprend tous les bâtiments utilisés à des fins d'habitation et donc tous leurs constituants : toits, couvertures, isolation à l'eau, câblages électriques, systèmes de télécommunication, systèmes de chauffage électrique, antennes, alarmes incendie, alarmes antivol, ascenseurs et escaliers, éclairage, isolations thermiques, au bruit et aux vibrations, équipement sanitaire, installation de gaz, chauffage, ventilation, refroidissement et air conditionné, toutes fermetures, portes, fenêtres, châssis, cuisines équipées, aménagements intérieurs, plafonds, lambris, cloisons amovibles, céramiques, murs en béton ou en pierre, couvertures de sol, parquets, moquettes, linoléum, couvertures de murs, verre et miroirs.

• Méthode directe

Pour le calcul du stock, le bâtiment est considéré comme un tout. Les critères d'estimation du stock sont : l'occupation, le nombre, la taille, l'âge et la composition. Les informations suivantes doivent être cherchées :

- nombre de maisons et d'appartements ;
- surface utilisable ;
- pourcentage de maisons individuelles isolées et mitoyennes ;
- nombre d'étages ;
- méthode de construction ;
- âge de la structure, distribution des âges, période de construction.

La littérature fournit les données suivantes pour les maisons individuelles [Glenck *et al.*, 1996] :

- volume brut : 3 mètres par m² utilisable ;
- masse : 0.6 tonnes par m³ de volume brut (de 0,4 à 1,5 tonnes) ;
- masse : 2.3 tonnes par m² de surface utilisable (de 0,95 à 6,3 tonnes) ;
- masse moyenne par bâtiment résidentiel : 440 tonnes (de 300 à 800 tonnes).

Le stock est estimé en multipliant le nombre d'habitations par une masse moyenne, par type d'habitation si possible.

• Méthode indirecte

Pour calculer le stock courant, la consommation annuelle peut être prise en compte. Les données sont rassemblées et ajustées sous la forme des tables « physical supply and use » de Forwast.

³⁸ Les mêmes estimations de stocks pourraient être réalisées pour les activités « bâtiments non résidentiels » et « infrastructures » (en distinguant notamment pour ces dernières les routes, les voies ferrées, les réseaux...).

Ces tables donnent la somme des flux physiques entrant dans l'activité « bâtiments résidentiels » qui se retrouvent dans le produit « bâtiments résidentiels ». La proportion du flux annuel de ce produit qui contribue au stock est proposée à 100 %. La durée de vie moyenne des habitations est proposée à 100 ans. Des éléments plus détaillés sont donnés dans la littérature.

Le stock courant est calculé comme la multiplication du flux annuel de « bâtiments résidentiels » par le pourcentage de ce flux qui contribue au stock et la durée de vie moyenne.

Stock historique du secteur de la construction en Autriche

L'estimation du stock historique requiert l'acquisition des données d'évolution de la production, de l'addition au stock et de la durée de vie des produits accumulés. Sur l'ensemble de l'économie, cette tâche est considérable et vouée à des incertitudes qui dépendent de la disponibilité des données historiques.

Si l'on restreint la question au seul stock historique de bâtiments résidentiels, les informations suivantes doivent être recueillies :

- habitations existantes par période de construction ;
- surface moyenne utilisable par habitation et période de construction ;
- masse moyenne par m² et période de construction ;
- composition moyenne par période de construction.

Le stock de bâtiments résidentiels est un des plus importants de l'anthroposphère. Il a changé rapidement au cours des dernières décennies, du fait des évolutions démographiques, sociologiques et techniques. Ces facteurs influencent considérablement la composition et la masse du stock.

L'exemple de l'Autriche est assez illustratif de cette situation :

- le nombre d'appartements a quadruplé entre 1869 et 2001 (de 900 000 à 3 900 000), la population Autrichienne passant de 4,5 millions en 1870 à 8,1 millions en 2001 ;
- le style de vie de la population a changé ; les familles qui occupaient de petits appartements au début du XX^e siècle vivent maintenant en maison individuelle (accroissement de la surface utilisable par habitant au cours du dernier siècle) ;
- le mode de construction a évolué entre 1900 et 1970 des briques vers le béton armé, ce qui a un effet direct sur la masse et la durée de vie des constructions. La masse par m² de bâtiment résidentiel varie de 9 tonnes (estimation) avant 1919 (hauteur de plafond, utilisation de pierres pour les murs) à 1.5 à 1.8 tonnes aujourd'hui (utilisation de matériaux composites). Cette évolution s'accompagne de la disparition des cendres, l'augmentation de l'utilisation du bois, du fer et du plastique. Les données relatives à la période récente (postérieure à 1970) ne sont pas disponibles ;

- la variation dans le temps de la durée de vie des bâtiments repose sur des hypothèses. Les données retenues sont de 100 ans pour les bâtiments du début du XX^e siècle à 35 ans pour les bâtiments d'aujourd'hui.

Au final, tous ces facteurs peuvent être rassemblés pour fournir une image du stock historique accumulé décrite dans les illustrations qui suivent.

Le stock de bâtiments résidentiels se monte à 1,2 milliards de tonnes. Les périodes ayant le plus contribué (pour 77 % du total) à l'accumulation de ce stock sont les périodes « avant 1919 » et « de 1961 à 1980 ».

En appliquant les compositions retenues pour les deux périodes connues (avant 1970 et après 1970), on peut calculer le stock accumulé par matériau (verre, plastiques, béton...). Il convient cependant d'aborder ce calcul avec circonspection, la durée de vie « moyenne » des bâtiments n'ayant pas forcément de pertinence pour les matériaux pris individuellement.

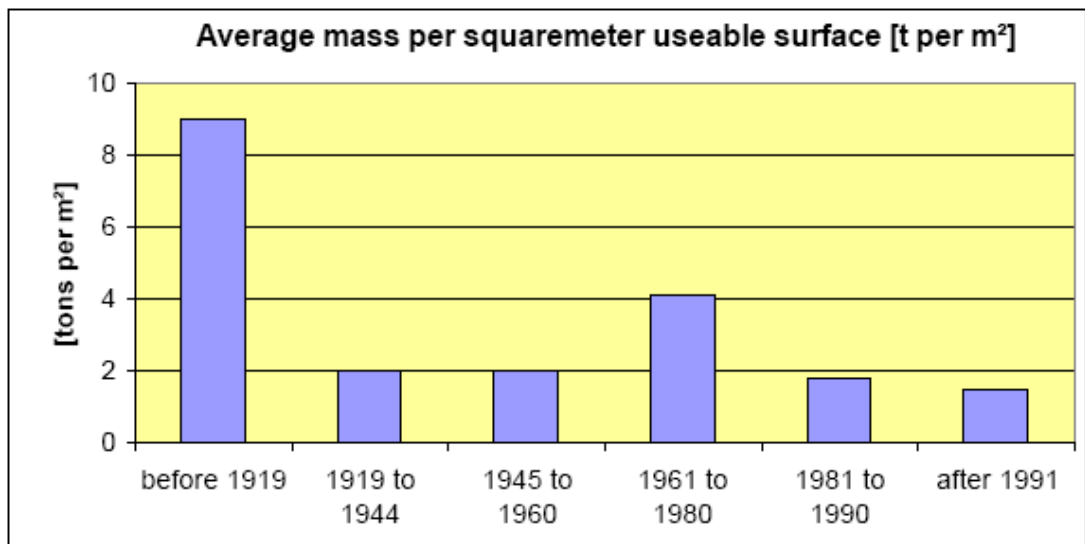


Illustration 12 - Masse moyenne par m² de surface utilisable par période de construction (Autriche d'avant 1919 jusqu'à après 1991) – Source Forwast.

Residential building	1900	1970
Non-ferrous metals	0.1 %	0.2 %
Glass	0.2 %	0.2 %
Plastics	0.3 %	2 %
Iron	0.4 %	2 %
Wood	3 %	9 %
Slags	5 %	0 %
Concrete / stone	5 %	46 %
Bricks	86 %	40 %

Illustration 13 - Composition des "Bâtiments résidentiels" en 1900 et 1970

Austria	before 1919	1919 to 1944	1945 to 1960	1961 to 1980	1981 to 1990	after 1991
average lifetime of residential buildings	100 years	100 years	75 years	50 years	35 years	35 years

Illustration 14 - Durée de vie moyenne des bâtiments résidentiels en Autriche (source Forwast)

Stock of flats (Austria)	before 1919	1919 to 1944	1945 to 1960	1961 to 1980	1981 to 1990	after 1991	TOTAL
Austria (2001)	618,452	284,664	415,935	1,070,168	433,067	493,061	3,315,347
Relative distribution	19%	9%	13%	32%	13%	15%	
average useable surface per m ²	98.1	80.5	85	92.8	109.1	106.9	
useable surface (Total)	60,670,141	22,915,452	35,354,475	99,311,590	47,247,610	52,708,221	318,207,489
Mass per m ² useable surface [tons]	9	2	2	4.1	1.8	1.5	
Mass of res. buildings	546,031,271	45,830,904	70,708,950	407,177,521	85,045,697	79,062,331	1,233,856,674
Average lifetime of residential buildings	100 years	100 years	75 years	50 years	35 years	35 years	

Illustration 15 - Facteurs et indicateurs de calcul du stock de bâtiments résidentiels en Autriche (Source Forwast)

3.4.5. Conclusion

Il est envisageable moyennant des recherches documentaires conséquentes de réaliser une estimation du stock de matières généré par les activités humaines.

Les méthodes d'estimation du stock courant qu'elles soient de type « direct », et procèdent par comptabilisation simple, soit de type « indirect », et procèdent par calcul du flux d'addition annuel au stock multiplié par la durée de vie des produits ajoutés.

L'estimation du stock historique procède comme la méthode directe, mais en incluant la dimension temporelle dans la comptabilité.

Toutes ces méthodes imposent cependant de choisir a priori un niveau d'agrégation des produits qui rende l'exercice réalisable, tant au niveau de la disponibilité des données qu'au niveau de la représentativité des résultats. Dans le cadre d'ASURET, où l'on cherche à évaluer un potentiel de recyclage des déchets générés par ces stocks, cet aspect du choix du niveau d'agrégation est fondamental.

C'est un des objectifs de la tâche 2 (approche globale) de déterminer ce niveau. En analysant les déchets de la construction et de la démolition, leur potentiel pour le recyclage, il conviendra de faire le lien entre les produits à l'origine de ces déchets et les matériaux recyclables.

La méthode indirecte semble la plus appropriée puisque le modèle « entrées/sorties » permet par construction d'individualiser les composants des bâtiments et de prendre en compte leurs comportements respectifs vis-à-vis des stocks et des déchets (pourcentage accumulé, durée de vie).

3.5. QUELS OUTILS POUR DÉCRIRE CES FLUX ET DRESSER DES BILANS ?

Les méthodes d'analyse des flux de matières « *Material flow analysis (MFA)* » permettent de décrire et d'analyser des systèmes complexes. Plusieurs approches se

distinguent en ce qui concerne la définition des flux, la façon de les quantifier et les limites du système étudié.

Parmi celles-ci, deux méthodes semblent particulièrement abouties selon S. Barles (2007) :

- la première a été mise au point par le service européen de statistique (Eurostat) pour la réalisation de bilans nationaux³⁹ (évaluation d'indicateurs matériels en complément d'indicateurs économiques). Elle a été adaptée et appliquée récemment à la ville de Paris et l'Île-de-France pour « mesurer la performance écologique de ces territoires » (Barles, 2007) et sur le territoire de Lille - Lomme - Hellemmes pour « comprendre les consommations du territoire » (programme « écologie territoriale », cf. le paragraphe 2.3) via une analyse des flux de matière et d'énergie (Bonard, 2009) ;
- la méthode MFA, initiée par Peter Baccini et Paul H. Brunner, présente quant à elle l'intérêt d'avoir été élaborée précisément pour les approches régionales et locales (elle a en particulier été appliquée à la ville de Vienne). Cette méthode, qui a été normalisée en Autriche en 2005 (Önorm S., 2006), définit comme « *a systematic assessment of the flows and stocks of materials within a system defined in space and time* » (Brunner et Rechberger, 2004). Cette méthode est basée sur :
 - un inventaire qualitatif et quantitatif à l'échelle d'un territoire (généralement sur une année donnée) :
 - des flux de matière avec les flux entrants dans le territoire étudié (imports), les flux sortants (export) et les flux de matière circulant à l'intérieur de ce territoire ;
 - des « *process* » définis comme toutes activités ou services qui génèrent une modification du stock de matière c'est-à-dire le gisement de matière constitué par tous les bâtiments et infrastructures de la zone d'étude par exemple. Ces « *process* » peuvent être toutes les activités de construction, d'aménagement ou les activités de déconstruction/démolition, etc ;
 - des stocks de matière tels que définis précédemment.
 - le principe de conservation de la matière pour réconcilier les données issues de différentes sources et ainsi obtenir un jeu de données cohérentes respectant ce principe. Celui-ci s'applique au niveau de chaque « *process* » comme au niveau du système étudié lui-même (la somme des flux entrants devant correspondre à la somme des flux sortants corrigée des variations des stocks sur la période de temps étudiée).

La représentation graphique d'un MFA permet de mieux appréhender les flux et gisements de matière en jeu. Ce rendu graphique peut se faire sous la forme d'un « Sankey » diagramme par exemple (cf. Illustration 16) par l'intermédiaire d'un logiciel tel que le logiciel STAN⁴⁰ développé par l'Université Technologique de Vienne.

³⁹ EUROSTAT (2001) - Economy wide material flow accounts and balances with derived resource use indicators. A methodological guide, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001.

⁴⁰ http://www.iwa.tuwien.ac.at/iwa226_english/stan.html et Cencic et Rechberger (2008).

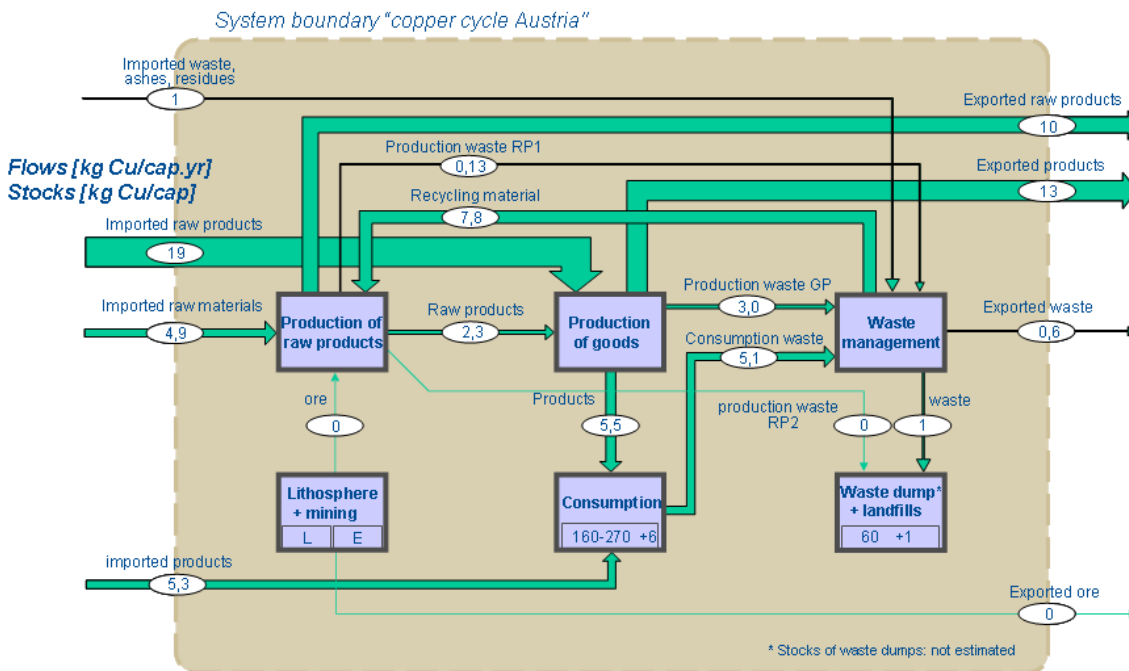


Illustration 16 - Cycle du cuivre en Autriche, extrait du document de formation associé au logiciel STAN (Methodology of Material Flow Analysis, Vienna University of Technology), d'après Döbert et al.(2005)⁴¹.

Apport pour le projet ASURET

Dans le cadre de la tâche 4.2 du projet ASURET, une méthode de type MFA sera appliquée sur les deux territoires d'études du projet pour analyser les effets de la politique d'aménagement et de construction d'infrastructures menée par la ville d'Orléans sur son territoire, et la politique de construction/réhabilitation des établissements de collèges menée par le Conseil Général des Bouches-du-Rhône.

Concrètement, l'application d'une telle méthode permettra, d'une part, de proposer une analyse des activités de construction et d'aménagement du territoire, au regard du recours aux matières premières et secondaires qu'elles induisent et des interactions entre ces territoire et son environnement proche et plus lointain et d'autre part, posera les bases d'une réflexion sur le plus long terme qui vise à considérer les territoires aménagés et urbanisés comme des gisements de matériaux.

⁴¹ Döberl G., Fehringer R., Müller B., Brandt B., Bruner Ph. (2005) - Verknüpfung Rohstofflager – anthropogene Lager – letzte Senken – RALLES. (Connection of resources– anthropogenic stocks – final sinks.) Institute for Water Quality, Resources and Waste Management, TU Vienna.

4. (Dé)construction et recyclage dans le secteur du BTP

4.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Les objectifs imposés par la Directive Cadre 2008/98/CE concernant les déchets de déconstruction/démolition montrent l'importance que la Commission européenne accorde à cette thématique.

Cet enjeu a également été rappelé au niveau national par la Loi 2009-967 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. Ces deux récentes dispositions visent à dynamiser fortement la valorisation de ces déchets.

La gestion des déchets du BTP constitue un enjeu considérable, avec une production nationale annuelle de déchets du BTP évaluée à 359 millions de tonnes (ADEME, Les déchets en chiffres – 2009), soit plus de 40 % des déchets produits en France.

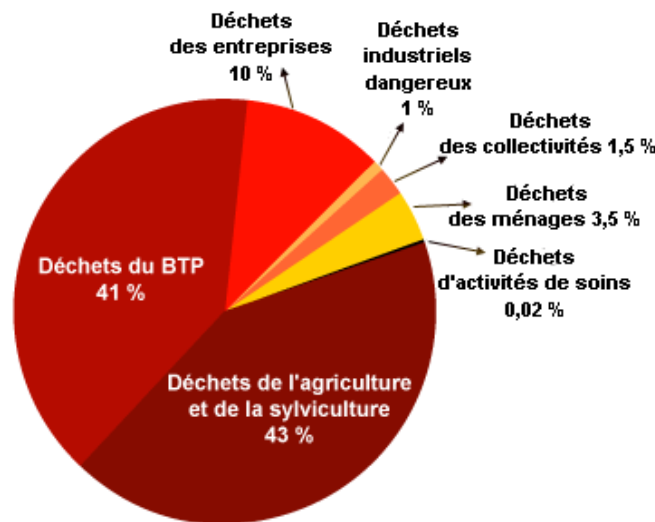


Illustration 17 - Production de déchets en France (ADEME, Les déchets en chiffres – 2009).

Ce chapitre précise l'évolution des techniques et protocoles de construction et de déconstruction visant à atteindre les objectifs cités précédemment. À la suite, la présentation de l'organisation française des filières de traitement des déchets de construction et de déconstruction (dont TP) permet d'évaluer :

- les matériaux dont les voies de valorisation permettent une réutilisation dans le domaine du BTP, d'une part ;

- et de manière plus générale, les déchets du BTP pour lesquels ils existent une filière de valorisation ou de recyclage en matières premières secondaires bien implantées ou avec un potentiel d'évolution.

Les matières premières secondaires peuvent être des matières réemployées ou réutilisées en l'état ou des matières issues d'un procédé de recyclage/valorisation⁴².

4.2. ÉVOLUTION DES TECHNIQUES CONSTRUCTIVES

4.2.1. Évolution des matériaux de construction depuis l'Antiquité

S'il n'est pas possible d'être exhaustif sur un sujet aussi vaste qui s'étend sur plusieurs siècles, quelques points marquants peuvent être mis en valeur.

L'Antiquité

Excepté dans les régions où la pierre est facilement accessible, la maison gauloise est construite en bois.

Les pièces de chêne, de hêtre ou de résineux sont assemblées par des tenons, des mortaises ou des queues d'aronde ; les clous ne seront utilisés que tardivement.

Les murs sont composés d'un tressage de branches de noisetier disposé entre les poteaux qui soutenaient la charpente, et sur lequel on applique une couche de torchis. Le

sol est en pierre pilée ou en terre battue. Les toitures de chaume sont hautes, débordantes et à deux pans.



Illustration 18 - Maison gauloise.

L'architecture romaine qui s'est imposée par la suite sur notre territoire utilise essentiellement la pierre taillée, le marbre et le tuf.

Dans l'architecture de la maison individuelle gallo-romaine, les murs, faits de colombages remplis de torchis, sont revêtus d'enduits, à l'extérieur comme à l'intérieur.

À la fin du I^{er} siècle, la maison romaine devient plus complexe et plus luxueuse. Des colonnes de pierre apparaissent dans l'atrium (pièce principale) pour soutenir les angles et parfois les bords de l'ouverture du toit.

⁴² Par définition, le recyclage d'un déchet consiste à le réintroduire dans le cycle de production dont il est issu ou dans un cycle de production différent, en remplacement total ou partiel d'une matière première naturelle. Le réemploi se définit comme le nouvel emploi en l'état d'un matériau (déchet) pour un usage analogue au premier emploi. La réutilisation est le nouvel emploi en l'état d'un déchet pour un usage différent.

Derrière l'atrium, une cour à péristyle, qui renferme un jardin autour duquel s'agencent de nouvelles pièces, dont la plus importante, l'œcus, est largement ouverte. Outre les maisons particulières, existent des immeubles comprenant parfois 6 étages (*insulae*), construits en brique



Illustration 19 - Ruine d'une maison romaine.

Le Moyen-Âge

L'aspect de la maison de ville française de la fin du XI^e siècle et du commencement du XII^e ne rappelle plus la maison romaine.

Les maisons sont à colombages, avec un remplissage de terre ou de pierres plates bloquées au plâtre ; souvent les murs sont en pierre.

Les toits sont couverts de tuiles là où l'on trouve facilement de l'argile. Ailleurs, le chaume prédomine. On trouve déjà en Bourgogne des toits de pierres plates.

Au rez-de-chaussée, la salle principale est doublée d'une arrière salle qui sert de cuisine ou de salle à manger ; les chambres sont situées à l'étage. Les étages sont très souvent construits en bois, avec un fenêtrage large aux vitres composées de petits carreaux, sans volets, le tout est couvert par un toit saillant. Le plomb commence à être utilisé comme protection des toitures.



Illustration 20 - Maison du Moyen-Âge en pierres et en bois.

Les vitres sont fabriquées à partir de petits éléments de verre teinté et irréguliers montés dans du plomb.

Les habitants des villes, qui se sont emparés de la pratique des arts, reviennent à la structure de bois, et se livrent aux combinaisons complexes que permet la charpente.

La maison du paysan est le plus souvent une mesure grossière aux murs d'argile et de torchis maintenus par des lattes de bois. Elle comporte une seule pièce parfois seulement éclairée par la porte. Le toit est en chaume. Il n'y a pas de vitres et le parchemin ou le papier huilé en tiennent lieu.

La Renaissance

La fin du Moyen-Âge est marquée en Europe par une accumulation de fléaux : famines, guerres et retours de la peste qui mettent à mal le continent. Le temps de la Renaissance est donc celui d'une reprise générale, démographique aussi bien qu'économique.



Illustration 21 - Longère.

Pour attirer du monde, le servage est aboli. Chacun s'entraide et reconstruit à l'alignement de la rue nouvellement tracée sa maison de bois selon un modèle identique : la longère, une longue maison qui sert de logis, de grange, et d'étable avec un long toit qui descend presque au sol du côté de la pluie dominante. Les matériaux employés sont identiques à ceux utilisés pendant le Moyen-Âge : chaume, terre, bois. Cependant le verre blanc fait son apparition et permet la réalisation de vitres, notamment dans les châteaux.



Illustration 22 - Château de Chambord.

Cette époque est marquée par la construction des châteaux sur les bords de Loire, tels Chenonceau, Chambord ou Amboise dont l'architecture est inspirée de celle de la Renaissance italienne. Le mélange de briques et de pierres est utilisé pour la structure. Les toitures sont en ardoises.

Les XVII^e et XVIII^e siècles

L'architecture civile et les matériaux employés changent peu des siècles précédents. Le fait remarquable est la production de verre destiné à l'architecture (verre à vitre).

Le XIX^e siècle

Le XIX^e siècle est notamment marqué par la révolution industrielle qui a débuté à la moitié du XVIII^e siècle.

Dans le domaine de l'habitation, de nouveaux besoins (accroissement de la population urbaine) appellent de nouvelles solutions.

Au cours de cette période, les logements ouvriers (maisons ouvrières et immeubles collectifs) et les maisons bourgeoises font leur apparition. Elles sont constituées de moellons ou de briques revêtus d'un enduit à la chaux.

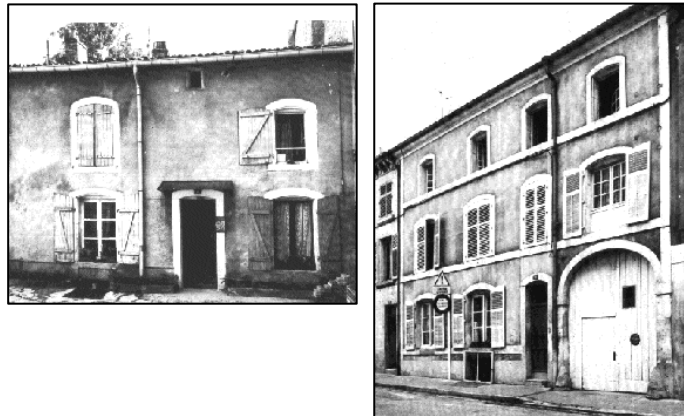


Illustration 23 - Maison ouvrière (gauche) et maison bourgeoise (droite).

La fonte fait son entrée en 1803 avec le pont des Arts. Les structures métalliques commencent à se répandre dans les usines textiles, les charpentes des théâtres ou les serres. Le fer laminé s'impose vers 1845 comme un matériau plus efficace et plus économique que la fonte, ouvrant la voie à un spectaculaire renouvellement des formes construites. Les Halles de Paris, édifiées en 1853 par Victor Baltard et Félix Callet, sont en France le premier édifice important où le métal est ouvertement montré. Elles ouvrent la voie à de nouvelles typologies d'édifices exigées par la société industrielle, tels que gares, marchés, usines, grands magasins, verrières, kiosques, pavillons d'exposition. L'architecture du fer s'épanouit alors, pour constituer l'une des créations les plus originales et les plus spectaculaires du XIX^{ème} siècle, grâce à ses qualités d'élégance aérienne, de légèreté, de transparence, mêlées de force brute, de puissance contenue, de tension extrême : la tour Eiffel.

François Coignat utilise le premier, en 1855, le béton pour bâtir une maison (toujours existante, 3, rue des Poissonniers, à Paris).

Les tuiles en terre cuite à emboîtement sont inventées en 1841.

Le XX^e siècle

Ce siècle, marqué par deux guerres successives ne connaît pas d'évolutions remarquables dans sa première moitié. Dès les années 50, les progrès vont se succéder, aussi bien dans les techniques de construction que dans les matériaux employés.

Le béton armé entre dans l'histoire de l'architecture avec la construction en 1903, de l'immeuble du 25 bis, rue Franklin, à Paris, par les frères Auguste et Gustave Perret. Utilisés pour l'ossature comme pour le remplissage de ces édifices, très audacieux pour l'époque, ciment et béton apportent à ceux qui rêvaient de créer des formes nouvelles le matériau qui leur manquait jusque-là.

L'emploi du béton dans l'architecture ne se confirme vraiment qu'après 1920. Ses ressources sont alors essentiellement employées au profit du fonctionnalisme, doctrine

esthétique selon laquelle la forme d'un édifice doit résulter d'une adaptation parfaitement rationnelle à son usage. L'ossature est la technique de base de cette tendance, dont les exemples les plus simples combinent poteaux et poutres en béton armé. Le Corbusier étudie, à dater de 1927, l'application du béton à sa théorie de l'architecture fonctionnelle, en même temps qu'il en recense les possibilités esthétiques: plan et façade libres, fenêtre en longueur, pilotis, toit-terrasse sont les nouvelles formes de la construction « en ossature ».

Après la seconde guerre mondiale, lors du grand mouvement de reconstruction des années 1950 et 1960, le béton armé est le matériau le plus approprié pour la construction de centaines de milliers de logements à bon marché. Mais sa mise en œuvre, avec les critères d'efficacité et d'économie qui étaient imposés, a conduit à des solutions d'une grande rigidité, réduisant singulièrement la liberté formelle qu'offrait a priori ce matériau.

À ce jour, le béton est le matériau le plus employé dans le domaine de la construction.

Le bois est principalement utilisé non plus comme élément de structure mais comme élément de franchissement du vide : poutre, plancher, escalier. On le trouve aussi en enveloppe (couverture, bardage) ou en tant que revêtement intérieur sur les murs et les sols. Un autre domaine privilégié du bois est celui des menuiseries (portes et fenêtres). Le bois est transformé en produit plan avec l'apparition du contre plaqué et de l'aggloméré. Ces produits répondent aussi à la volonté de valoriser les déchets de bois de qualité insuffisante. L'apparition de la technique de lamellé-collé dans les années 50 permet l'utilisation du bois à des usages réservés préalablement au béton et à l'acier.



Illustration 24 - Construction du XX^e siècle en verre.

Le verre plat est généralisé dans toutes les constructions comme élément constituant des fenêtres. Les exigences de confort thermique, acoustique et de sécurité voient se développer les produits tels que le double vitrage, le vitrage acoustique, le verre feuilleté, les vitrages coupe-feu.

Le verre n'est plus seulement utilisé dans les fenêtres mais aussi en façade (façade rideau) et en remplissage sous forme de panneaux de verre (briques de verre).

En ce qui concerne les produits en terre cuite, les innovations sont peu nombreuses. En 1920, la brique creuse fait son apparition, les briques pleines et les tuiles existant déjà. À la fin du siècle, les briques à résistance thermique améliorée sont développées (mono mur terre cuite). Les teintes des tuiles sont diversifiées.

L'acier est un matériau qui, employé dans le bâtiment, présente des limites importantes, avec une mauvaise résistance à la corrosion et des performances mécaniques et thermomécaniques réduites. L'acier traditionnel deviendra l'acier galvanisé pré-laqué puis l'acier inoxydable (alliage de fer et chrome) et il peut être protégé par un flochage en amiante.

Les aciers incorporés dans le béton pour former le béton armé à la fin du XIX^e siècle vont connaître une évolution en 1945 en étant remplacés par des aciers à haute limite élastique.

À part l'acier, l'aluminium est présent dans le bâtiment, essentiellement en menuiserie et en bardage ou vêtue. On peut citer le cuivre présent dans la câblerie et les canalisations ; il connaît un regain d'intérêt dans le domaine de la couverture. Le laiton est utilisé pour la quincaillerie et la robinetterie.

L'émergence des matières plastiques a marqué la deuxième moitié du siècle. Le PVC (polyvinylchloride) est le matériau du bâtiment par excellence, on le trouve sous forme de canalisations, de menuiseries et de revêtements de surface. Le PEHD (polyéthylène haute densité) est utilisé pour les canalisations, les gaines électriques, les membranes d'étanchéité. Le polycarbonate et le PMMA (polyméthacrylate de méthyle) sont entrés en compétition avec le verre minéral à la fin des années 50.

Les colles et autres résines sont de plus en plus employées.

Les matériaux alvéolaires, suite à la crise de l'énergie en 1973, connaissent un emploi fulgurant. Le polystyrène (expansé puis extrudé) est utilisé en tant qu'isolant thermique, de même que le polyuréthane.

À partir des années 80, les matériaux d'isolation thermique et/ou acoustique voient leur développement et leur utilisation s'accroître.

4.2.2. Évolution des techniques constructives dans le secteur du bâtiment

Pendant des siècles, les techniques constructives ont été basées sur la disponibilité des matériaux au plus proche du lieu de construction (pisé, torchis, la végétation proche, etc.). Dans les climats froids et tempérés, on se contentait jusqu'au début du vingtième siècle en milieu rural, d'une seule zone chaude dans la maison, constituée par la pièce à vivre autour du feu. On séjournait peu dans les autres pièces, les animaux vivaient à côté des humains et le stockage des réserves comme le foin dans les greniers constituait la meilleure isolation pour la saison froide.

Un premier grand changement des techniques constructives a eu lieu au début du XX^e siècle. Au lendemain de la première guerre mondiale, les besoins en logement sont très importants et le manque de main-d'œuvre conséquent. Cela favorise la généralisation de techniques de construction fondées sur la préfabrication. D'une société majoritairement rurale devient de plus en plus urbaine. Les propositions des acteurs de la construction reposent alors essentiellement sur les possibilités du béton

armé. Commence le règne sans partage de l'aggloméré creux de ciment : le parpaing. Toute prise en compte du climat est quasiment absente. Le pétrole coule à flots, l'électrification galope, personne ne pense vraiment à l'isolation et encore moins à l'environnement.

Un deuxième grand changement a lieu suite à la crise pétrolière de 1973. C'est le début de la chasse au gaspillage. Une première réglementation thermique voit le jour en 1974 (décret n° 74-306 du 10 avril 1974 (JORF, 1974)). On utilise laines minérales et polystyrène que l'industrie pétrochimique commence à produire. En général, la même solution constructive est proposée : « parpaing + isolation + cloison » (Hascoet, en ligne).

Depuis, les contraintes se sont intensifiées à travers les 5 réglementations thermiques (RT) successives (1975, 1982, 1988, 2000, 2005) pour abaisser le niveau de consommation d'énergie de fonctionnement de l'ouvrage. Actuellement, la RT 2005 propose des niveaux moyens de consommation allant de 80 à 250 kWh d'énergie primaire/m²/an et introduit un certain nombre de labels pour inciter à la haute performance énergétique (HPE). Le Grenelle de l'environnement a introduit un renforcement toujours plus contraignant de la réglementation thermique (RT 2012 en cours d'élaboration) et un relèvement progressif des normes en vue de la généralisation des bâtiments à énergie neutre ou positive (Maugard *et al.*, 2008 ; Pelletier *et al.*, 2008) :

• Pour les bâtiments neufs

- Tous les bâtiments et équipements publics devront être construits dès 2010 en basse consommation (50 kWh d'énergie primaire (ep)/m² label EFFINERGIE) ou seront à énergie passive ou positive. Les énergies renouvelables les plus performantes seront systématiquement intégrées.
- Nouvelles constructions de logements privés : le plan d'action s'articule autour de 3 dates :
 - 2010 : passage anticipé à la réglementation THPE de la RT 2005, avec un objectif d'un tiers des constructions en basse consommation ou à énergie passive ou positive ;
 - 2012 : généralisation des logements neufs à basse consommation ;
 - 2020 : objectif de généralisation des logements neufs à énergie passive ou positive (BEPOS).

• Pour la rénovation des bâtiments

- Les objectifs sont d'atteindre en 2012 une consommation de 210 kWh_{ep}/m²/an et en 2020 150 kWh_{ep}/m²/an ;
- Un label BBC (bâtiments à basse consommation) rénovation promu par l'association EFFINERGIE qui vise un objectif de consommation maximal de 80 kWh_{ep}/m²/an devrait également être mise en place pour les rénovations exemplaires.

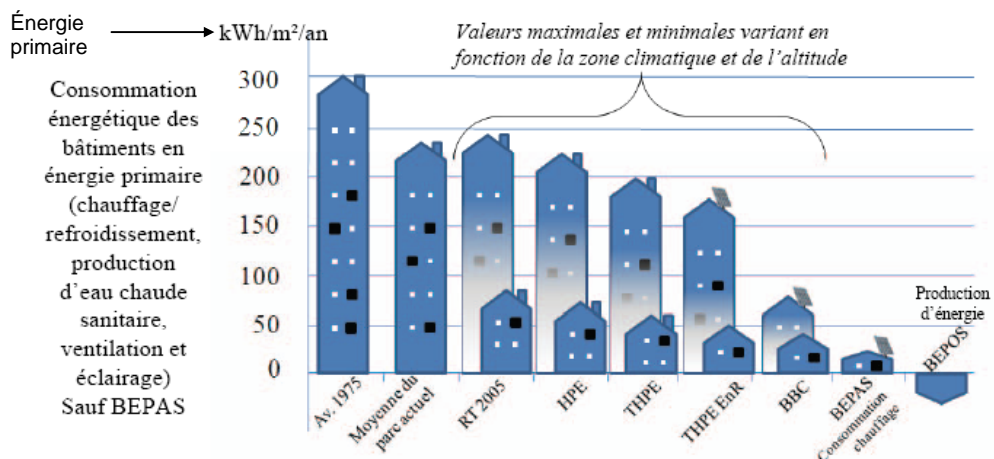


Illustration 25 - Évolution de la consommation énergétique des bâtiments mise en rapport aux différents niveaux de réglementations thermiques depuis 1975 (CAUE Isère, en ligne, et AGEDEN, en ligne, cités dans Ravel, 2008).

Toutefois, la réduction des consommations énergétiques ne doit pas seulement se cantonner à l'énergie de fonctionnement consommée pour le chauffage, le rafraîchissement, la ventilation, l'ECS, etc. Elle doit être prise en compte plus globalement pour l'ensemble du bâtiment, et porter également sur les ressources nécessaires en énergie, en eau, les émissions de GES et de polluants, les déchets produits, etc. pour la réalisation d'un ouvrage.

Le concept d'énergie grise reprend le principe d'une approche plus globale portant sur l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment. L'énergie grise comprend une énergie matière et une énergie procédé (AFNOR, 2004 ; Chevalier, 2008). Elle additionne l'énergie dépensée au cours des différentes étapes du cycle de vie d'un produit (Jourda, 2008) : de l'extraction et le transport des matières premières, de la transformation des matières premières et la fabrication du produit, de la commercialisation du produit et de la mise en œuvre du produit jusqu'au recyclage du produit.

Cette évolution des techniques constructives, s'est traduit par l'évolution des matériaux et produits utilisés pour la fabrication des bâtiments.

Les principaux éléments constitutifs d'un bâtiment sont :

- la structure porteuse (éléments verticaux et horizontaux) et la charpente/couverture pour ce qui relève du gros œuvre ;
- pour le second œuvre : l'isolation, les cloisons, l'étanchéité, les fenêtres et vitrage, les portes, les revêtements, etc.

En fonction de la typologie du bâtiment, différentes techniques constructives peuvent être appliquées afin d'assurer les fonctions des éléments constitutifs de l'ouvrage.

Typologie	
Immeubles résidentiels Logement	Maison individuelle (bâtiment d'habitation d'un seul logement, isolé)
	Maisons individuelles groupées (bâtiment d'habitation d'un seul logement, jumelé, en bande ou groupé de toute autre façon)
	Immeuble collectif (bâtiment d'habitation de deux logements ou plus)
Immeubles non résidentiels	Bâtiment administratif
	Bâtiment d'enseignement ou de recherche
	Bâtiment à vocation sanitaire et sociale
Autres typologies	Bâtiment de stockage (entrepôt, logistique)
	Bâtiment d'élevage & agricole
	Bâtiment à vocation industrielle
	Équipement sportif et culturel
	Hébergement (Hôtels, motels et autres locaux d'hébergement)
	Commerce
	Transport (Équipement collectif de transport, parkings et autres)
Autre	
Immeubles de Grande Hauteur	Immeuble appelé couramment « tour » (ou gratte-ciel)

Illustration 26 - Typologies des bâtiments.

En ce qui concerne l'ossature, on peut distinguer notamment les bâtiments :

- à ossature béton armé ou en éléments maçonnés ;
- à ossature métallique ;
- à ossature bois.

L'ossature peut également être réalisée en pierre, en terre cuite (briques), et en terre crue mélangée (pisé).

L'ossature des bâtiments se décompose généralement :

- en éléments verticaux : murs (voiles béton) et poteaux ;
- et horizontaux : radiers, poutres, planchers, paliers, balcons.

Bâtiments à ossature béton armé ou en éléments maçonnés

La structure en béton armé (matériau composite constitué de béton et d'acier qui allie la résistance à la compression du béton à la résistance à la traction de l'acier) est la technique la plus courante pour de nombreux bâtiments (à l'exception de la maison individuelle qui recourt souvent à une structure à murs porteurs en éléments maçonnés). Une structure plus lourde pourra comporter des zones de béton précontraint.

Une ossature en béton armé se réalise en utilisant des coffrages dans lesquels se placent les armatures puis le béton est coulé. Le béton qui peut être fourni par une centrale sur place ou par des camions toupies est un mélange de liants (ciments artificiels), de granulats naturels ou artificiels (sables, gravillons, graviers...), d'eau et éventuellement d'adjuvants (entraîneurs d'air, plastifiants, hydrofuges...).

Les aciers utilisés pour la réalisation du béton armé sont des alliages fer et carbone de nuance douce (0,15 à 0,25 % de carbone), mi-dure ou dure (0,25 à 0,40 % de carbone). On utilise pour le béton armé, les aciers ronds lisses, les armatures à haute adhérence ou les treillis soudés. On distingue les armatures longitudinales, disposées suivant l'axe longitudinal de la pièce, et des armatures transversales, disposées dans des plans perpendiculaires à l'axe de la pièce.

Pour les ouvrages de plus faible hauteur (maison individuelle, petit collectif, bâtiment de stockage...), les éléments verticaux (murs porteurs) peuvent être constitués de blocs maçonnés (blocs béton, briques, mono murs).

Bâtiments à ossature métallique

Les Immeubles de Grande Hauteur furent parmi les premiers à être construits sur une ossature métallique, sur lesquels viennent se fixer les façades non porteuses. Actuellement, la construction métallique est utilisée pour une typologie des bâtiments très variée :

- structure mixte acier-béton des gratte-ciels ;
- locaux industriels et agricoles ;
- bâtiments commerciaux ;
- bureaux ;
- etc.

Les techniques de construction à ossature métallique consistent dans l'utilisation de l'acier galvanisé (par exemple acier type Q345 galvanisé par immersion à chaud) assemblé par visage. L'ossature en acier galvanisé est composée des éléments suivants :

- les murs des façades ;
- la charpente du toit avec ossature du faux plafond inclus ;
- l'ossature métallique des murs de divisions intérieures ;
- si le bâtiment est de plusieurs étages, les poutres en acier des dalles intermédiaires ;
- les ancrages au sol par des chevilles à expansion chimique.

Une fois la structure assemblée sur le chantier, les finitions du bâtiment deviennent traditionnelles et les murs extérieurs peuvent être terminés de multiples façons comme

par exemple : recouvrement des façades avec des briques de parements, bardage bois, bardage métallique, enduit sur isolant, etc.

Bâtiments à ossature bois

Le système constructif de l'ossature bois consiste à ériger une trame régulière et faiblement espacée, de pièces verticales en bois de petites sections, les montants, et de pièces horizontales hautes, basses et médianes, les traverses et entretoises. Sur cette ossature, supportant planchers et toiture, est fixé un voile travaillant en panneau dérivé du bois (panneau de particules, de contreplaqué ou d'OSB⁴³) qui assure le contreventement. L'isolant thermique s'insère entre les panneaux qui recouvrent les parements intérieurs et extérieurs.

Les bâtiments à ossature bois peuvent être construits selon quatre principes constructifs (CNDB⁴⁴, en ligne) ;

• Ossature panneaux

Ce système constructif est, de très loin, le plus répandu en France et dans le monde. Une trame de montants de bois, espacés de 40 à 60 cm, est habillée de panneaux de particules, de contreplaqué ou d'OSB ; l'isolant thermique s'insère entre les panneaux. Les avantages de cette technique sont :

- la rapidité (le chantier ne dure que quelques semaines, les murs, fabriqués sur site ou en atelier, sont assemblés sur place) ;
- la souplesse et l'évolutivité (outre un bardage, les murs-panneaux peuvent recevoir des parements en brique, pierre, béton... On peut associer à une construction en ossature panneaux des éléments poteaux-poutres pour créer des volumes architecturaux plus grands, un mur maçonné pour l'inertie thermique, une façade en verre pour faire le plein de lumière, etc.) ;
- la légèreté (intéressante sur les terrains de faible portance, ou dans des zones mal stabilisées).

• Poteaux-poutres

Un « squelette » de la maison, constitué de poteaux de forte section espacés de 2,5 à 5 mètres, reliés par des poutres, est monté en quelques jours en atelier. Il peut ensuite recevoir une grande variété de remplissages. Les avantages de cette technique sont :

- l'esthétique (l'ossature porteuse reste totalement visible et constitue un élément de décoration intérieure) ;
- l'espace intérieur (les poutres de grande portée offrent une volumétrie intérieure libre et généreuse) ;

⁴³ Oriented Strand Board, ou panneau à lamelles minces orientées.

⁴⁴ Comité National pour le Développement du Bois.

Typologie/Solutions constructives	Structure Bois		Structure Béton				Structure acier				Structure mixte Bois/béton	Structure mixte Béton acier
	Voile porteur	façade béton	façade bois	façade verre	façade acier	façade bois	façade béton	façade verre	Structure mixte Bois/béton	Structure mixte Béton acier		
Immeubles résidentiels/Logement	Maison individuelle											
	Maisons individuelles groupées	X										
	Petit collectif	X	X									
	Grand collectif	X	X	X								
Immeubles non résidentiels	Bâtiment bureau administratif	X	X	X	X							X
	Bâtiment d'enseignement ou de recherche	X		X	X							
	Bâtiment à vocation sanitaire et sociale (Hôpital)	X		X	X					X		X
	Bâtiment de stockage (entrepôt, logistique)			X		X				X		X
Autres typologies	Bâtiment d'élevage & agricole	X								X		
	Bâtiment à vocation industrielle	X		X						X		X
	Équipement sportif et culturel (centre nautique)	X			X					X		X
	Hébergement											
	Commerce	X			X					X		X
	Gare	X										
	Aéroport	X										
	Usine incinération	X										
	Station service	X										
	Transport		X									
Immeubles de Grande Hauteur	IGH											
		X								X		X

Illustration 27 - Techniques constructives par typologies des bâtiments.

- la liberté architecturale (la dissociation entre la structure et le remplissage autorise une grande variété de conception : grandes baies vitrées, murs maçonnés de briques ou de béton cellulaire, terre-pisé ou terre-paille, etc.).

- **Bois empilé**

C'est la technique la plus traditionnelle (vieux chalet). D'épaisses pièces de bois de section ronde (rondins) ou carrée (madriers) sont empilées horizontalement. Elles s'emboîtent avec précision, empêchant l'infiltration des eaux de pluie. Les avantages de cette technique sont les parois porteuses et l'isolation naturelle. Cette technique propose en général une architecture spécifique : façades présentant peu d'ouvertures, assemblages visibles, finitions intérieures laissées en bois naturel.

- **Panneaux massifs**

Technique essentiellement utilisée pour les bâtiments de grandes dimensions (collectifs, industriels et commerciaux), elle conquiert peu à peu les maisons individuelles. Elle repose sur de vastes panneaux de structure en planches contrecollées, dont les performances mécaniques sont supérieures au bois massif car ils peuvent travailler dans tous les sens. Ces panneaux sont utilisés comme éléments de murs extérieurs, planchers, supports de couverture. Les avantages de cette technique sont :

- la rapidité (fabriqués en grandes dimensions, ces panneaux permettent une construction rapide et propre) ;
- le confort (ils constituent des parois massives indéformables qui, par leur capacité d'accumulation de la chaleur et de la vapeur d'eau, apportent le maximum de confort) ;
- la souplesse (on peut leur associer - prioritairement par l'extérieur - tous les matériaux isolants et de parement actuellement sur le marché).

L'illustration 27 résume les techniques constructives par typologies des bâtiments.

4.2.3. Évolution des techniques constructives dans les travaux publics

Différents types de travaux publics (infrastructures publiques) peut être distingués :

- VRD (voiries et réseaux divers) : routes, pose de bordures, assainissement, pose de gaine téléphonique, électricité, etc. ;
- ouvrages d'art, dit génie civil : ponts, écluses, stations d'épuration, etc. ;
- voie ferrée : création et entretien des voies.

Certains bâtiments de très grande taille sont également considérés comme des ouvrages de travaux publics (aéroports, centrales nucléaires, ouvrages militaires, stades, parkings et voirie des usines et institutions publiques ou privés).

Ce chapitre présente une description synthétique des techniques constructives pour les routes, les ponts et les voies ferrées.

Routes

La structure d'une route est schématisée sur l'illustration 28.

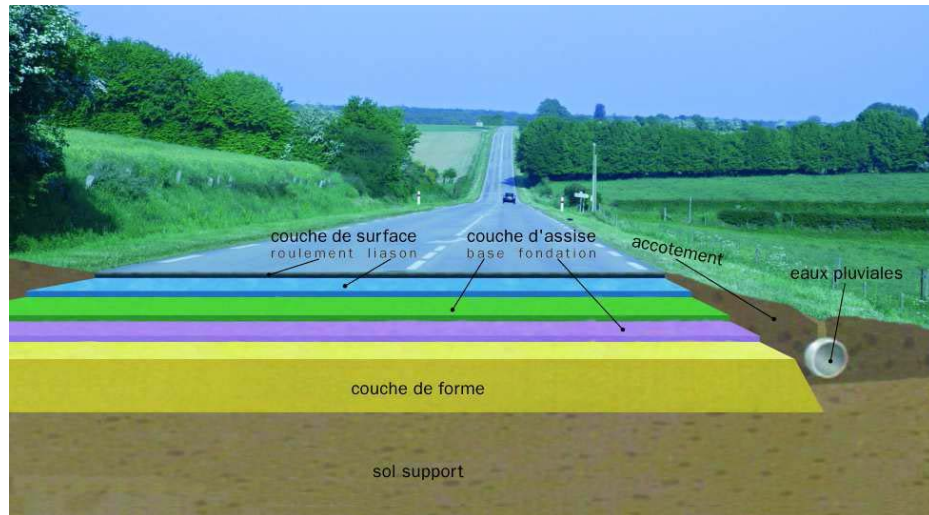


Illustration 28 - La structure d'une chaussée routière (Setra, 2010).

Plusieurs types de routes peuvent être distingués (SETRA, 2003) :

- les structures souples, qui comportent une couverture bitumineuse relativement mince, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités ;
- les structures bitumineuses épaisses qui se composent d'une couche de surface bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrocarbonés ;
- les structures semi-rigides qui comprennent une couche de surface bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques ;
- les structures rigides (ou béton) où la couche de béton de ciment, qui sert aussi de couche de roulement, repose soit sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques ou en béton maigre, soit sur une couche drainante en matériaux granulaires (« dalle épaisse »), soit sur une couche d'enrobés reposant elle-même sur une couche de forme traitée aux liants hydrauliques ;
- les structures mixtes qui comportent une couche de surface et une couche de base en matériaux bitumineux sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. De plus, le rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de chaussée est de 0,5 ;
- les structures inverses se composent d'une couche de surface et d'une couche de base en matériaux bitumineux, sur une couche en grave non traitée de faible épaisseur, reposant elle-même sur une couche de forme traitée aux liants hydrauliques qui joue également le rôle de couche de fondation.

Les principaux matériaux utilisés pour la construction des routes sont (SETRA, 2003) :

- matériaux non liés : Grave Non Traitée ;
- matériaux traités au bitume : Graves-Bitumes ;
- matériaux traités aux Liants Hydrauliques : Grave-ciment ou Grave-liant routier ou Grave-cendres hydrauliques ; Grave-laitier pré broyé (activant sulfatique ou calcique autre que chaux) ; Grave laitier granulé ou grave laitier pré broyé (activant chaux) ; Grave-ciment ; Sable-laitier ; Grave-cendres volantes silico-alumineuses-chaux ; Sable-ciment ou liant hydraulique routier ;
- béton de ciment : non goudonné et non armé, goudonné, armé en continu, béton maigre.

Pour étendre et entretenir le réseau routier en France, sont utilisés annuellement (SNBPE, en ligne) :

- 200 Millions de tonnes de granulats, soit un volume de 100 Millions de m³ ;
- 3 Millions de tonnes de bitume ;
- 2 Millions de tonnes de liants hydrauliques.

Face à ces quantités importantes de matériaux, des nouvelles techniques de construction des routes se sont développées (SNBPE, en ligne) :

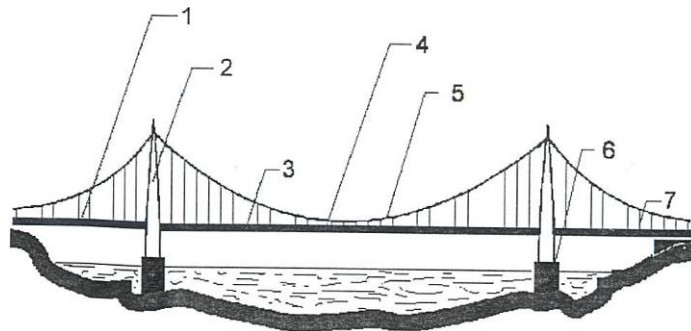
- le traitement des sols en place aux liants hydrauliques, de plus en plus utilisé pour les terrassements, mais aussi pour la réalisation des couches d'assises de chaussées (mise à profit des gisements de sols naturels pour construire les routes) ;
- le retraitement des chaussées en place aux liants hydrauliques avec la mise à profit des matériaux existants dans la chaussée dégradée pour entretenir la route (afin d'épargner les ressources en granulats et de supprimer les nuisances dues à leur transport).

La durée de vie théorique des routes est considérée égale à 30 ans pour les Voies du Réseau Structurant (VRS⁴⁵) et à 20 ans pour les Voies du Réseau Non Structurant (VRNS) (SETRA, 2003).

Ponts

Les ponts sont des ouvrages constitués d'éléments spécifiques comme schématiser dans l'illustration 29.

⁴⁵ Les Voies du Réseau Structurant (VRS) comprennent les voies rapides urbaines (VRU), les autoroutes non concédées (ARNC), les liaisons assurant la continuité du réseau autoroutier (LACRA), et certaines grandes liaisons d'aménagement du territoire (GLAT) destinées à présenter à terme des caractéristiques autoroutières. Les voies du réseau non structurant (VRNS) comprenant les autres GLAT et les routes nationales qui n'entrent pas dans les catégories précédentes.



- 1 - Travée de rive : Ces deux travées sont celles qui relient la côte au premier pylône
- 2 - Pylône ou pilier : ils soutiennent le câble porteur
- 3 - Tablier : c'est sur lui que roulent les voitures
- 4 - Travée centrale : plus longue partie du pont, située entre les deux pylônes
- 5 - Câble porteur : Le câble porteur est étendu sur tout le long du pont, et passe par les sommets de deux piliers. Il maintient le pont et en particulier les multiples suspentes
- 6 - Fondation : c'est sur elles que les piliers reposent. Elles sont principalement composées de béton
- 7 - Suspente : Petits câbles reliant le câble porteur à la travée centrale tout le long du pont

Illustration 29 - La structure d'un pont (LRMSH, en ligne).

Durant l'antiquité, les ponts, construits en bois et/ou en pierre étaient relativement peu résistants. Pendant l'empire romain, des ponts très robustes ont été édifiés par la technique en plein cintre (arc dont la courbe correspond à un demi-cercle) reposant sur des piles épaisses. Certains de ces ponts subsistent encore comme le Pont du Gard (Pont du Gard, en ligne). Beaucoup ont cependant été détruits à cause de la faiblesse de leurs fondations.

Au Moyen-Âge, un nombre considérable d'ouvrages aux formes variées apparaît, le plus célèbre étant le Pont d'Avignon. Certains sont encore en service et supportent de lourdes charges. Au lieu des larges dalles ajustées des Romains, on se sert de pierres plus petites, mais calibrées. Par la suite, les procédés de construction s'améliorent et notamment les fondations. Il reste de cette période par exemple le Pont Neuf (1578-1606) à Paris.

C'est au XVIII^e siècle que la construction des ponts en maçonnerie évolue le plus. Les piles sont plus légères, les voûtes plus nombreuses et les ponts plus bas, comme le Pont de la Concorde à Paris. À la fin du siècle, apparaissent les premiers ponts en fonte.

Dès le XIX^e siècle, l'invention du chemin de fer a entraîné un développement sans précédent des transports. Les ponts métalliques apparaissent, comme le Viaduc de Garabit de Gustave Eiffel. Pour ce pont de 565 m de longueur et 122 m de hauteur (hauteur des piles : 4,5 m à 60,7 m) ont été utilisées 3 169 tonnes de fer, 41 tonnes d'acier, 23 tonnes de fonte, 15 tonnes de plomb et 20 370 m³ de maçonnerie.

Au XX^e siècle avec l'apparition du béton armé puis du béton précontraint, les ingénieurs sont de plus en plus audacieux. Le Pont de Normandie, qui enjambe

l'estuaire de la Seine et relie le Havre (Seine-Maritime) rive droite au nord, à Honfleur (Calvados) rive gauche au sud en est certainement le plus spectaculaire exemple. Conçu par les services techniques de l'Équipement (le SETRA) et la DDE de Seine-Maritime, c'est l'un des plus longs ponts à haubans⁴⁶ du monde. La structure qui, pour l'essentiel, est en béton, est d'une longueur totale de 2 141 m. Elle comporte une travée haubanée de 856 m de portée, les 624 m du centre étant en métal. Les pylônes en béton de cette travée atteignent une hauteur de 214,77 m.



Illustration 30 - Le Pont de Normandie construit au XX^e (CCI Le Havre, en ligne).

Aujourd'hui, les grands ouvrages sont systématiquement étudiés avec l'aide d'un architecte spécialisé, aussi bien du point de vue technique, esthétique qu'environnemental. L'exemple le plus spectaculaire (actuellement le record mondial) est le viaduc de Millau : 2 460 mètres, 349 mètres de haut (19 mètres de plus que la Tour Eiffel). Le viaduc du Millau est construit essentiellement d'acier et de béton (construction de 2001 à 2004). Ont été utilisés 85 000 m³ de béton (soit 206 000 t).

Actuellement, la durée de vie garantie pour ce type d'ouvrages est de l'ordre de 100 ans (120 ans garantis pour le viaduc de Millau (Viaduc de Millau, en ligne).

De nos jours, les principaux matériaux utilisés pour la construction des ponts sont l'acier et le béton (armé et précontraint).



Illustration 31 - Viaduc de Millau (Viaduc de Millau, en ligne).

L'acier est utilisé notamment pour sa capacité à supporter les efforts de traction. En général, on utilise un des nombreux aciers spéciaux de caractéristiques mécaniques comprises entre celles d'un acier T1 (acier considéré comme étant le plus résistant avec une limite d'élasticité de 6 280 kg/cm² et une résistance admissible de 3 140 kg/cm² mais dont le prix est le plus élevé) avec et de l'acier doux qui a une limite d'élasticité de 2 500 à 3 000 kg/cm² et une résistance admissible d'environ 1 500 kg/cm².

Le béton peut être utilisé en tant que béton ordinaire (fabriqué avec du ciment Portland) ou bétons spéciaux, fabriqués par exemple avec du ciment alumineux qui a

⁴⁶ Variété de ponts où le tablier est suspendu par des câbles issus de pylônes.

non seulement une résistance mécanique très haute, mais résiste aussi à l'action corrosive de l'eau de mer et des sulfates. Afin de palier sa résistance plus faible à la traction qu'à la compression, le béton est renforcé par des barres d'acier afin d'obtenir du béton armé. Si le béton et l'acier ont des coefficients de dilatation thermique voisins, il n'en est pas de même pour leur module d'élasticité. Afin de palier cet inconvénient, le béton précontraint peut être utilisé.

Les autres matériaux utilisés pour la construction des ponts sont : les alliages à base d'aluminium, la fonte et les matières plastiques (e.g. l'époxyde renforcé à la fibre de verre, le polytetrafluoroéthylène).

Voies ferrées

Les premières voies de transports guidées, établies au XVI^e siècle principalement pour le transport du charbon, utilisaient des rails de bois, qui ont ensuite été remplacés par des rails en fonte moulée et les rails en acier. Les rails sont fixés sur des traverses qui reposent sur du ballast ou du béton.

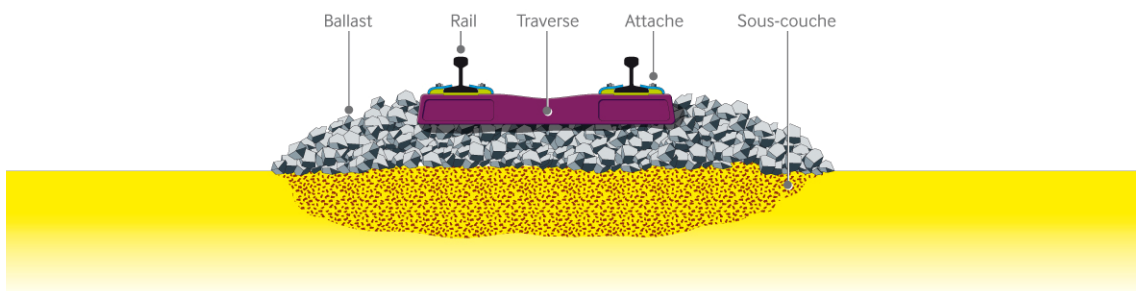


Illustration 32 - Composants voie ferrée (RFF, en ligne).

L'entretien de la voie ferrée est concentré sur le ballast et la rectitude d'alignement des rails. On peut rectifier les déviations par bourrage du ballast, par changement des traverses ou des attaches si elles sont endommagées, ou par « Renouvellement Voie Ballast » (RVB) si la voie est jugée trop ancienne (Techno - Science, en ligne).

4.3. ÉVOLUTION DES TECHNIQUES DE DÉCONSTRUCTION

Le concept de la déconstruction sélective est apparu suite à la croissance rapide des déchets issus de chantiers et à l'émergence des préoccupations environnementales dans nos sociétés.

La démolition de bâtiments produit d'importantes quantités de déchets faiblement valorisés. La déconstruction apparaît comme une alternative à la démolition dans le monde entier. Elle consiste à désassembler et séparer les éléments d'ouvrage pour maximiser le potentiel de réutilisation et de recyclage des matériaux alors que les procédés de démolition classiques mènent souvent au mélange des déchets.

La déconstruction sélective des bâtiments permet de préserver les ressources naturelles tant énergétiques que matières en améliorant potentiellement le taux de recyclage des déchets.

4.3.1. Techniques de déconstruction

Les techniques de déconstruction/démolition sont (Cormon, 1985 ; Benazet, 1997) :

- **Déconstruction manuelle ou écrêtage** : technique la plus ancienne, la « démolition à la main » trouve aujourd'hui encore son domaine d'application ;
- **Techniques mécaniques** :
 - **Démolition par traction** : câbles : ce procédé consiste à faire passer un câble autour de la partie d'ouvrage à démolir, puis tirer sur ce câble à l'aide d'un engin pour aboutir à l'écrêtement ;
 - **Démolition par sapement** : (renverser un ouvrage par remplacement des parties porteuses par des cales de bois) *ou havage* (enfouissement de l'ouvrage dans le sol, technique pratiquée dans le cas des sols assez meubles) ;
 - **Démolition par poussée** : ce procédé consiste à utiliser le godet d'un engin mécanique, généralement monté en retro, comme moyen pour démanteler les parties d'ouvrage dont les résistances à la traction sont faibles ; cette technique n'est pas utilisable pour des ouvrages en béton ;
 - **Démolition par chocs répétés (boulet)** : cette technique consiste à utiliser une grosse boule métallique suspendue à un câble que l'on fait agir soit par mouvement pendulaire, soit par chute verticale ; marteaux-piqueurs et perforateurs – ces techniques permettent la démolition par chocs puissant et répétés ;
 - **Démolition par éclatement** : ce procédé utilise les éclateurs hydrauliques ;
 - **Démolition par découpage** : ce procédé utilise des outils diamantés ou un jet d'eau additionnée de sable de quartz sous très haute pression afin de réaliser une découpe dans le pièces en béton ;
 - **Procédé Nibler** : ce procédé utilise un très grand crochet suspendu à un câble de grue ou à une pelle mécanique, qui sollicite le béton en traction en soumettant la pièce à détruire à un moment fléchissant important ;
 - **Pilons** : cette technique utilise des masses de plusieurs tonnes que l'on laisse tomber de quelques mètres (en général entre 1 et 3 m) ;
- **Procédés utilisant les explosifs et les détonations de gaz** :
 - **Explosifs** : la démolition par explosif peut être réalisée selon différentes techniques (Benazet, 1997) :
 - le foudroyage lent, qui consiste à effondrer le bâtiment sur lui-même en une dizaine de secondes ;
 - le foudroyage intégral (souvent appelé à tort : implosion), qui consiste à écrouler le bâtiment sur lui-même au moyen d'une rafale de tirs rapides après allègements mécaniques importants des niveaux dynamités par bandes horizontales (démolition mécanique des escaliers, cloisons et d'une partie des murs porteurs), pour ne laisser que des piliers trumeaux à miner ;

- le basculement d'une construction, obtenu en dynamitant, en forme de coin, une partie basse (un ou plusieurs niveaux contigus) de celle-ci. Après ouverture, la partie supérieure, située au-dessus des explosions, bascule vers l'avant en s'appuyant sur un talon arrière appelé « charnière ». Dans ce genre de démolition, le centre d'inertie et le centre de gravité de la charnière doivent être bien définis ;
- le basculement à charnière haute, qui n'a pu être appliqué aux bâtiments à démolir qu'après de longues simulations de neutralisation de la force horizontale de recul inhérente aux lois physiques des basculements ;
- le foudroyage en tonneau, pour lequel l'explosif pousse, de l'intérieur et à mi-hauteur, les parois du bâtiment à effondrer (études pour le nucléaire espagnol). Ce foudroyage se réalise également avec une séquence de tir très rapide ;
- le foudroyage en pâquerette (études pour les arènes et stades espagnols) ;
- le type mixte ou semi-foudroyage, combinaison et conjugaison simultanées des démolitions par foudroyage et par basculement, avec les contraintes propres aux deux méthodes déjà décrites.
- *Procédé Cardox* : ce procédé utilise la détente brusque d'anhydride carbonique fortement comprimé (tube Cardox) ;
- *Procédé Rock-Breaker* : ce procédé fait appel à un matériel appelé éclateur « Rock – Breaker ». Son action s'effectue par l'intermédiaire d'un dégagement brutal d'un gaz entraînant une poussée d'un liquide (en l'occurrence l'eau) sur les parois des trous ;
- **Procédés thermiques :**
 - *Lance à oxygène* : cette technique consiste principalement en l'utilisation d'oxygène qui est injecté dans un tube métallique composé de fils. L'extrémité de ce tube est allumée par chauffe, généralement par un poste oxyacétylénique ou un arc électrique. La lance allumée permet la découpe et le perçage rapide de presque tous les matériaux car les matériaux percés servent de combustible à l'oxygène de la lance. Le tube et les fils peuvent être composés d'alliages métalliques divers en fonctions des matériaux sur lesquels la lance thermique est utilisée ainsi qu'en fonction de la réaction chimique souhaitée ;
 - *Chalumeau à poudre* : dont le principe s'approche de celui à la lance à oxygène : il est fondé sur la combustion du mélange de poudre de fer et d'aluminium dans une flamme chaude oxyacétylénique ;
 - *Chalumeau à plasma* : le fonctionnement d'un chalumeau à plasma implique l'application de la torche à plasma pour couper les métaux (par exemple l'ossature métallique) ;
 - *Générateurs de micro-ondes* : le principe est celui du chauffage par pertes diélectriques, à savoir que le béton est un diélectrique et qu'il va réagir à l'application de micro-ondes. Un échauffement brutal de tout ou partie d'une construction va créer des contraintes internes à celle-ci ;
 - *Electro fracture* : le procédé consiste à soumettre la structure à démolir à un courant haute-fréquence ; les matériaux deviennent conducteurs, s'échauffent à la suite de pertes diélectriques dans la masse, puis se fragilisent par dilatation ;

- *Laser*: cette technique est basée sur la propriété du laser qui consiste à transformer l'énergie lumineuse en énergie thermique permettant ainsi la découpe des matériaux ;
- **Procédés chimiques** : ces procédés utilisent la pression d'expansion des produits chimiques à base de chaux vive hydratée (éclateurs chimiques) qui peut atteindre de valeurs de 30 à 40 MPa.

Il existe de nombreux procédés de démolition/déconstruction, chacun avec des avantages et des inconvénients.

Les caractéristiques à prendre en compte dans le choix d'une technique de démolition/déconstruction seront présentées dans le paragraphe 4.3.2.

Il faut noter que dans le cas de certains ouvrages de travaux public on ne peut pas parler de démolition/déconstruction proprement parler, mais plutôt des travaux d'entretien.

Par exemple dans le cas des voies ferrées, tous les 30 ou 40 ans, une remise à neuf partielle ou totale des voies est nécessaire pour maintenir un très bon niveau de sécurité, limiter le coût de la maintenance, apporter plus de confort aux voyageurs et réduire les nuisances sonores pour les riverains (RFF, en ligne).

Les 4 étapes d'un chantier de remise à neuf de voies ferrées sont (RFF, en ligne) :

- Étape 1 : *le dégarnissage* - retirer le ballast de la voie : la dégarnisseuse soulève la voie, extrait le ballast et le passe au criblage. La partie récupérable est redéposée sous la voie ;
- Étape 2 : *la pose* - remplacer les traverses et les rails : le train de substitution écarte les anciens rails et remplace les vieilles traverses en bois par des traverses en béton. Les longs rails neufs sont progressivement mis en place ;
- Étape 3 : *le relevage* - mettre la voie à niveau : un train « travaux » déverse et répartit la quantité de ballast nécessaire, puis une bourreuse positionne la voie avant que la régaleuse ne se charge de profiler le ballast. Une couche d'environ 25 cm de ballast est ainsi obtenue ;
- Étape 4 : *la libération* - répartir les contraintes du rail : quelques jours après le relevage, le rail est soumis à des tests thermiques visant à borner les contraintes internes qu'il devra supporter, du fait des variations de température.

Les principaux déchets produits lors de ces opérations sont le ballast qui n'est pas réutilisé sur place, les traverses et les rails qui sont remplacés.

La quantité des matériaux nécessaires peut être illustrée par deux exemples de chantier réalisés par RFF et la SNCF en 2009 :

- pour 30 km de voies, 70 000 tonnes de ballast, 49 500 traverses béton et 60 km de rails ont été utilisés (RFF, en ligne) ;

- pour 25 km de voie, 70 000 tonnes de ballast (une proportion plus faible du ballast initialement présent a pu être réutilisée), 47 000 traverses béton et 9 km de rails (seule une partie de rails a été remplacée) (RFF, en ligne).

4.3.2. Caractéristiques des différentes techniques de démolition/déconstruction

Dans le choix de la technique à utiliser, plusieurs critères doivent être pris en compte :

- l'adaptabilité de la technique au type d'ouvrage ;
- la précision et le contrôle des opérations ;
- la sécurité et le confort des travailleurs ;
- les nuisances sur le chantier ;
- la qualification nécessaire de la main d'œuvre ;
- la durée des opérations ;
- le coût intrinsèque des opérations de démolition/déconstruction ;
- le coût global qui prend **également en compte la gestion des déchets**.

Le critère « précision et contrôle des opérations de démolition/déconstruction influence fortement la « qualité » (e.g. mélange difficilement séparable ou pas) et la quantité des déchets produits.

L'illustration 33 synthétise ces critères en donnant un poids relatif par typologie de technique de démolition/déconstruction.

Actuellement, les travaux de déconstruction bénéficient d'un cadre réglementaire et technique bien défini. Ainsi, des réglementations spécifiques à respecter sur les chantiers ont été mises en place afin de maîtriser au mieux tous les risques liés à l'acte de déconstruction :

- la sécurité du chantier (La Coordination Sécurité et Protection de la Santé - SPS, rendue obligatoire depuis 1995) ;
- l'impact de ces opérations sur les éléments environnants ;
- la gestion des déchets et pollutions induites (identification et suivi des déchets, surveillance des nuisances de chantier : bruit, poussières, vibrations, etc.) ;
- les conséquences sur la solidité des ouvrages voisins et des existants conservés, etc.

Des Diagnostics Techniques doivent être réalisés avant travaux pour l'amiante, le plomb, les termites et autres polluants (fuel, pyralène, métaux lourds...).

Dans le domaine volontaire, des démarches de management environnemental de chantier ont été développées (e.g. la charte « chantier vert », « Guide sur la prévention et la gestion des déchets du bâtiment », etc.).

Technique	Type d'ouvrage							Précision et contrôle des opérations*	Sécurité pour les travailleurs	Nuisances sur chantier**	Qualification de la main d'œuvre	Durée	Coût	Coût global estimé***
	Ossature acier	Ossature béton armé	Ossature bois	Dalles ou parois de forte épaisseur	Dalles ou parois de faible épaisseur	Ouvrages massifs en béton armé	Immeubles de Grande hauteur							
Déconstr. manuelle	++	+	+++	+	++	+	+	+++	++	+	++	+++	++	++
Mécanique : découpage (outils diamantés)	+	+++	+	+++	++	+++	+	+++	+++	++	+++	++	++	++
Autres Mécaniques	+	+	+++	++	+++	+	+	+	++	+	+	+	+	+++
Explosifs et détonés de gaz	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+++	+++	+	++	+++
Thermique	++	+++	+	++	+++	+	+++	+++	++	+++	+++	++	++	++
Chimique	+	+	+	+++	+++	+	++	++	++	+	+	+++	+++	++

* Plus la précision et le contrôle des opérations est importante, meilleure est la gestion des déchets produits (tri de déchets très efficace, réduction de la quantité, etc.) ; ** Poussières, Bruit, Vibrations, Fumées, etc. ; *** En prenant en compte le traitement des déchets ;
 + Faible ; ++ Moyen ; +++ Important

Illustration 33 - Critères de choix d'une technique de démolition / déconstruction des ouvrages.

Lors du Grenelle de l'Environnement, plusieurs engagements ont été pris et sont devenus article de loi par la suite (loi Grenelle 1). Les diagnostics préalables aux chantiers de démolition et les plans de gestion des déchets du BTP sont ainsi dorénavant obligatoires.

C'est l'ensemble de ces opérations qui va permettre d'optimiser les opérations de démolition/déconstruction et de valorisation des déchets, en forte corrélation avec les techniques de construction utilisées initialement notamment dans le cadre d'une démarche d'éco-conception.

Afin de compléter l'analyse, il est nécessaire de prendre également en compte les durées de vie de produits et ouvrages concernés afin de pouvoir estimer la disponibilité du stock des matériaux potentiellement valorisable en fin de vie (type, quantité et échéance).

Une échelle de temps très longue induit des incertitudes très importantes vis à vis du comportement de l'ouvrage à long terme y compris sa vétusté, des techniques de valorisation disponibles et de la demande en matières premières secondaire sur le marché.

4.3.3. Optimisation des opérations de déconstruction et de recyclage

En parallèle à l'évolution des techniques de démolition traditionnelles vers des techniques de déconstruction sélectives, d'autres approches, souvent complémentaires, peuvent contribuer à minimiser les quantités de déchets issus des chantiers des BTP et à augmenter le potentiel de recyclabilité des matériaux.

L'éco-conception des ouvrages et des produits de construction vise à prendre en compte la maîtrise des impacts environnementaux tout au long du cycle de vie. Cette démarche peut notamment permettre de diminuer la quantité de déchets à gérer (flexibilité et modularité des ouvrages, amélioration des durées de vie des produits, utilisation de matières recyclées) et d'améliorer la qualité des matières premières secondaires (séparabilité des matériaux).

L'optimisation ou la mise au point de procédés permettant de mieux séparer les composants des ouvrages. La récupération des matériaux et leur recyclage est grandement dépendante de leur aptitude à la déconstruction, et cette dernière dépend de la séparabilité des matériaux.

La mise en place de l'audit préalable à la démolition était un des engagements du Grenelle de l'Environnement (engagement 256) ; cet audit est rendu obligatoire par la loi dite « grenelle 2 » (Loi 2010-788 du 12 juillet 2010).

La déconstruction sélective, la séparation des matériaux et le tri n'ont de sens que s'il existe des filières capables de gérer de façon différencier ces déchets pour les valoriser. L'évolution des techniques de gestion des ouvrages en fin de vie

s'accompagne donc logiquement de la mise en place de filières spécifiques de gestion des différents types de déchets : inertes, déchets de plâtre, PVC, verres plats...

4.4. STRUCTURE ET FILIÈRES DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DES MATÉRIAUX DE DÉCONSTRUCTION

4.4.1. Le réseau des plateformes de valorisation des déchets du BTP

Les plates-formes de déchets du BTP sont des installations adaptées à la réception et au traitement de déchets issus des activités du bâtiment et des travaux publics, dont les objectifs sont multiples :

- offrir une solution de proximité (rayon d'attraction des déchets d'une vingtaine de kilomètres) ;
- collecter les déchets en petite quantité ;
- trier les déchets hors chantier, dans le cas où le tri sur chantier n'est pas possible ;
- recevoir des quantités de déchets permettant de s'intégrer dans les filières de valorisation classiques ;
- optimiser les coûts d'élimination, par un négoce avec les filières d'élimination et de valorisation finales.

Les plates-formes peuvent être classées en diverses catégories en fonction des différentes fonctions développées dans ces installations (regroupement, tri, prétraitement) (ADEME, FNB, 1997)⁴⁷.

Certains de ces sites peuvent ressembler à des déchèteries en apparence, mais ils diffèrent de par leur mode de gestion, qui est exclusivement privé.

En janvier 2008, l'ADEME et la FFB recensaient 705 plates-formes de valorisation des déchets du BTP sur le territoire français (ADEME, 2008), dont :

- 348 installations de regroupement et de tri ;
- 67 installations de regroupement, tri et recyclage d'inertes ;
- 290 installations de recyclage d'inertes.

Le parc existant serait encore largement insuffisant. En effet, en 2003, les besoins en installation étaient estimés à près de 1 000 plates-formes de tri et/ou prétraitement, plus de 700 plates-formes de regroupement et/ou déchèteries d'entreprises. Ces estimations ont été calculées en tenant compte de l'objectif de proximité des sources de production (chantiers).

⁴⁷ Analyse technico-économique de 26 plates-formes de regroupement, tri et prétraitement de déchets du BTP

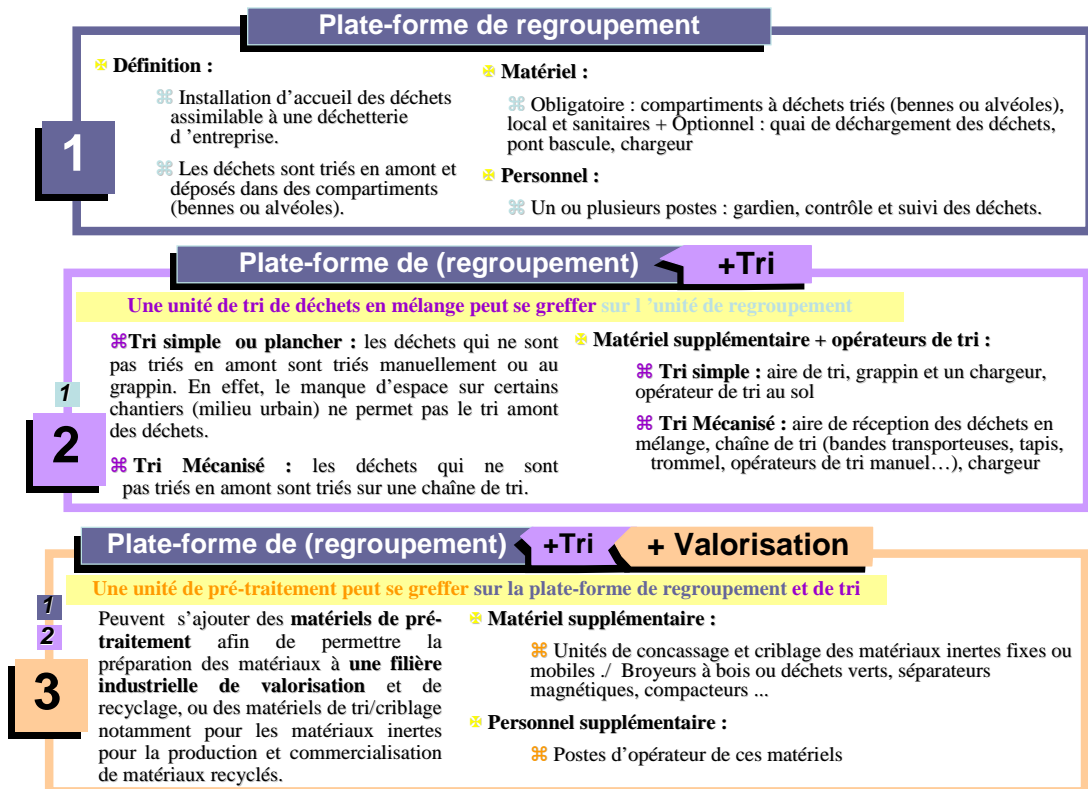


Illustration 34 - Les plates-formes classées en diverses catégories en fonction de leurs différentes fonctions (regroupement, tri, prétraitement) (ADEME, FNB, 1997).

L'ADEME a mené en 2003, une étude visant à réaliser une analyse technico-économique de 26 installations de regroupement, de tri de déchets du BTP et/ou recyclage et/ou stockage d'inertes. Cette analyse a particulièrement porté sur les flux de déchets, les caractéristiques des installations, les équipements, et les données socio-économiques. Ces plates-formes représentent un maillon important dans le tri et la valorisation des déchets de chantier.

L'ADEME a récemment souhaité renouveler cette analyse en la recentrant sur les plates-formes de tri/valorisation des déchets du BTP afin de disposer de données actualisées sur le parc des installations existantes, d'éléments d'analyse comparative et de recommandations. Elle a donc lancé début 2010 une étude sur 40 plates-formes de tri et valorisation. Les résultats de cette étude sont annoncés pour septembre 2010.

L'étude 2003 a permis de mieux connaître le fonctionnement de ces installations, voici les principaux points :

- le **profil « métier »** des créateurs de ces plates-formes sont les suivants : acteurs du BTP (construction et démolition), exploitants de carrières, prestataire de collecte et de traitement des déchets 19 %, groupement associant des acteurs du BTP et des déchets ;

- **l'origine des déchets entrants** sur ces plates-formes est pour 45 % issue de l'activité TP, et 55 % issue de l'activité Bâtiment, dont 39 % de l'activité démolition, 37 % construction et 24 % réhabilitation ;
- **les inertes** ayant subi un prétraitement sont pour 74 % commercialisés en granulats recyclés ;
- les **filières d'élimination** encore largement utilisées sont les Installations de Stockage de Déchets Inertes (ISDI) pour 23 % des inertes réceptionnés et Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) pour 73 % des déchets non dangereux, principalement composés de « refus de tri », de plâtre, de plastiques et de bois ;
- les **flux entrants** au niveau des installations enquêtées sont constitués pour 65 % de déchets inertes et 34 % de déchets en mélange (mélange de DND et de déchets inertes), et moins de 1 % de déchets dangereux (dont 70 % d'amiante ciment et 12 % de batteries) ;
- les **déchets non dangereux** sont constitués (en poids) de : 65% de bois en mélange, 20 % de déchets végétaux, 13 % de métaux, 2 % de cartons-papiers.

4.4.2. Les filières de valorisation des déchets du BTP

Les déchets du BTP représentent 40 % (données 2004) de la masse totale des déchets produits en France. **97% de ces déchets sont inertes** (terre, gravats, pierres, béton et tuiles). **Les deux tiers de ces inertes sont utilisés en remblais ou concassés** en granulats puis intégrés en sous-couches routières.

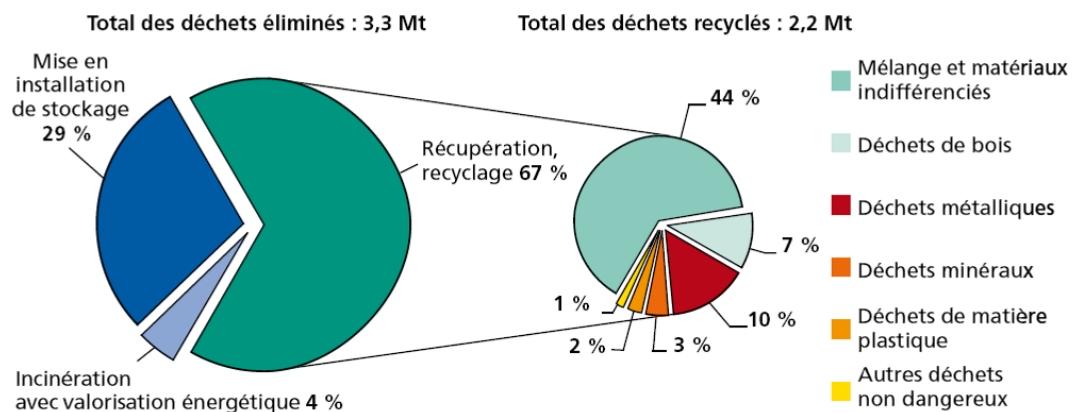
À titre d'illustration, le graphique suivant (cf. Illustration 35) analyse le devenir des déchets non inertes et non dangereux issus des seuls chantiers de démolition et des travaux publics, soit 46 % des tonnages de cette catégorie en 2004. On retrouve ainsi dans les déchets recyclés issus des chantiers de démolition et des travaux publics, par ordre d'importance, après les déchets non dangereux en mélange, identifiés spécifiquement, des déchets de bois, déchets métalliques, déchets minéraux et déchets de matière plastique.

En ce qui concerne filières d'élimination/valorisation des déchets du BTP, les principales filières existantes concernent les matériaux suivants :

- déchets inertes (DI) : avec les déchets inertes en mélange, bétons, briques et tuiles... pour une valorisation sous forme de granulats, remblais ou une utilisation en construction routière pour les couches de formes et structures de chaussées... ;
- déchets non dangereux (DND) :
 - les terres excavées ;
 - le plâtre ;
 - les laines minérales ;
 - les métaux ;
 - le bois ;

- les plastiques ;
- les papiers-cartons ;
- ...
- déchets dangereux (DD) :
 - l'amiante ;
 - autres déchets dangereux (bois traité, terre polluée, tube fluorescent, déchets de peinture, solvants, huiles usagées...).

Deux tiers des déchets non inertes et non dangereux de la démolition et des travaux publics sont recyclés⁽¹⁾



(1) On ne dispose pas de résultats concernant l'élimination des déchets des entreprises de construction et de réhabilitation des bâtiments.

Source : Ifen – ministère chargé de l'Équipement, données 2004.

Illustration 35 - Devenir des déchets non inertes et non dangereux issus des chantiers de démolition et des travaux publics.

Selon l'ADEME en 2009 (ADEME, 2009a), les filières de recyclage les plus répandues des déchets de chantiers concernaient essentiellement les déchets inertes qui peuvent être concassés et les métaux, alors les déchets tels que les plastiques, les éléments en plâtre et le bois non traité étaient encore peu concernés par le recyclage.

En particulier, le béton, les enrobés, les graves (déchets inertes) peuvent être avec le concassage sur le chantier même (installation mobile) ou sur une installation fixe pratiquant parfois aussi une activité de tri et/ou de regroupement, valorisés comme grave de recyclage pour remblaiement ou usage en technique routière (granulats artificiels).

Pour le volet travaux publics, la FNTP (FNTP, 2001) mentionne comme principale matière première secondaire les excédents de terrassement (matériaux inertes) et les déblais de chantier tels que les enrobés et les bétons de démolition.

Selon Florio *et al.* (2006), la production de déchets susceptibles d'être réemployés ou réutilisés est très majoritairement assurée, en ce qui concerne les chantiers

« bâtiment », par les chantiers de démolition et de réhabilitation en phase de dépose et reste globalement faible. Il s'agit principalement d'éléments de charpentes en bois, de portes (métalliques ou bois), d'équipements sanitaires et d'appareils de chauffage démontés de façon spécifique. Dans le cas de chantiers de construction, on peut y ajouter certains éléments de coffrage et une quantité non négligeable de palettes.

En ce qui concerne les déchets de chantier pour lesquels des filières de recyclage, bien qu'encore peu implantées⁴⁸, étaient mentionnées :

- les plastiques non souillés : avec le chlorure de polyvinyle (PVC) pour la fabrication de profilés, tubes et raccords PVC ; le polystyrène expansé (PSE) pour la fabrication du PSE ; les fûts en plastiques pour la fabrication de mandrins et tuyaux ;
- les plaques et carreaux de plâtre pour la fabrication de matériaux en plâtre ;
- le bois non traité (ou avec peu d'adjuvant) avec la fabrication des panneaux de particules et d'agglomérés provenant majoritairement des charpentes et des palettes.

Déchets inertes recyclés en granulats (DI)

Bien qu'encore très peu développée, une des pratiques les plus courantes en Europe pour la valorisation de déchets de démolition est le broyage/concassage et criblage dans l'objectif de produire des granulats recyclés, qui sont ensuite réutilisés au même titre que des granulats naturels.

Selon la FNTP (2001), sur les 25 Mt de bétons concassés issus d'ouvrages de génie civil, triés et traités, 7 Mt sont réemployées comme granulats nobles et 13 Mt sont réutilisés sous forme de remblais pour la construction des routes.

Dans le cas des déchets inertes en mélange (ADEME, 2008), le problème majeur consiste à séparer les éléments constitutifs du mélange. En effet, les pratiques courantes consistent à cribler le mélange, à travers des mailles de taille différente, afin d'obtenir une séparation des déchets grossiers et des déchets valorisables en granulats. La fraction plus fine obtenue est ensuite lavée pour obtenir d'une part des granulats propres et utilisables, et d'autre part une fraction résiduelle non valorisable (si présence de sulfates ou d'argile).

Pour le reste du mélange (refus) qui est retenu par les grilles du crible, les ferrailles sont retirées grâce à un aimant (overband), les plastiques sont aspirés ou soufflés (séparateur aérauliques), et les éléments en bois peuvent être séparés par flottaison (procédé très peu développé). L'intervention d'un tri manuel par un opérateur est nécessaire pour assurer une bonne qualité des matériaux recyclés produits.

⁴⁸ Au-delà des matériaux cités comme ayant des filières de recyclage peu implantées encore actuellement, on retrouve, parmi les déchets qui font l'objet d'interrogations sur leurs devenir potentiels, les laines minérales et le vitrage.

Selon l'UNPG⁴⁹ (d'après une enquête de enquête statistique SESSI-UNICEM-FNTP-FFB), les granulats recyclés et les matériaux valorisés couvrent aujourd'hui près de 25 % des besoins de la construction estimés à 560 millions de tonnes (Mt) en 2007, avec :

- 129 Mt issues des chantiers BTP de travaux neufs et de déconstruction :
 - 15 Mt de granulats recyclés,
 - 114 Mt de matériaux assimilés à des granulats ;
- 8 Mt de granulats artificiels issus du traitement de sous-produits industriels :
 - schistes houillers (3 Mt),
 - laitiers de hauts fourneaux ou d'aciéries (3 Mt),
 - mâchefers (2 Mt).

Les 423 Mt de granulats restant pour répondre aux besoins de la construction sont extraites en carrières.

Un gain potentiel en granulats recyclés a été estimé à 20 Mt par an à l'horizon 2015-2020 à raison de :

- 10 Mt sur les chantiers routiers (incorporation de matériaux recyclés, dans les enrobés par exemple) ;
- 8 Mt sur les chantiers de déconstruction du bâtiment pourraient être transformées en granulats recyclés (en généralisant les techniques de déconstruction et le tri à la source) ;
- dans le secteur industriel, 2 Mt de sous-produits encore évacués en installations de stockage de déchets inertes pourraient être transformées en granulats artificiels grâce à une meilleure valorisation des laitiers, des mâchefers et des schistes houillers, mais également grâce au développement de nouvelles filières comme le recyclage des sables de fonderie.

L'utilisation de ces granulats en technique routière est une voie de valorisation intéressante car elle permet d'une part d'éviter l'orientation en décharge de tonnages importants de déchets et d'autre part d'obtenir des matériaux à moindre coût (selon les cas) ayant des propriétés mécaniques comparables à celles de matériaux naturels.

Cette filière fait l'objet en France de spécifications techniques (Guide GTR) permettant de valider ou non l'utilisation de granulats issus de démolition dans différents usages de structure routière. Par ordre croissant de performances mécaniques nécessaires, on citera l'utilisation :

- en remblais et couches de formes ;
- puis en structures de chaussées.

⁴⁹ UNPG (2009) Développer le recyclage des granulats pour construire durablement, Mai 2009.

En effet, plus on descend dans la structure, plus la charge liée au trafic est répartie : les structures de chaussée sont fortement sollicitées mécaniquement, alors que les matériaux utilisés pour le remblai subissent peu les contraintes physiques du trafic, jouant le rôle mécanique le plus réduit.

Des spécifications environnementales sont en cours d'élaboration, sous la forme d'un guide d'application spécifique, déclinaison du Guide méthodologique SETRA « Acceptabilité des matériaux alternatifs en techniques routières – Évaluation environnementale » lui-même en cours de finalisation.

• Déchets inertes utilisés en structure de chaussées (DI)

Les structures de chaussées utilisent des granulats traités ou non traités aux liants, suivant le niveau de la structure. Ces granulats doivent répondre à certains critères normatifs. Toutefois, la substitution de déchets aux matériaux naturels n'est souhaitable que pour les assises de chaussées non soumises aux agressions de la circulation et des intempéries.

Les spécifications demandées aux granulats intervenant dans la confection d'une chaussée (norme NF EN 13242, août 2003), varient en fonction de la nature de l'utilisation envisagée et de la classe du trafic, dont les seuils sont définis en fonction du nombre de poids lourds par jour.

La norme définit les critères des granulats de béton concassés destinés aux chaussées (catégorie E : matériaux issus de la démolition de bâtiments en béton). Les limites découlent surtout des propriétés mécaniques et des teneurs en sulfates et sulfures.

• Déchets inertes utilisés en remblais et couches de formes (DI)

En France, les conditions d'utilisation des matériaux en terrassement routier sont précisées par le « guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme » du LCPC-SETRA datant de juillet 2000.

Selon l'utilisation, remblais ou couches de forme, le guide précise les modalités de mise en œuvre et les modalités pratiques d'exécution du compactage à partir d'une classification spécifique des sols et matériaux.

Cette classification fait l'objet de la norme NF P 11-300 et distingue trois classes : les sols (classes A, B, C et D), les matériaux rocheux (classe R) et les sols organiques et sous-produits industriels (classe F). Cette dernière classe comprend elle-même neuf familles de matériaux, dont les matériaux de démolition.

Chaque famille est partagée en sous-classes pour lesquelles sont indiquées des valeurs seuils pour les paramètres considérés comme significatifs vis-à-vis de leurs possibilités d'emploi. Pour chaque sous-classe de matériaux définie, des tableaux indiquent les conditions de mise en œuvre à respecter : ces tableaux sont spécifiques à l'utilisation de ces matériaux en remblais ou en couches de forme. Les conditions

d'utilisation des déchets de démolition sont définies par les sous-classes F71, F72 et F73 :

- F71 et F72 : matériaux de démolition épurés des matériaux putrescibles, criblés, déferrailés, homogénéisés, mais pouvant éventuellement contenir du plâtre (F72) ;
- F73 : matériaux normalement inutilisables en remblai (risques d'instabilité ou de désordres localisés).

Déchets d'enrobés routiers (DI, DND, DD)

Les enrobés des activités routières sont classés en fonction de leur composition (enrobés goudronnés, bitumineux, aimantés, avec ou sans métaux lourds...) en déchets inertes, déchets non dangereux ou déchets dangereux.

Selon l'IFEN (2007), les déchets d'enrobés routiers s'élèvent à 8,5 Mt et sont recyclés à plus de 80 %. Ce chiffre traduit l'intérêt et la forte volonté des acteurs de réutiliser ce matériau.

L'enquête de 2003 de l'USIRF⁵⁰, qui s'intéresse aux déchets d'enrobés produits par les chantiers et les rebus de fabrication, a identifié les voies de valorisation de ces déchets. On retrouve une réutilisation de ces déchets tels quels, un recyclage en centrale ou dans des centres de valorisation ou une utilisation comme remblai ou en réaménagement de carrière. Le recyclage en centrale concernait en 2003 plus de 800 000 tonnes. La marge de progrès reste importante puisque la réglementation actuelle⁵¹ donne un potentiel de recyclage en centrale de l'ordre de 3,5 Mt.

Serfass (2008) décrit les procédés de recyclage en centrale de la manière suivante :

- recyclage à chaud en centrale : la technique consiste à malaxer dans un poste à chaud des enrobés de récupération (agrégat d'enrobé) avec des granulats vierges et un liant bitumineux anhydre. On distingue le recyclage à faible taux (10 à 25 % de recyclé) et le recyclage à fort taux (30 à 65 %). Ils sont utilisés pour la fabrication de la couche de roulement, la couche de liaison ou encore la couche d'assise selon la composition de ces agrégats en liant bitumineux, la granularité des granulats etc ;
- recyclage à froid en centrale : les centrales d'enrobage à froid sont, en Europe comme en Amérique du Nord, nettement moins nombreuses que les postes d'enrobage à chaud. Le recyclage à froid en centrale est donc moins développé que celui à chaud et s'effectue majoritairement à l'émulsion de bitume. Les recyclages à l'émulsion donnent d'excellents résultats, mais cette filière est encore en phase d'évolution et d'innovations ;
- recyclage à tiède : à ce jour, toutes les technologies « à tiède » n'ont pas été expérimentées en recyclage.

⁵⁰ USIRF (2003) - Enquête USIRF 2003 : vers le zéro déchet, enquête déchets d'enrobés produits par les chantiers et les centrales.

⁵¹ La circulaire n° 2001-39 du 18/06/01 relative à la gestion des déchets du réseau routier national précise les dispositions techniques pour la réutilisation des agrégats dans la fabrication des enrobés.

Le groupe COLAS⁵² annonce par exemple qu'il incorpore en moyenne 9 % d'enrobés recyclés en 2007 (fraisâts ou croûtes d'enrobés recyclés à chaud en centrale), dans la totalité de sa production, ce qui représente une économie de près de 3,5 Mt de granulats de qualité, soit l'équivalent de la production de 35 centrales d'enrobage, ainsi qu'une économie d'environ 175 000 tonnes de bitume, soit la production de bitume d'une raffinerie de moyenne importance.

Verre (DI)

Il est possible de trouver des déchets de verre sur un chantier de démolition (fenêtres, velux et autres...) qui sont a priori recyclables par la filière établie de fonte des verres ménagers. Cependant, cette filière est encore mal adaptée aux déchets du bâtiment et la valorisation du verre de fenêtres est à l'expérimentation (J.-M. Balet, 2008).

Tuiles et briques (DI)

Le document de l'ADEME de 2009 sur les déchets de chantier ne mentionne pas spécifiquement les briques, tuiles et céramiques. Par contre, l'étude de Bio Intelligence Service (2010), qui s'intéresse aux matériaux pouvant permettre d'atteindre l'objectif de 70 % de recyclage des déchets non dangereux de construction et de démolition⁵³, mentionne également les matériaux tels que les briques, tuiles et céramiques comme ayant un fort potentiel en terme de recyclage. Les différentes filières de recyclage mises en avant par l'association européenne des tuiles et briques⁵⁴ sont les suivantes : réutilisation comme briques et tuiles et remblaiement mais aussi une valorisation sous forme de granulats pour la fabrication de béton, mortier ou brique ou encore une valorisation sous forme de sable pour les terrains de tennis ou comme substrat pour les plantes.

Terres excavées (DND) et terres polluées (DD)

Les chantiers de déconstruction et démolition peuvent être générateurs de terres dont l'excavation a été rendue nécessaire pour l'atteinte de parties enterrées d'ouvrages. La majeure partie de la production de ces terres provient toutefois probablement de la construction d'ouvrages enterrés tels que des parkings souterrains. Leur gisement global en France est estimé par l'ADEME à 140 Mm³ soit environ 280 Mt.

Sur ce gisement global, les professionnels de la dépollution estiment « à la louche » la part de terres excavées polluées à « au moins » 20 Mt (estimation présentée au GT Terres excavées – MEEDDM / BRGM le 15/03/2010).

⁵² <http://www.colas.com/>

⁵³ Cf. Directive 2008/98/CE du 19 novembre 2008 relative aux déchets

⁵⁴ TBE AISBL, www.tiles-bricks.eu

La Directive Cadre Déchets 2008/98/CE du 19 Novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives dit que toute terre excavée utilisée hors site d'origine doit être perçue selon l'angle déchet conformément au préambule 11 :

« Le statut de déchet des sols non pollués et autres matériaux géologiques naturels excavés qui sont utilisés dans d'autres sites que celui de leur excavation devrait être apprécié conformément à la définition des déchets et aux dispositions concernant les sous-produits ou le statut de fin de la qualité de déchet au titre de la présente directive. »

et que seuls sont exclus (Article 2) :

« b) les sols (in situ), y compris les sols pollués non excavés et les bâtiments reliés au sol de manière permanente;

c) les sols non pollués et autres matériaux géologiques naturels excavés au cours d'activités de construction lorsqu'il est certain que les matériaux seront utilisés aux fins de construction dans leur état naturel sur le site même de leur excavation. »

Ainsi, aujourd'hui, la révision de la directive européenne sur les déchets a précisé le lien terres polluées - déchets, prenant seulement en compte les terres excavées pour cette dénomination de déchets. Mais la pollution des sols ne doit pas être qu'une notion intrinsèque et mais doit aussi prendre en compte l'usage même des terres dans le cadre de sa réutilisation.

De ce fait, la transposition de la directive cadre déchets 2008/98/3C constitue une opportunité pour clarifier la gestion des terres excavées tant sur le plan juridique que sur les modalités techniques de gestion afin qu'elles soient, dans la mesure du possible, harmonisées au niveau européen.

La gestion des terres excavées sur site ne rentre pas dans le champ d'application de la Directive Cadre des Déchets et cette gestion doit se dans le respect des nouveaux textes en vigueur et des prescriptions édictées par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) dans sa note ministérielle du 8 février 2007 relative aux « Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués » et notamment dans l'Annexe 2 « Comment identifier un site (potentiellement pollué) – Comment gérer un problème de site pollué ».

Actuellement, l'absence de règles définissant les conditions d'utilisation, constitue clairement un frein à toute réutilisation dans des conditions sécurisantes, d'un point de vue technique, environnemental et sanitaire.

Dès lors que ces terres sont excavées et sont destinées à une réutilisation hors site, elles prennent le statut de déchet classé sous le code 17.05.03* (déchet dangereux) ou 17.05.04 (déchet non dangereux) selon qu'elles contiennent ou non des substances dangereuses.

Le MEEDDM a initié en Octobre 2009 une réflexion avec les professions concernées en vue de l'élaboration d'un cadre méthodologique et/ou réglementaire pour la gestion de ces terres en considérant distinctement :

- les terres dites « naturelles » ou non polluées : qui peuvent être réutilisées sans contrainte localement dans le même environnement géologique tout en conservant le statut de déchets ;
- les terres polluées : qui conservent un statut de déchet et dont la réutilisation (en dehors du site d'excavation) doit être définie en fonction des scénarios de réutilisation et de valeurs seuils associées (la réutilisation sur site relevant de la démarche du plan de gestion de sites et sols pollués). Les scénarios et les contraintes de réutilisation font l'objet des travaux d'un sous-groupe technique. Deux filières de réutilisation sont actuellement identifiées : la première concerne la réutilisation des matériaux en techniques routières et la deuxième concerne la réutilisation dans des projets d'aménagement. À l'heure actuelle la réutilisation des terres comme matériaux de construction et en comblement de carrières et de mines n'est pas étudiée.

La rédaction d'un guide de réutilisation des terres excavées en techniques routières et en projet d'aménagement est actuellement en cours de rédaction par les membres du groupe de travail technique. Ce guide comprendra :

- le principe de réutilisation des terres excavées et les procédures de traçabilité associées ;
- la définition de valeurs seuils pour la réutilisation selon différents usages.

Il reste encore à discuter, dans ces groupes de travail, de la question de l'autorité compétente pour réceptionner, valider et conserver d'éventuelles fiches de traçabilité.

Plâtre (DND)

Les déchets de démolition contenant du plâtre (et donc du gypse) en proportion variable posent le problème, pour leur prise en charge en installation de stockage, du relargage de sulfates (SO₄²⁻) dans les eaux, et de l'émission toxique de sulfure d'hydrogène (H₂S) en milieu réducteur. À l'heure actuelle, des filières de recyclage du plâtre sont en développement, comme c'est le cas de l'usine de BPB Placo, qui dispose de trois sites de recyclage des déchets de construction de plâtre en France (Chambéry, Vaujourn, Cognac). Les déchets doivent avoir été préalablement séparés des autres constituants d'un éventuel mélange afin que l'usine n'ait à traiter qu'un déchet « pur » c'est-à-dire uniquement composé de carton et de plâtre. Le déchet est alors traité (séparation du carton et du plâtre), puis le plâtre réinséré dans le procédé de production de plaques de plâtre, alors que le carton est soit composté, soit inséré dans la filière de production de papier (cf. BPB Placo sur www.placo.fr).

Cette filière reste encore marginale (16 400 tonnes recyclées en 2009 selon le SNIP). Elle est tributaire de l'apport volontaire des déchets sur une plate-forme de regroupement (à partir de laquelle une logistique de transport doit être mise en place) ou sur le site même de l'usine de recyclage. Cette filière ne permet pas de prendre en

charge le plâtre lié à un support autre que le carton (brique, béton...) issu notamment de la rénovation ou de la déconstruction de l'habitat ancien (antérieur au début des années 80).

Le stockage dans des alvéoles spécifiques des Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (qui sont régies par l'Arrêté du 9 septembre 1997 (JORF, 1997b) modifié en janvier 2006) et dans les installations de stockage de déchets du BTP (déchets inertes) restent les voies principales d'élimination du plâtre

Les installations de stockage de déchets inertes n'ont pas vocation à recevoir les déchets de plâtre, ce matériau n'étant pas considéré comme inerte au sens de la réglementation européenne. Cependant, le texte de mars 2006 prévoit dans le même temps que certains déchets sont admissibles sans essai (briques, béton, terre, verre et pierres), mais également des « *déchets de construction et démolition triés et contenant en faible quantité d'autres types de matériaux tels que les métaux, des matières plastiques, du plâtre, des matières organiques, du bois, du caoutchouc, etc.* ». La notion de « faible quantité » est laissée à l'appréciation de l'exploitant, ce qui soulève une difficulté d'application du texte⁵⁵.

Deux ans après la mise en application de la directive du 15 mars 2006, le nombre d'installations de stockage disposant d'une alvéole spécifique aux déchets de plâtre est très faible (probablement moins de 5 sites). Il semble raisonnable de supposer que :

- le territoire national n'est pas couvert par un maillage suffisant d'exutoires (alors que les produits à base de plâtre sont utilisés partout) ;
- les capacités d'accueil sont sous dimensionnées par rapport à la production de déchets contenant du plâtre (lequel ne constitue souvent qu'une fraction minoritaire du déchet auquel il est associé) ;
- la difficulté à trier et séparer le plâtre du matériau auquel il adhère généralement favorise le maintien de la filière stockage et la notion de « faible quantité » le leadership de l'installation de déchets inertes comme destination finale de ces produits.

Dans d'autres pays européens, des unités mobiles de broyage/concassage se déplacent sur les chantiers et permettent de préparer du plâtre recyclé sur place. C'est le cas du Danemark, de la Norvège et de la Suède (cf. Gypsum Recycling International sur www.gypsumrecycling.biz).

Laines minérales (DND)

La seule filière française identifiée pour les déchets de laine minérale est l'enfouissement en Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ex classe 2).

⁵⁵ Cette disposition s'entend en dehors de toute notion de dilution ou de mélange dans le seul but de satisfaire à des critères d'admission.

Cependant, il faut savoir que le recyclage est techniquement possible pour ces déchets incombustibles (cf. Isover sur www.isover.fr).

Métaux (DD)

Les métaux (acier, aluminium, zinc, cuivre...) font également partie des déchets présents sur un chantier de démolition. La principale filière de valorisation de ces déchets consiste en la récupération par des ferrailleurs **pour réemploi, recyclage**, etc., étant donné le fort potentiel de recyclabilité des métaux par la fonte.

C'est une autre filière de recyclage des déchets de chantier bien implantée. Ces métaux peuvent provenir des armatures pour le ferrailage des bétons, de chutes de canalisations ou encore de charpentes et structures métalliques et qui sont refondus.

Bois non traité (DND) et traité (DD)

Parmi les déchets de démolition du bâtiment, le bois occupe une place significative, et son caractère dangereux ou non est à prendre en compte pour désigner les filières de valorisation. Lorsqu'ils ne sont pas traités (ADEME, CSTB, 2006), les déchets de bois peuvent subir un broyage puis un compostage, afin d'être valorisés en tant que compost agricole, ou en paillage d'espaces verts. Ils peuvent aussi servir en papeterie, en fabrication de charbon de bois, ou utilisés en tant que bois-énergie (granulés ou briquettes...), comme c'est le cas en France et en Suisse.

Lorsqu'ils sont faiblement traités (palettes, ameublement...), les déchets de bois peuvent être valorisés énergétiquement en incinération, ou alors rejoindre le circuit des bois traités en cas de quantités trop importantes (Balet J.-M., 2008). En Suisse, les palettes sont exportées vers la France pour recyclage ou traitement (ADEME, CSTB, 2006).

Lorsqu'ils sont traités au CCA (Cuivre Chrome Arsenic), à la créosote ou ignifugés, les déchets de bois sont classés parmi les déchets dangereux et à ce titre, doivent soit être enfouis en Installation de Stockage de Déchets Dangereux (ex classe 1), soit être incinérés dans des conditions techniques adéquates (traitement de fumées...) pour permettre une valorisation énergétique (c'est le cas des déchets traités aux PCB et à la créosote en Suisse (ADEME, CSTB, 2006)), soit être regroupés puis décontaminés. Pour le cas particulier des bois traités au CCA, il existe le procédé CARBSTYL (broyage, caractérisation, broyage) qui permet de produire de la poudre de charbon et donc du charbon actif à partir de bois traités. Ce procédé est implanté en France et à l'étranger (cf. www.thermya.fr). En ce qui concerne les traverses de chemin de fer suisses, elles sont exportées vers la Suède pour être traitées (ADEME, CSTB, 2006).

D'autres filières de valorisation des déchets de bois de chantier de bâtiment sont la production de panneaux de particules (export vers l'Italie et le Benelux), ainsi que la vente occasionnelle de poutres à destinations de menuiseries (Espagne) ou encore le réemploi via le réseau Emmaüs (ADEME, CSTB, 2006).

Enfin, une autre filière de valorisation des déchets de bois implantée en France est la co-incinération en cimenterie. En effet, les déchets de bois ont en général un pouvoir calorifique suffisant pour être acceptés comme co-combustibles par les industriels du ciment.

Plastiques (DND)

Parmi les différentes variétés de plastique que l'on peut trouver parmi les déchets de démolition d'un bâtiment, certaines peuvent être orientées vers des filières de valorisation. La valorisation énergétique par l'incinération et la co-incinération sont possibles pour les plastiques. Pour les déchets plastiques en mélange, le broyage puis le compactage est possible par exemple avant co-incinération en cimenterie (à condition d'être sûr de l'absence de chlore), ou stockage en Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux.

De plus, des filières de recyclage spécifiques existent pour les déchets de PVC (polychlorure de vinyle), PE (polyéthylène) et PSE (polystyrène expansé).

Pour les déchets de PVC⁵⁶ et de PE, il existe des filières de recyclage par micronisation (réduction en particules extrêmement fines) des déchets afin d'en tirer du PVC ou du PE neuf. Ces matériaux neufs permettent ensuite de réaliser toutes sortes de produits neufs (revêtements, balises, clôtures, vêtements...). Cette filière est également implantée en Belgique, au Danemark, en Espagne, en Hongrie, en Irlande, en Italie, au Luxembourg, aux Pays-Bas, en Pologne, au Portugal, en République Tchèque, au Royaume-Uni et en Slovaquie.

En 2000, toute la chaîne européenne de l'industrie du PVC a créé Vinyl2010, personne de droit morale, chargée de mettre en œuvre au niveau européen leur engagement volontaire en matière environnementale. Dans le cadre de ce programme, une contribution financière de 250 millions d'euros sur les dix années du programme est destinée à améliorer le caractère environnemental de la production et à mettre en place une filière de recyclage, avec, notamment des actions de recherche et développement.

En France, la filière de recyclage du PVC des déchets de chantier du bâtiment a vu le jour en mars 2003 ; elle est organisée par la société SARL PVC-Recyclage. En 2005, cette société était financée pour 30 % par les industriels français du STR-PVC (Syndicat des Tubes et Raccords en PVC) et du SNEP (Syndicat National de l'Extrusion Plastique) et pour 70 % par le programme d'engagement volontaire de l'industrie européenne du PVC, Vinyl2010.

Toutes activités confondues (construction, démolition et réhabilitation), les déchets en PVC du bâtiment étaient estimés en 2005 à 15 000 tonnes en France par PVC-Recyclage. Ce sont surtout les déchets de la démolition et de la réhabilitation qui ont été ciblés par PVC-Recyclage (déchets issus des fenêtres, tubes, raccords et sols). En

⁵⁶ Source : <http://www.pvcrecyclage.fr/> et <http://fr.recovinyl.com/>

effet, le PVC relatif aux seuls déchets de la construction représente un pourcentage massique de seulement 0,3 %.

La SARL PVC-Recyclage est chargée d'organiser la collecte, le tri et le recyclage des déchets du bâtiment en PVC rigide, à savoir les tubes et raccords et les profilés de fenêtre et, à partir de 2005, les membranes d'étanchéité de toiture. Au niveau européen, l'objectif de recycler 25 % des déchets en PVC rigide du bâtiment a été atteint. Au niveau français, 1 500 tonnes ont été collectées en 2004 et l'objectif pour 2005 était de 4 à 5 000 tonnes, ce qui représentait 3 à 400 tonnes par mois. On recense 17 recycleurs accrédités en France. VEKA a lancé un programme de recyclage « VEKA Recycling », depuis 1993. Aujourd'hui, cette entreprise recycle près de 10 000 tonnes de produits dont 30% de PVC issu de fenêtres en fin de vie (chantiers de démolition, erreurs de fabrication...) (www.veka.com).

Pour les déchets de polystyrène, il existe une filière de découpe dans l'objectif de produire du gravier plastique pour drains, par exemple (selon EcoPSE¹ qui fédère 90 % des fabricants d'emballages en polystyrène expansé (PSE). Seuls les chiffres concernant les emballages en PSE sont disponibles : d'après ECO PSE⁵⁷ en France en 2007, le taux de recyclage de l'emballage PSE, tous gisements confondus, est de plus de 25 % (soit 10 600 tonnes recyclées pour une consommation nationale de 42 000 tonnes). L'extension du réseau de collecte PSE® à 190 points sur le territoire national a permis d'une part de consolider une offre de recyclage à de nombreux artisans et d'autre part, l'installation dans les déchetteries des collectivités locales a étendu la collecte des emballages PSE (industriel, commercial et ménager). Ainsi, 290 tonnes de PSE considérées comme « non collectables », car trop diffuses auront retrouvé un second cycle de vie.

Papiers et cartons (DND)

Les déchets de papier et de carton de démolition peuvent être pressés (conditionnés) puis recyclés dans leur propre procédé de production. Parmi les différents débouchés possibles d'un déchet de papier-carton, c'est la filière la plus répandue dans ce marché établi (J.-M. Balet, 2008).

Amiante (DD)

Selon la réglementation française, les déchets contenant de l'amiante sont classés parmi les déchets dangereux. On doit cependant distinguer le cas des déchets d'amiante liée (du type amiante-ciment) des déchets d'amiante friable. Dans le premier cas, bien qu'il s'agisse de déchets dangereux, leur stockage en alvéole spécifique peut être aménagé sur une installation de stockage de déchets inertes ou de déchets non dangereux. Dans le cas des déchets d'amiante friable, les deux filières d'élimination de ces déchets sont : la vitrification (onéreuse et énergivore) pratiquée par Inertam (www.inertam.com) qui produit des vitrifiats valorisables en techniques routières, ou

⁵⁷ Informations disponibles sur le site www.ecopse.fr

l'enfouissement en Installations de Stockage de Déchets Dangereux après un traitement de solidification (ex classe 1).

L'illustration suivante précise les matériaux faisant apparaître de la réutilisation, du réemploi ou de la valorisation spécifiquement dans les chantiers BTP :

Matériaux	Valorisation dans les chantiers de constructions et travaux publics
Les terres excavées	Partielle (fonction de la qualité des terres)
Les granulats	Principalement dans les chantiers TP
Matériaux pour remblais et couches de formes	Partielle, et principalement dans les chantiers TP
Matériaux pour structures de chaussées	Partielle, et principalement dans les chantiers TP
Le plâtre	Partielle
Les laines minérales	Partielle
Le verre	Non indentifiable
Les métaux	Non indentifiable
Le bois	Partielle et non indentifiable
Les plastiques	Partielle et non indentifiable
Les papiers-cartons	Non indentifiable
L'amiante	Non
Les déchets dangereux	Non

Illustration 36 - Matériaux faisant apparaître de la réutilisation, du réemploi ou de la valorisation dans les chantiers BTP.

Des guides techniques régionaux pour la valorisation des déchets du BTP peuvent exister. Ceux-ci précisent les règles d'emploi de ces différents déchets dans les régions en question. On peut citer celui publié pour l'Île-de-France⁵⁸, mais aussi ceux des régions de Haute-Normandie, Nord - Pas-de-Calais et Rhône-Alpes. Ces guides devront être pris en compte lors des études de cas du projet ASURET.

4.4.3. Inventaire des matières premières secondaires issues des déchets du BTP dans le cadre du projet ASURET

Sur les divers matériaux issus des chantiers du BTP, certains possèdent actuellement des filières de réemploi/réutilisation, recyclage en matière première secondaire bien identifiées et implantées sur le territoire français (voir l'inventaire des filières réalisées au paragraphe précédent) ou en devenir.

Dans une optique de préservation des ressources, en complément des matériaux minéraux naturels (de type granulats notamment) ou secondaires (plâtre...) ciblés à priori dans le cadre du projet ASURET, il a été décidé d'intégrer dans l'étude les

⁵⁸ Guide Technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Île-de-France - Valorisation des excédents de déblais de travaux publics, Décembre 2003.

matériaux suivants (cf. § 3.1) : bitumes (recyclage des enrobés), les métaux, les plastiques. Au travers du choix de ces matériaux, les principales filières de réutilisation/recyclage de matériaux issus des déchets du BTP bien implantées ou en devenir seront étudiées au travers du projet ASURET.

Cette liste est en cohérence avec les matériaux contenus dans les déchets du BTP pressentis par l'étude de Bio Intelligence Service de 2010 comme étant des matériaux à étudier pour atteindre les 70 % de taux de recyclage⁵⁹ fixé par la directive européenne de 2008, à savoir : les déchets constitués d'asphalte, bétons, tuiles, briques et céramiques, gypse et bois. Seules différences notables, les plastiques n'apparaissent pas dans l'étude de Bio Intelligence Service ; ce sont des matériaux non ciblés pour contribuer de manière significative à l'objectif de 70 % de recyclage des déchets du BTP. D'un autre côté, le bois, matériau sélectionné par l'étude précitée, n'est pas pris en compte dans le cadre du projet ASURET conformément aux objectifs spécifiques de cette étude.

4.5. POLITIQUE DES PAYS EUROPÉENS AFFICHANT DE MEILLEURES PERFORMANCES DANS LE DOMAINE DE LA VALORISATION ET DU RECYCLAGE

La production française de déchets de construction et de démolition (BTP) en Europe était estimée à 350 millions de tonnes en 2004, soit un ratio de 5,5 t/habitant. La France se situerait dans la partie haute de la gamme de production de déchets de construction et de démolition.

Les modes de traitement des déchets de construction et démolition dans les différents pays européens sont détaillés dans l'illustration suivante (informations extraites du rapport de l'Agence Européenne de l'Environnement datée de 2002 : « Review of selected waste streams »). Le terme recyclage comprend, ici, le broyage de briques et de béton réutilisés dans l'élaboration de nouveaux matériaux de construction ou tout simplement comme matériau de remblais sous des constructions neuves pour remplacer l'utilisation de graves naturelles.

La part du recyclage était en 1996 de plus de 80 % au Danemark, en Allemagne et aux Pays-Bas. Pour la Finlande, l'Irlande et l'Italie le recyclage ne concernerait que 30-50 % des déchets du BTP en 1997, tandis que la part de recyclage au Luxembourg était de seulement 10 % en 1997.

Les données 2004 sur la gestion des déchets de démolition en France (IFEN, 2007) donnent un taux de recyclage et de réutilisation de 32 % pour un gisement de 31,2 Mt.

⁵⁹ Cette étude suggère que cet objectif est atteignable : en effet, la fraction minérale des déchets de construction et de démolition pourrait trouver facilement des débouchés pour la construction routière ou sous forme de granulats artificiels (pour le béton par exemple) sous réserve d'une qualité suffisante. Se concentrer sur cette fraction pourrait suffire dans la plupart des pays européens pour s'approcher de l'objectif fixé à 70 % de recyclage. La mise en œuvre des techniques de démolition sélective et un tri approprié des déchets faciliterait également les possibilités de recyclage des plus petites fractions intéressantes telles que le verre, les plastiques, métaux, etc.

Le taux de recyclage global des déchets du BTP en France a été estimé à 25 % pour 2004.

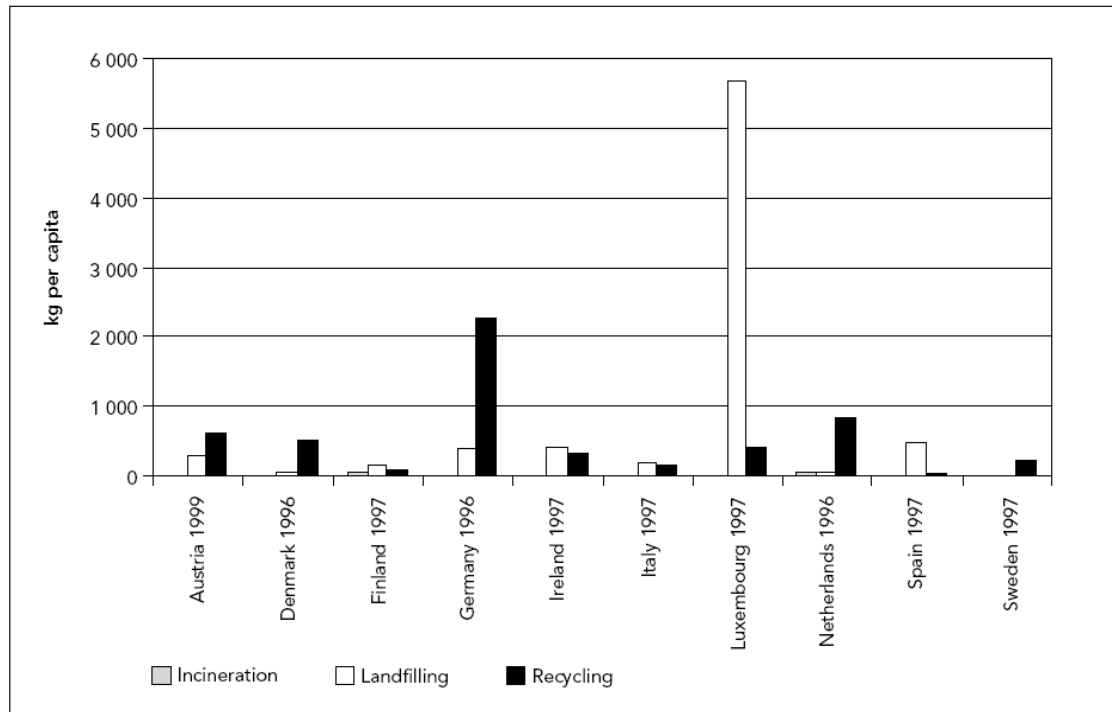


Illustration 37 - Traitement des déchets de construction et de démolition en Europe (E.E.A., 2002).

Les principales mesures particulières prises pour améliorer la gestion des déchets de démolition dans les pays européens peuvent être résumées ainsi :

- restrictions/interdictions de mise en décharge :
 - certains états membres ont mis en place une interdiction de mise en décharge des déchets de démolition en mélange : Allemagne, Flandres et Autriche (au-delà de certaines quantités),
 - d'autres ont imposé l'interdiction d'élimination des déchets réutilisables : Allemagne, France (déchets non ultimes), Pays-Bas, Danemark ;
- stockage mono spécifique (avec possibilité de réutilisation ultérieure) : des installations de stockage mono spécifique sont prévues en Allemagne (pour les déchets inertes et les terres) en Autriche (pour les déchets de construction et de démolition) et en Suède ;
- suivi de la gestion des déchets :
 - seule l'Allemagne prévoit la déclaration de la destination des déchets,
 - seule la Suède impose un audit préalable (Plan de démolition),
 - plusieurs états ont mis en place un système de déclaration ou de certification des opérateurs de la démolition (Pays-Bas, Suède), des centres de déchets de

construction et démolition (Danemark, Finlande), du transport (Finlande) et des installations de stockage (Finlande) ;

- taxes sur la mise en décharge des déchets inertes : les états suivants ont mis en place une telle taxe : Royaume-Uni, Italie, Belgique, Danemark (concernant la décharge et en moindre mesure l'incinération mais aussi l'extraction de granulats naturels), la Suède (taxe sur les granulats naturels et sur la mise en décharge) et la Finlande (taxe sur les déchets non dangereux de construction et de démolition) ;
- aides :
 - le Royaume-Uni apporte une aide à l'achat de matériel de recyclage de granulats,
 - les Pays-Bas aident l'utilisation de granulats recyclés,
 - la France apporte une aide aux études préalables, maîtrise d'œuvre et travaux de déconstruction, ainsi qu'aux études préalables et investissements en équipements de regroupement, tri, stockage et recyclage,
 - la région wallonne de Belgique a investi dans la réalisation de centres publics/privés de recyclage de déchets de construction et démolition ;
- échange – commercialisation de déchets :
 - bon nombre d'états ont mis en place un système d'échange à l'échelle nationale basé sur l'utilisation d'internet, notamment pour les matériaux issus de déchets de démolition. C'est le cas de l'Allemagne, du Royaume-Uni, de la Belgique, Autriche, Suède,
 - d'autres pays, comme le Danemark, la Finlande et la Grèce, ont mis en place un marché conventionnel plus ou moins étendu pour les produits issus de déchets de construction et démolition ;
- spécifications techniques et environnementales pour l'utilisation des déchets : la plupart des états membres ont mis au point une spécification minimale des granulats issus de la construction et démolition en vue de leur utilisation principalement dans les travaux publics. Les Pays-Bas ont été initialement le pays le plus avancé dans la définition d'un niveau de conformité que les déchets (de démolition) doivent respecter pour être acceptés au rang de « matériaux de construction » pour techniques routières (Building Materials Decree, 1995).

La plupart des états membres interrogés considèrent que l'efficacité des mesures tient à leur combinaison. Toutefois, les restrictions ou interdictions de mise en décharge et les taxes figurent parmi les mesures jugées les plus efficaces.

5. Évaluation environnementale

5.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

La prise en compte de l'environnement est devenue une obligation réglementaire et répond à une demande « sociale ». Un des objectifs du projet ASURET est de démontrer la pertinence environnementale de la valorisation des déchets du BTP. Il est nécessaire d'identifier dans un premier temps un panel d'outils d'évaluation existants qui seraient susceptibles d'être des outils pertinents. Dans un deuxième temps, il est également utile d'inventorier les bases de données disponibles susceptibles d'alimenter l'évaluation environnementale à mener dans le cadre du projet.

5.2. OUTILS D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE

5.2.1. Analyse de Cycle de Vie

L'analyse de cycle de vie (ACV) est un outil normalisé (ISO 14040 et 14044) qui a pour objectif d'évaluer les performances environnementales d'un produit, d'un procédé, d'un système ou d'un service en considérant toutes les étapes de son cycle de vie, de l'extraction des ressources naturelles, en passant par la conception et l'usage du produit, jusqu'à sa fin de vie. L'ACV se veut décontextualisée (spatialement et temporellement). Elle a été développée dans le but de comparer les impacts environnementaux potentiels de systèmes pourvoyant une même fonction.

Cet outil trouve aujourd'hui des applications de plus en plus variées, l'ACV est un outil employé pour de nombreuses applications :

- aide à la décision dans le cadre de politiques ou de plans, notamment en tant qu'outil d'aide à la décision pour les plans de gestion de déchets, dans le domaine du transport... ;
- comparaison de procédés et/ou de produits « équivalents » ;
- identification des possibilités d'amélioration des performances environnementales ;
- définition d'indicateurs de performances environnementales pertinents.

Appliquer l'ACV pour réaliser l'évaluation environnementale du recyclage des déchets du BTP présente un intérêt car d'une part, l'ACV permettra de comparer entre eux des systèmes pourvoyant une même fonction, par exemple comparer l'utilisation de matériaux issus du recyclage aux matériaux issus des ressources naturelles et d'autre part elle permettra de faire le lien entre les données d'inventaire (consommation de ressources, rejets...) et leur incidence sur l'environnement à l'aide de méthodes d'analyse des impacts environnementaux potentiels.

5.2.2. L'empreinte écologique

L'empreinte écologique⁶⁰ comptabilise la demande exercée par les hommes envers les « services écologiques » fournis par la nature. Plus précisément, elle mesure les surfaces biologiquement productives de terre et d'eau nécessaires pour produire les ressources consommées et pour absorber les déchets générés par un individu, une population ou une activité, compte tenu des technologies et de la gestion des ressources en vigueur.

Le résultat de l'empreinte écologique est exprimé en hectare global (gha) ; ce dernier correspond à un hectare de productivité moyenne, calculé à partir de la productivité de tous les hectares productifs à la surface de la planète (sur terre comme en mer).

L'empreinte écologique prend en compte les ressources renouvelables consommées, les émissions de gaz à effets de serre (bio capacité à stocker le carbone) et également l'artificialisation de l'espace. L'empreinte écologique s'efforce ainsi de répondre à une question précise, et non à tous les aspects de la durabilité, ni à toutes les préoccupations environnementales. Elle analyse la situation sous l'angle particulier de la bio-productivité de la planète. L'empreinte écologique permet uniquement de faire un état des lieux sur une situation à un instant donné, il n'est pas possible de faire une analyse prospective.

Cet outil apparaît peut pertinent dans le cadre du projet ASURET, car trop restrictif par rapport aux objectifs du projet en matière d'évaluation environnementale d'autant plus que la consommation de ressources naturelles non renouvelables n'est pas prise en compte.

5.2.3. Le Bilan carbone

La méthode Bilan Carbone®⁶¹ a été initialement élaborée pour l'ADEME par Jean-Marc Jancovici, du bureau d'études MANICORE. L'approche du Bilan Carbone se veut globale, elle a pour objectif principal de réaliser un diagnostic « effet de serre » de son activité ou de son territoire avec un inventaire exhaustif des émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre générés

C'est une méthode de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre pour parvenir à une bonne évaluation des émissions directes ou induites par une activité ou un territoire. La méthode s'applique à toute activité : entreprises industrielles ou tertiaires, administrations, collectivités et même au territoire géré par les collectivités. Le résultat du Bilan Carbone est exprimé en valeur absolue (en tonnes équivalent carbone), il est même déconseillé de rapporter le résultat à une unité fonctionnelle, par exemple l'ensemble d'un parc automobile et pas une voiture prise individuellement.

Cette méthode s'intéresse à un critère unique (le changement climatique) qui apparaît trop restrictif pour mener l'évaluation environnementale dans le cadre du projet ASURET.

⁶⁰ Ecological footprint standards 2009 : www.footprintstandards.org

⁶¹ Bilan Carbone® : Guide méthodologique - version 6.1 – objectifs et principes de comptabilisation ; www.ademe.fr/bilan-carbone

5.2.4. Le MIPS

La méthode MIPS⁶² (« Material Input Per Service unit ») a été élaborée par le Wuppertal Institute. Cette méthode a pour but d'estimer l'impact sur l'environnement résultant des « entrées ». Le MIPS exprime la quantité de ressources nécessaire pour fabriquer un produit ou pourvoir à une unité de service. Il existe une réciprocity du MIPS avec le concept de productivité des ressources.

Le concept du MIPS repose sur le constat de la raréfaction des ressources disponibles et des changements induits (le changement climatique par exemple). L'objectif est d'obtenir un indicateur pratique permettant de montrer l'effet positif des économies de ressources et par la même les potentielles économies financières.

Le MIPS calcule la consommation de ressources du « berceau à la tombe ». Les consommations de ressources des différentes phases du cycle de vie (conception, utilisation et fin de vie) d'un produit ou d'un service sont calculées. Le MIPS prend en compte toutes les quantités de matières déplacées dans la nature : matières premières abiotiques (matières minérales, énergies fossiles...), matières premières biotiques (biomasse), eau, air, érosion des sols. Il peut être effectué à différentes échelles : l'entreprise, un secteur d'activité, la totalité de l'économie (tant au niveau d'une région que d'un pays).

Dans le cadre du projet, le MIPS peut fournir un indicateur intéressant, car il prend en compte de toutes les consommations de ressources, y compris les ressources pondéreuses tel que les granulats. Par ailleurs, le MIPS requière de définir une unité fonctionnelle et un système ce qui rend la comparaison de système pourvoyant une même fonction possible.

5.2.5. Intérêt des différents outils

L'illustration 38 présente les avantages et inconvénients de différents outils potentiellement utilisables pour réaliser une évaluation environnementale dans le cadre du projet. Les différents outils présentés dans cette partie ont des objectifs variés :

- réduire l'impact global d'un système ;
- comparer les performances environnementales de systèmes délivrant un service équivalent ;
- comparer la consommation de ressources d'un système par rapport à la bio capacité de la planète à fournir ces ressources.

Dans le cadre du projet, il s'agit d'évaluer l'intérêt environnemental de la valorisation de déchets issus du BTP. À ce titre, l'intérêt de l'empreinte écologique apparaît relativement limitée car l'étude ne porte pas sur des ressources renouvelables, seul les aspects artificialisation et émissions de gaz à effet de serre seront pris en compte par

⁶² Ritthoff M. *et al.* (2002) – Calculating MIPS; Resource productivity of products and services – Wuppertal Institut for Climate, Environment and Energy at the Science Centre North Rhine-Westphalia. 52 p.

cet outil. Le bilan carbone apparaît également trop restrictif, car ne s'intéressant qu'aux émissions de GES.

	Avantages	Inconvénients
ACV	<ul style="list-style-type: none"> - Outil normalisé utilisé pour la gestion des déchets - Prise en compte des consommations et des émissions (résultats sous forme de caractérisation d'impacts, multicritère) - Approprié pour comparer/confronter plusieurs systèmes alternatifs (par le choix d'une unité fonctionnelle commune) 	<ul style="list-style-type: none"> - Le nombre d'indicateur est important (plus d'une dizaine) et rend la communication difficile.
Empreinte Ecologique	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité de communication, résultats « parlants » 	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluation quasi monocritère (ressources renouvelables et gaz à effet de serre), les résultats sont exprimés sous forme de score unique en gha ou eq CO₂ - Répond surtout à des objectifs de communication, et pas vraiment à la sélection de systèmes ayant moins d'impact.
Bilan Carbone	<ul style="list-style-type: none"> - « Simplicité » de l'outil, facilité de communication, résultats « parlants » - Méthode éprouvée et fiable 	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluation monocritère, limitée aux gaz à effet de serre. - N'a pas vocation à comparer des systèmes délivrant un service équivalent
MIPS	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte de la totalité du cycle de vie, pour l'inventaire des consommations de ressources - Prise en compte de la totalité des ressources (énergies, biomasses, matières minérales, eaux...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Limité à la phase d'inventaire, pas de caractérisation des impacts. - N'étudie pas les flux sortants du système, indispensable pour les systèmes de gestion de déchets (émissions air, sol et eau).

Illustration 38 - Avantages et inconvénients des différents outils d'évaluation environnementale.

L'ACV est certainement l'outil le plus approprié dans le cadre de cette étude pour évaluer les bénéfices environnementaux de la valorisation des déchets du BTP.

Cet outil d'analyses des impacts environnementaux permet d'exprimer un résultat qui prend en compte un nombre important d'aspects environnementaux.

Le MIPS est un outil complémentaire à l'ACV qui permet d'intégrer les consommations de ressources autres que les métaux et l'énergie dans l'analyse. Le MIPS est également compatible avec l'ACV en termes de méthode, puisque le MIPS requière de définir une unité fonctionnelle et le système étudié.

5.3. LES BASES DE DONNÉES D'INVENTAIRES D'ACV – ÉLÉMENTS DISPONIBLES

La seconde phase d'une ACV, après la définition des objectifs et du champ de l'étude, consiste en la réalisation de l'inventaire. Il s'agit de recueillir les données de chaque processus élémentaire à l'intérieur des frontières du système étudié, tels que :

- les intrants énergétiques, intrants de matières premières, intrants auxiliaires, autres intrants physiques ;
- les produits, coproduits et déchets ;
- les émissions dans l'air, l'eau et le sol ;
- les autres aspects environnementaux (bruit, odeur, etc.).

Le recueil de données peut être un processus lourd en termes de moyens à déployer. De plus, il est fréquent que l'on soit confronté à un manque de données réelles. Le recours à des données issues de base de données est fréquemment nécessaire. Cette partie propose une revue des données disponibles et potentiellement exploitables dans le cadre du projet.

5.3.1. Les fiches de déclaration environnementales et sanitaires (FDES)

Les FDES sont réalisés selon la norme NF P01-010, fortement inspirée de la norme ACV (Normes ISO 14040) et sont fournies par les fabricants de matériaux de construction ou les syndicats professionnels. Les FDES sont accessibles via le site internet de l'INIES : www.inies.fr, elles alimentent également les outils de calcul de la performance environnementale des bâtiments : TEAM Bâtiment® (PWC) et ELODIE (CSTB). Par contre, elles ne peuvent pas être utilisées directement par les logiciels d'ACV tels que Simapro ou Gabi.

Les FDES fournissent des données d'inventaires exprimées en flux élémentaires (ressources, émissions vers l'air et l'eau, production de déchets) qui prennent en compte l'ensemble du système permettant d'aboutir au produit. Les différentes étapes du cycle de vie, c'est-à-dire : production, transport, mise en œuvre, vie en œuvre, fin de vie sont détaillées.

5.3.2. La base de données européenne ELCD

La base ELCD est une base collaborative principalement alimentée par les associations sectorielles européennes et des données résultant de projets financés par la commission européenne. Les données disponibles dans la base sont validées par JRC⁶³.

⁶³ JRC (Joint Research Centre): the European Union's scientific and technical research laboratory and an integral part of the European Commission.

À ce jour, sont disponibles dans cette base de données 6 procédés sur les matériaux de construction « other mineralic materials » et 13 procédés dans la sous catégorie : « system/construction ».

Les données sont directement accessibles en ligne⁶⁴ et disponibles sous Simapro à partir de la version 7.2.3 dans la base de données du logiciel. De même que pour les FDES, les données d'inventaires sont exprimées en flux élémentaires au format « system process », ce qui limite leur exploitation. Il n'est, par exemple, pas possible de modifier les hypothèses de transport (distances, mode, etc.).

5.3.3. La base de données Ecoinvent

La base de données Ecoinvent est certainement la plus complète avec au total plus de 4000 procédés disponibles. Les différents procédés en rapport avec les matériaux de construction sont décrits dans le rapport n° 7 : Life Cycle Inventories of Building Products (www.ecoinvent.org).

Les bases de données Ecoinvent sont disponibles dans les deux formats « system process » et « unit process », ce qui autorise une certaine flexibilité, il est ainsi possible de modifier certaines hypothèses pour les adapter à un contexte local (mix électrique par exemple).

5.3.4. Autres données d'inventaire disponibles

La plus part des associations professionnelles sectorielles en Europe fournissent également des données d'inventaire relative à leur activité :

- Plastics Europe pour les plastiques : <http://lca.plasticseurope.org/index.htm> ;
- l'European Aluminium Association pour l'aluminium : <http://www.eaa.net/> ;
- ...

Les BREFs (Best REferences) sur les meilleures technologies disponibles peuvent constituer une source intéressante de données (<http://eippcb.jrc.es/reference/>) également. Ces documents permettent d'estimer les performances environnementales à venir. Par contre, les données disponibles ne sont pas dans un format directement compatible avec un inventaire de cycle de vie.

Enfin, il existe également une base de données dite « Input/output » issue des résultats du projet Forwast. L'inconvénient majeur de cette base de données est qu'elle manque de détail. L'économie européenne est divisée en 129 activités et autant de produits et de services. Les catégories en relation avec le projet ASURET sont trop agrégées donc peu exploitables dans le cadre du projet. Les activités du BTP par exemple, ne sont décrites que par 3 activités : construction de bâtiments résidentiels, bâtiments non-résidentiels et d'infrastructures.

⁶⁴ <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetCategories.vm?topCategory=Systems>

5.3.5. Intérêt des bases de données disponibles pour le projet ASURET

Les données d'inventaire disponibles pour le secteur des matériaux de constructions sont nombreuses, notamment pour les matériaux issus de ressources primaires.

Il est important de noter qu'il existe peu, voir pas de données sur les procédés de recyclage. Il n'existe pas non plus de base de données différenciant la production de matériaux fabriqués à partir de matières secondaires issues du recyclage ou à partir matières premières « vierges ». Dans les secteurs d'activité où le recyclage occupe une part importante, les bases de données sont construites à partir d'un mix entre matières issues du recyclage et matières vierges, comme par exemple pour la production de verre où 60 % des matières premières sont issues du recyclage et 40 % de matières vierges. Ces bases de données sont donc d'un intérêt limité dans le cadre du projet puisqu'il s'agit d'évaluer l'intérêt environnemental du recyclage.

L'évaluation environnementale dans le cadre du projet ASURET, s'appuiera donc sur des données d'inventaires nouvelles pour les filières de recyclages, recueillies au cours du projet.

5.4. QUELS BILANS ENVIRONNEMENTAUX POUR LA (DÉ)CONSTRUCTION ET LE RECYCLAGE ?

5.4.1. Préambule

L'étude des effets d'une activité ou d'un ouvrage sur l'environnement peut faire l'objet de différentes approches selon le contexte de l'étude et le type d'acteur, ce qui va aboutir à la définition d'objectifs différents et par conséquent à une analyse des résultats autre et finalement à des conclusions qui peuvent être divergentes.

Parmi les récents travaux de recherche et développement menés dans le cadre de l'évaluation environnementale de scénarios de gestion de déchets du BTP, il convient de citer trois principales références :

- la thèse de Nicolas Roussat, ingénieur docteur de l'INSA de Lyon, intitulée « Optimisation de stratégies de gestion du contenu « matières premières et énergie » de déchet produits et utilisés sur un territoire urbanisé – Application aux déchets de démolition du Grand Lyon » soutenue le 23 octobre 2007 ;
- la thèse de Shahinaz SAYAGH, ingénieur docteur de l'ENPC de Nantes, intitulée « Approche multicritère de l'utilisation de matériaux alternatifs dans les chaussées », soutenue le 12 décembre 2007 ;
- la méthodologie proposée à l'ADEME et à la DGUHC pour l'évaluation environnementale de l'utilisation de matières premières secondaires dans les matériaux et produits de construction (méthode en cours de validation, travaux non publiés).

5.4.2. Thèse de Nicolas Roussat

La thèse de N. Roussat repose sur une caractérisation des flux matière-énergie échangés entre l'environnement et la sphère anthropique à l'échelle macroéconomique d'une part en s'inspirant des travaux de Georgescu-Roegen considérant les territoires anthropiques comme des systèmes thermodynamiques ouverts, soumis au second principe de la thermodynamique, c'est-à-dire à l'origine d'une création d'entropie et donc d'une déstructuration des flux de matières et d'énergie, et au niveau local d'autre part par l'étude des risques de dispersion dans l'environnement des substances dangereuses contenues dans certains des déchets de démolition.

La caractérisation de ces flux, tant au niveau local que global, a permis la construction de critères de décision permettant de choisir les modes de gestion des déchets les plus performants vis-à-vis des objectifs du développement durable à l'aide de l'analyse multicritère.

Les résultats de l'analyse menée sur les déchets de démolition du Grand Lyon ont permis de tirer principalement trois enseignements :

- en premier lieu, la déconstruction sélective des bâtiments avant leur abattage est une étape primordiale. Le surcoût financier généré par cette déconstruction pouvant être largement réduit par la valorisation des déchets triés, si tant est qu'elle soit optimisée, et compensé par les gains environnementaux et socio-économiques dus à cette déconstruction. *A contrario*, la valorisation sans déconstruction préalable, et donc à un niveau de tri peu élevé, entraîne des risques de pollution éliminant le gain en termes d'économie de ressources provenant de la valorisation des déchets ;
- l'analyse montre par ailleurs qu'il est préférable d'utiliser les déchets inertes de démolition dans l'élaboration de granulats routiers plutôt que de les recycler en nouveaux matériaux de construction considérant qu'il faut plus d'énergie pour fabriquer des blocs de bétons à partir de granulats recyclés, notamment pour vaincre le phénomène d'entropie, que pour fabriquer ces mêmes blocs de béton à partir de granulats naturels ;
- le troisième enseignement tiré de cette analyse porte sur la nécessité d'adopter des mesures permettant de gérer distinctement les déchets dangereux du bâtiment selon des moyens adaptés à la dangerosité des substances qu'ils contiennent et en tenant compte de leur valeur énergétique.

5.4.3. Thèse de S. SAYAGH

Le travail de thèse de S. SAYAGH a consisté à élaborer un outil d'aide à la réflexion, basé sur l'évaluation globale des modules routiers, par l'analyse du cycle de vie, associée à une approche multicritère. L'outil a pour vocation de permettre au maître d'ouvrage d'avoir des éléments sur l'évaluation globale : des procédés de traitement qui sont mis en œuvre pour transformer le déchet initial en granulats ou liant, de transport et de mise en œuvre des matériaux ainsi que des impacts environnementaux liés à leur utilisation selon le territoire considéré. Une des finalités de cet outil est de rechercher des axes d'amélioration des pratiques d'étude et des pratiques routières en

s'inscrivant le plus objectivement possible dans une perspective de développement durable.

L'exemple traité par S. SAYAGH dans sa thèse porte sur l'utilisation de laitiers d'aciérie comparée à l'utilisation de matériaux traditionnels. Les travaux ont montré notamment que le fait de considérer les laitiers comme un déchet ou un co-produit donne des résultats totalement inversés : favorable dans un cas à l'utilisation de laitiers d'aciérie par rapport à des matériaux traditionnels, défavorable dans l'autre cas. Cette étude montre l'importance que les hypothèses initiales peuvent avoir sur les résultats d'une ACV. Les résultats seront favorables si les laitiers sont considérés comme un déchet (les impacts de l'aciérie ne sont pas attribués aux laitiers) et défavorables si les laitiers sont considérés comme un co-produit (une partie des impacts de l'aciérie sont attribués aux laitiers) lorsque ils sont comparés à l'utilisation de matériaux traditionnels.

5.4.4. Méthodologie ADEME

La méthodologie proposée à l'ADEME et à la DGUHC par EEDEMS (et en particulier les équipes du CSTB et de POLDEN) pour l'évaluation environnementale de l'utilisation de matières premières secondaires dans les matériaux et produits de construction s'inscrit dans un cadre méthodologique plus large comprenant une analyse de faisabilité technique, économique, environnementale et sanitaire.

Pour le volet environnemental, distincte de l'évaluation sanitaire, deux approches complémentaires d'observation ont été suivies : le bilan environnemental global d'une part et l'évaluation des risques environnementaux d'autre part.

L'**analyse du cycle de vie** (ACV) a été retenue pour démontrer la pertinence environnementale globale de la valorisation d'un déchet comme matière première secondaire pour un produit de construction. L'étude de faisabilité environnementale globale consiste donc en la réalisation d'une ou plusieurs analyses de cycle de vie dont les objectifs auront été clairement définis. Cette analyse environnementale globale par ACV doit permettre en effet de démontrer :

- la pertinence de la valorisation matière du déchet comme MPS par comparaison avec d'autres modes de valorisation ou d'élimination du déchet ;
- la pertinence environnementale de la fabrication du produit de construction à partir d'une MPS plutôt qu'à partir d'une matière première vierge.

La **méthodologie** d'évaluation **des risques environnementaux** proposée s'inspire des différentes démarches jusqu'alors employées pour l'évaluation environnementale appliquée aux déchets, à savoir :

- réglementaire : définition des critères d'orientation vers les différents centres de stockage de déchets ultimes (Directive « décharge » n° 1999-31 CE) ;
- normatif : caractérisation du comportement à la lixiviation en conditions spécifiées (Norme CEN ENV 12920) ;
- scientifique : méthode d'évaluation de l'éco-compatibilité de scénarios de stockage et de valorisation de déchets (Méthode ADEME « Eco-compatibilité ») ;

- technique : guide d'acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières (projet mis en consultation destiné à une publication en septembre 2010).

Le principe essentiel de la méthodologie proposée pour l'évaluation des risques vis-à-vis de l'environnement repose sur la notion de risque induit par la présence simultanée d'au moins un **critère de danger** pour l'environnement, **de milieux cibles sensibles** à ce critère de danger et **d'une voie de transfert** de la source de danger vers les écosystèmes cibles. Il est appliqué pour l'ensemble des phases de vie de la MPS ou du produit ou matériau de construction : fabrication, mise en œuvre, vie en œuvre et fin de vie.

Cette méthodologie a fait l'objet d'une application industrielle qui devrait conduire prochainement à sa validation.

5.4.5. Autres outils

Enfin, parmi les récents travaux de recherche et développement menés dans le cadre de l'évaluation environnementale de scénarios de gestion de déchets du BTP, il faut mentionner les différentes données sur les performances environnementales et sanitaires des produits dont la déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction (FDES), établie par les fabricants selon la norme NF P01-010, sont à la base des outils d'évaluation de la qualité environnementale des ouvrages (QEB). Le secteur de la construction évolue vers une prise en compte accrue des impacts environnementaux, ce qui implique la création d'outils d'aide à la décision permettant de répondre à ces enjeux. Plusieurs méthodes d'évaluation de la QEB existent déjà mais il n'y a pas aujourd'hui d'outil consensuel et harmonisé à l'échelle nationale ou européenne.

Il existe différents outils dédiés à l'évaluation environnementale d'un bâtiment, à minima ils prennent en compte uniquement les impacts imputables aux produits de construction et certains d'entre eux intègrent également le calcul des consommations d'énergie durant la vie en œuvre, les consommations d'eau et l'impact du transport des usagers. Parmi ces outils on peut citer :

- en France : ELODIE, EQUER, TEAMBuilding, Green rating, CO²CON ;
- à l'international : BEES 4.0, ECOSOFT, ECOBAT, ENVEST, GreenCalc.

ELODIE, par exemple, est un logiciel qui permet d'évaluer la qualité environnementale d'un bâtiment sur tout son cycle de vie. Véritable outil d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) des bâtiments, ELODIE est relié à la base de données INIES (www.inies.fr) et utilise les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) pour passer de l'échelle « produits » à celle « d'ouvrage ». À la contribution des matériaux et produits de construction aux impacts environnementaux d'un bâtiment est adjointe celle des consommations d'énergie et d'eau de l'ouvrage en exploitation.

Dans la volonté de rendre opérationnel le Grenelle de l'Environnement, ELODIE permet de faire des calculs d'énergie grise, le bilan carbone ou de calculer un profil environnemental multicritère d'une opération pour faciliter l'aide à la décision.

Dans sa version actuelle, ELODIE permet d'évaluer un projet à toutes ses phases (conception, réalisation, exploitation) et peut servir de support à la certification environnementale des ouvrages (HQE...).

De nouvelles fonctionnalités seront développées pour :

- mieux prendre en compte la phase chantier (construction, démolition et déconstruction) ;
- évaluer des opérations de réhabilitation et comparer avec la construction neuve ;
- permettre le choix d'un site...

De même, ELODIE sera enrichi progressivement (en 2010 et 2011) et intégrera d'autres modules et d'autres aspects, en particulier la prise en compte du transport des usagers, et des indicateurs de confort intérieurs tels que le confort acoustique, la qualité d'air intérieur, le confort visuel...

Concernant les déchets des TP, EUROVIA (filiale du groupe VINCI) a développé un outil propre à ces chantiers : Gaïa. Basé sur la méthodologie de l'analyse de cycle de vie, Gaïa examine l'impact environnemental de chaque phase de réalisation d'un ouvrage routier : de l'extraction de matériaux dans la carrière au comptage de la couche de roulement sur la chaussée. « Le logiciel utilise différents critères d'analyse dont la consommation d'énergie primaire, les émissions de gaz à effet de serre, la production de déchets, l'acidification de l'air... mais également des données propres à chaque ouvrage comme l'impact des camions qui passent sur les chantiers », indique Stéphane Quint.

5.4.6. Synthèse

Pour conclure sur la revue de l'état de l'art du volet évaluation environnementale du projet ASURET, l'ACV est un outil pertinent pour mener l'évaluation environnementale dans le cadre du projet. Il pourra être complété par un indicateur complémentaire tel que le MIPS. Les bases de données disponibles pour les matériaux de construction devront être complétées par de nouvelles données sur les filières de recyclages.

Il apparaît nécessaire, de mener une étude plus approfondie des outils dédiés à l'évaluation environnementale des bâtiments, en s'intéressant aux bases de données sur lesquelles ils s'appuient, aux méthodes de caractérisation des impacts environnementaux et à la définition et aux limites des systèmes étudiés par ces outils (conception, réalisation, exploitation, fin de vie...). Il s'agira d'évaluer la valeur ajoutée que ces outils peuvent apporter par rapport à des outils d'ACV généralistes comme Simapro® ou Gabi®.

6. Chaîne de responsabilités et de décision dans le BTP

6.1. LES ACTEURS

Dans le secteur du bâtiment et des travaux publics, six grandes catégories d'acteurs peuvent être définies :

1. Les **Fournisseurs de matières premières (MP) et/ou les Fabricants de produits de construction**, qui extraient, fabriquent puis acheminent les MP et/ou produits auprès des distributeurs. Ils maîtrisent le processus de fabrication et les spécifications des produits.
2. Les **Distributeurs**, qui approvisionnent en produits les professionnels ou particuliers qui réalisent les travaux : grande surface de distribution (ex : Leroy Merlin), distributeur professionnel (ex : SAMSE), centrale d'achat ou grossiste.
3. Les **Maîtres d'Ouvrage (MO)** et les **Maîtres d'Œuvre (Moe)**, qui peuvent être publics ou privés. Le MO est une personne physique ou morale, pour laquelle l'ouvrage est construit. Le maître d'ouvrage est le décisionnaire. Le Moe est choisi par le MO et agit pour le compte de celui-ci. Il est chargé de : concevoir le projet, contrôler les moyens utilisés par l'entreprise et les matériaux mis en œuvre, assurer la direction des travaux. Le MO et le Moe trouvent conseil et assistance (AMO et AMOe) auprès de bureaux d'études, laboratoires, bureaux de contrôle.
4. Les **Réalisateurs** de chantiers : Les entreprises de travaux, réalisatrices de chantiers peuvent se différencier selon les types de chantiers (construction neuve, réhabilitation, démolition) et les tailles de chantiers (grands ouvrages et infrastructures, petits chantiers). Dans les TP ce sont surtout de grandes entreprises de construction et des moyennes entreprises de terrassement. Dans le bâtiment, on trouve essentiellement des grandes entreprises (groupes) et des petites entreprises de construction (artisans).
5. Les **Gestionnaires de parc immobilier ou Administrateurs de biens** qui assurent les services de gestion de biens immobiliers pour le compte de propriétaires (investisseurs, entreprises, institutionnels, particuliers) : concession d'exploitation, gestion locative ; gestion des charges d'exploitation ; maintenance et gestion technique ; tâches de syndic de copropriété ; gestion des parties privatives.
6. Les **Gestionnaires de déchets** : ce sont les récupérateurs (collecteurs/trieurs), les régénérateurs (valorisateurs/recycleurs) et les éliminateurs (stockage des déchets ultimes).

Pour chacune de ces catégories d'acteurs, il existe des organisations professionnelles et para-professionnelles. Elles assurent la défense des intérêts des professionnels du secteur à l'échelle locale et nationale : ce sont des syndicats ou groupements de syndicats (fédérations, unions), des centres techniques.

L'ensemble de ces acteurs agit dans le respect de la réglementation et législation et participe à l'organisation territoriale notamment au sein de groupes de travail ou de commissions (PDBTP⁶⁵, SCOT⁶⁶ et carrières...).

6.2. RESPONSABILITÉS ET OBLIGATIONS DE CHACUN PAR RAPPORT À LA GESTION DES DÉCHETS

Tous les intervenants directement impliqués dans l'acte de construire ou d'aménager, sans exception, sont concernés par l'élimination des déchets.

Ainsi, parmi les 6 grandes catégories d'acteurs définies au paragraphe précédent, les Maîtres d'ouvrages, qu'ils soient publics ou privés, les Maîtres d'œuvres, les Entreprises et les Gestionnaires de déchets font partie d'une chaîne économique et technique à l'ensemble de laquelle revient la responsabilité de gérer le traitement et l'élimination des déchets.

Les Fournisseurs et les Fabricants ne sont généralement pas directement impliqués dans l'acte de construire ou d'aménager (bien qu'ils puissent également intervenir comme gestionnaires de déchets dans certains cas). Leur responsabilité intervient davantage en amont au niveau des déchets générés par leur activité avant la commercialisation et la livraison de leurs produits. Ils peuvent également intervenir dans le rôle de Gestionnaire de déchets notamment en tant que recycleurs.

Les Gestionnaires de parcs immobiliers et les Administrateurs de biens interviennent plus en aval de l'acte de construire ou d'aménager. Leur responsabilité est plus orientée vers la phase d'exploitation de l'ouvrage et la gestion des déchets produits pendant cette période. Dans certains cas, ils peuvent toutefois assumer des missions de Maîtrise d'Ouvrage (Déléguée notamment) qui peuvent les amener à s'impliquer dans un projet de construction ou de réhabilitation.

Le code de l'Environnement fixe dans son article L. 541-2 le cadre légal de cette obligation : « Toute personne qui produit ou détient des déchets dans des conditions de nature à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination dans des conditions propres à éviter lesdits effets. »

Le Maître d'Ouvrage, qui se positionne à l'amont de cette chaîne d'acteurs avec un poids essentiel dans tout schéma de prise de décision, est en position de jouer un rôle prépondérant dans le respect des réglementations, mais également dans l'amélioration des pratiques.

Les Maîtres d'Ouvrages, doivent selon la circulaire du 15 février 2000 relative à la planification de la gestion des déchets de chantier du bâtiment et des travaux publics (BTP), non publiée au JO, donner aux entreprises et artisans du bâtiment et des

⁶⁵ PDBTP : Plan de gestion départemental des déchets du BTP.

⁶⁶ SCOT : Schéma de cohérence territoriale.

travaux publics, les moyens, notamment financiers, mais également en termes d'organisation et de délai, de gérer les déchets de chantiers en respectant la législation relative à la protection de l'environnement.

Les Maîtres d'Ouvrage doivent respecter la recommandation T2-2000⁶⁷ pour les maîtres d'ouvrage publics, la norme NF P03-001 dans sa version de décembre 2000 pour les maîtres d'ouvrage privés.

La Fédération Française du Bâtiment (FFB) et la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) ont rappelé de façon synthétique, au travers de leur association BTP environnement et de sa lettre d'information (voir BTP Environnement, 2008) les responsabilités et obligations de chacun des principaux acteurs d'un projet :

- le **Maître d'Ouvrage** prévoit les coûts engendrés par une élimination réglementaire des déchets, établit préalablement un diagnostic déchet, contrôle le suivi des déchets, donne les moyens aux entreprises d'éliminer leurs déchets en conformité avec la réglementation, fournit les informations techniques, prévoit les moyens financiers nécessaires, prévoit un suivi du respect de ses prescriptions ;
- le **Maître d'Œuvre** optimise le projet de gestion des déchets, intègre les recommandations du Maître d'Ouvrage, organise le chantier (possibilité de tri, modalités de construction, etc.) ;
- l'**Entreprise** de BTP propose et met en oeuvre des solutions techniques, prévoit un suivi des déchets, identifie les coûts pour les intégrer à l'offre de marché, propose des produits et matériaux recyclables ;
- le **Professionnel du Déchet** respecte la réglementation, aide les entreprises à définir le niveau de tri, trie et valorise les déchets.

6.3. DÉMARCHES ADMINISTRATIVES ET RÔLE DE CHACUN POUR PRESCRIRE LE TRI DES DÉCHETS DU BÂTIMENT LORS D'UN CHANTIER

Les responsabilités et obligations de chacun des acteurs doivent se décliner et s'exercer à la fois dans les documents contractuels encadrant le projet d'aménagement (documents de marché, mémoires et études techniques, contrats) et à la fois aux travers des documents qualité des différents acteurs (chartes, manuels qualité, plans d'assurance qualité, bonnes pratiques). Ceux-ci doivent intégrer cette exigence et définir précisément les conditions techniques et économiques dans lesquelles la responsabilité en matière d'élimination des déchets va être transférée du Maître d'Ouvrage aux entreprises.

⁶⁷ La recommandation n° T2-2000 du groupement permanent d'études et marchés de travaux (GPEM/T) fournit aux maîtres d'ouvrage les moyens susceptibles de favoriser l'adaptation des pratiques du bâtiment à la réglementation sur les déchets et la nécessité de leur valorisation. Elle pose comme principe général que le maître d'ouvrage doit exiger que la proposition de l'entreprise fasse apparaître le mode opératoire envisagé pour la gestion et l'élimination des déchets de chantier, ainsi que le coût correspondant.

Des guides de recommandations destinés aux maîtres d'ouvrage sont disponibles. On peut citer les recommandations faites aux maîtres d'ouvrage pour la prise en compte de l'environnement et de sa réglementation dans les chantiers de bâtiment, guide édité conjointement par le Ministère de l'Écologie du Développement et de l'Aménagement Durables et le Ministère du Logement et de la Ville en septembre 2007.

Le centre national d'innovation pour le développement durable et l'environnement dans les petites entreprises (CNIDEP)⁶⁸ s'est attaché à expliciter les démarches administratives et le rôle de chacun vis-à-vis de la gestion des déchets à chaque étape d'un chantier de bâtiment depuis les phases de conception jusqu'à la réalisation du projet :

- *Programme d'opération* : le Maître d'Ouvrage indique dans son programme l'ensemble des contraintes à respecter pendant tout le processus d'élaboration et de construction de l'ouvrage. Il précise la contrainte environnementale imposée au niveau du chantier : « le tri des déchets » en fonction de son importance et la minimisation de son impact sur l'environnement ;
- *Marchés d'étude* :
 - *Maîtrise d'Oeuvre* : le Maître d'Ouvrage précise ses exigences au Maître d'Oeuvre. Il lui indique qu'il doit, en liaison avec ses partenaires : optimiser le projet de façon à utiliser de préférence des matériaux non polluants et à limiter les quantités de déchets qui seront produits et organiser le tri des déchets produits sur ce chantier en vue de leur récupération ;
 - *Coordination SPS* : de la même façon, le Maître d'Ouvrage précise au coordonnateur SPS la façon dont il participera au bon fonctionnement du tri sur le chantier, au niveau du plan général d'installation du chantier ;
- *Projet et consultation des entreprises* :
 - le Maître d'Ouvrage indique dans son CCTP (Cahiers des clauses techniques particulières) les obligations des entreprises en matière de tri sélectif des déchets de chantier résultant de la réglementation en vigueur et en imposant un contrôle permanent avec pénalités si nécessaire ;
 - le Maître d'Oeuvre indique dans son CCTP le niveau de tri retenu dans le cadre de l'opération et précise les dispositions techniques applicables au tri et à la gestion des déchets ;
 - le Coordonnateur SPS indique dans son PGCSPS⁶⁹ (Plan Général de Coordination de Sécurité et de Protection de la Santé), l'organisation à mettre en oeuvre sur le chantier ;
 - le Maître d'Ouvrage précise dans le RPAO (Règlement Particulier d'Appel d'Offres) ou le RC (Règlement de Consultation) les éléments concernant la réglementation sur les déchets de chantier et l'obligation pour les entreprises de se conformer aux dispositions du tri des déchets.

⁶⁸ Source : CNIDEP - Prescrivez le tri des déchets de chantier sur vos opérations disponible sur le site www.cnidep.com.

⁶⁹ Le décret no 94.1159 du 26.12.94 (article R.238.22) indique la composition du PGCSPS.

Sur le chantier, le Maître d'Œuvre et le coordonnateur SPS doivent s'assurer au cours de la préparation de chantier du respect des dispositions indiquées au CCTP du maître d'œuvre et au PGCSPS du coordonnateur SPS et éventuellement de la conformité des adaptations retenues.

Le Maître d'Œuvre et le Coordonnateur SPS s'assurent pendant le déroulement du chantier et jusqu'à la réception de l'ouvrage, de la bonne application du dispositif retenu au niveau de chaque intervenant.

Le SOSED (schéma d'organisation et de suivi de l'évacuation des déchets) est une démarche établie dans le même esprit qu'une démarche qualité et ses outils ; cette démarche suppose pour les intervenants :

- *Maîtres d'ouvrage et maîtres d'oeuvre* :
 - d'identifier et de quantifier, par famille, les matériaux que l'entreprise trouvera sur le site ;
 - de modifier les pièces de marchés actuelles en y intégrant la démarche SOSED et ses exigences ;
 - d'assurer le suivi de la bonne application de la démarche SOSED ;
- *Entreprises* :
 - de produire, à l'appui de l'offre, un document appelé «SOSED - Dispositions Préparatoires» exposant les mesures générales que l'entreprise s'engage à mettre en oeuvre pour gérer les déchets mentionnés dans les pièces de marché ;
 - de rédiger, pendant de la période de préparation du marché, un document détaillant les dispositions prises ;
 - de fournir des documents d'enregistrement en cours et en fin de chantier, appelés bordereaux de suivi, justifiant la traçabilité des déchets et la bonne application de la démarche.

7. Un cadre réglementaire en pleine évolution

7.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Ces dernières années, la pression réglementaire s'est accrue pour favoriser les politiques de prévention des déchets et s'assurer d'une meilleure gestion des déchets produits pour, d'une part, réduire les impacts environnementaux négatifs associés et d'autre part, réduire la pression exercée sur les ressources naturelles. En effet, la demande croissante en matériaux a toujours été traitée par une augmentation de la production. Une prise de conscience récente du caractère non renouvelable de certaines ressources naturelles, les tensions observées sur le marché des matières premières et de l'énergie, remettent en cause ce postulat, au travers d'une incitation forte et une pression réglementaire croissante impulsée par l'Union Européenne, au développement des filières de recyclage et de valorisation. Pour le secteur de la construction, cette prise de conscience se traduit notamment par l'introduction dans le projet de texte pour un remplacement de la directive sur les produits de construction (89/106/CEE) par un nouveau règlement du Parlement Européen et du Conseil de la notion « d'utilisation durable des ressources naturelles » (cf. § 7.4).

Dans le même temps, il faut constater que le marché national des filières de collecte, de traitement et de valorisation des déchets et excédents de chantier issus de la construction, réhabilitation et démolition des bâtiments et infrastructures peine à décoller, bien que ce secteur soit concerné par :

- la stratégie thématique pour la prévention et le recyclage des déchets⁷⁰ ;
- les objectifs ambitieux de la directive cadre déchets du 19 novembre 2008 (tendre vers une société européenne du recyclage) ;
- la planification de la gestion des déchets du bâtiment et des travaux initiée par la circulaire interministérielle du 15 février 2000 ;
- les engagements européens, en particulier la directive décharge de 1999 (directive 1999/31/CE du Conseil du 26 avril 1999).

Un nouvel élan est donné au recyclage des déchets du BTP au travers de la directive 2008/98/CE du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives⁷¹. Cette directive fixe, entre autres, l'objectif minimal suivant : que d'ici 2020, le réemploi et le recyclage des déchets non dangereux de construction et de démolition atteignent 70 % en poids, à l'exclusion des excédents de terrassement ; objectif repris dans le plan d'actions déchets 2009-2012 du gouvernement. De plus, elle établit une

⁷⁰ CCE (2005) Communication de la Commission au Conseil, au Parlement Européen, au comité économique et social européen et au comité des régions. Mise en œuvre de l'utilisation durable des ressources : une stratégie thématique pour la prévention et le recyclage des déchets. COM 666, Commission des Communautés Européennes, Bruxelles.

⁷¹ Abrogeant la directive 2006/12 (abrogeant elle-même la directive de 1975).

hiérarchie à cinq niveaux d'intervention sur les déchets : prévention, réemploi, recyclage, autres formes de valorisation comme la valorisation énergétique et, en dernier lieu, l'élimination. Enfin, elle fixe les conditions d'éligibilité à la qualification de sous-produit ou de produit issu de déchets.

7.2. CADRE RÉGLEMENTAIRE NATIONAL

Responsabilité

Toute personne qui produit ou détient un déchet a l'obligation de l'éliminer ou de le faire éliminer dans des conditions propres à éviter les effets préjudiciables à l'environnement. Ainsi, si les entreprises « produisent » matériellement les déchets, elles le font à la demande des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre. Le commanditaire des travaux est donc responsable, avec l'entreprise, de la gestion des déchets de chantiers selon l'article L. 541-2 et L. 541-9 du Code de l'environnement.

Classification

La classification des déchets est définie par le décret n°2002-540 selon la nomenclature européenne. Les codes marqués d'un * indiquent les déchets classés dangereux. On y retrouve notamment dans la rubrique 17 les déchets de construction et de démolition (y compris déblais provenant de sites contaminés).

Objectif de valorisation

La directive 2008/98/CE du 19 novembre 2008 assigne aux états membres l'objectif suivant : d'ici 2020, la préparation en vue du réemploi, le recyclage et les autres formules de valorisation matière des déchets non dangereux de construction et de démolition passent à un minimum de 70 % en poids. Cette directive doit être transposée dans les états membres pour décembre 2010. Sa transposition portera sur des enjeux déterminants avec notamment la révision et clarification des définitions de référence, le renforcement de la planification et la définition des conditions de sortie du statut de déchet.

Planification

La gestion des déchets de chantiers du bâtiment et des travaux publics a fait l'objet d'un texte qui aborde l'ensemble de la problématique. Il s'agit de la Circulaire du 15 février 2000 relative à la planification de la gestion des déchets de chantiers du bâtiment et des travaux publics.

Cette planification a été préconisée, afin de répondre et de préparer la profession du bâtiment et des travaux publics aux exigences de la loi du 13 juillet 1992, codifiée dans le code de l'environnement titre IV, livre V, la limitation du stockage des déchets réservé, à partir du 1^{er} juillet 2002, aux seuls déchets ultimes. Le fait d'inciter à établir

des plans de gestion de ces déchets a apporté une meilleure connaissance du gisement et une réflexion poussée quant au devenir de ces déchets.

Les objectifs assignés par la circulaire se déclinent ainsi : réduire à la source des déchets du BTP, promouvoir la valorisation et le recyclage des déchets afin de réduire la mise en décharge, notamment par l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers du BTP. À noter qu'outre la planification, cette circulaire rappelle le principe pollueur-payeur et insiste sur le rôle que doivent jouer les maîtres d'ouvrage dans les domaines du bâtiment et des travaux publics (cf. chapitre 6).

Initiés par la circulaire du 15 février 2000, à la date du 1^{er} avril 2007, soixante-quinze plans départementaux de gestion des déchets du BTP avaient été approuvés et vingt-trois autres étaient en cours d'élaboration. Ces plans doivent, outre dresser l'inventaire des déchets issus de chantiers du BTP, fixer des objectifs de valorisation de la matière des déchets et de diminution des quantités stockées et privilégier l'utilisation, y compris par les maîtres d'ouvrage publics, des matériaux recyclés dans les chantiers du bâtiment et des travaux publics. Les plans doivent prévoir obligatoirement des installations de stockage des déchets inertes issus des chantiers du BTP, ainsi que la définition d'une organisation de collecte sélective et de valorisation matière des déchets.

La loi dite « Grenelle 2 » (Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement) rend cette planification obligatoire (cf. paragraphe 7.3).

Audit préalable avant démolition

La mise en place de l'audit préalable à la démolition est un des engagements du Grenelle de l'Environnement (engagement 256) ; sont concernées dans un premier temps :

- les opérations de démolition de bâtiments ou parties de bâtiments ayant accueilli une activité agricole, industrielle ou commerciale et ayant été le siège d'un stockage, d'une fabrication ou d'une distribution de produits dangereux ;
- les opérations de démolition de bâtiments ou parties de bâtiments d'une surface hors œuvre nette supérieure à 1 000 m².

Cet audit (diagnostic relatif à la gestion des déchets issus de la démolition ou réhabilitation lourde) est rendu obligatoire par la loi dite « grenelle 2 » (Loi 2010-788 du 12 juillet 2010) : « *Art. L. 111-10-4. – Des décrets en Conseil d'État déterminent les catégories de bâtiments qui, en raison de la quantité ou de la nature des déchets que leur démolition ou réhabilitation lourde est susceptible de produire, font l'objet, avant leur démolition ou réhabilitation lourde, d'un diagnostic relatif à la gestion des déchets issus de la démolition ou réhabilitation lourde, ainsi que le contenu et les modalités de réalisation de ce diagnostic.* »

Modes de gestion des déchets du BTP

Les différents modes de gestion des déchets de chantier possibles par type de déchets sont présentés sur l'illustration 39.

Les activités de regroupement, pré-traitement et traitement des déchets relèvent de la réglementation sur les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)⁷² hormis le stockage de déchets inertes issus de chantiers du BTP qui dispose d'un régime d'autorisation préfectorale propre.

À chaque grande catégorie de déchets (inertes, non dangereux, dangereux), correspond un type d'installation de stockage concernant la mise en décharge des déchets et une réglementation spécifique.

• Installations de stockage des déchets inertes (ISDI)

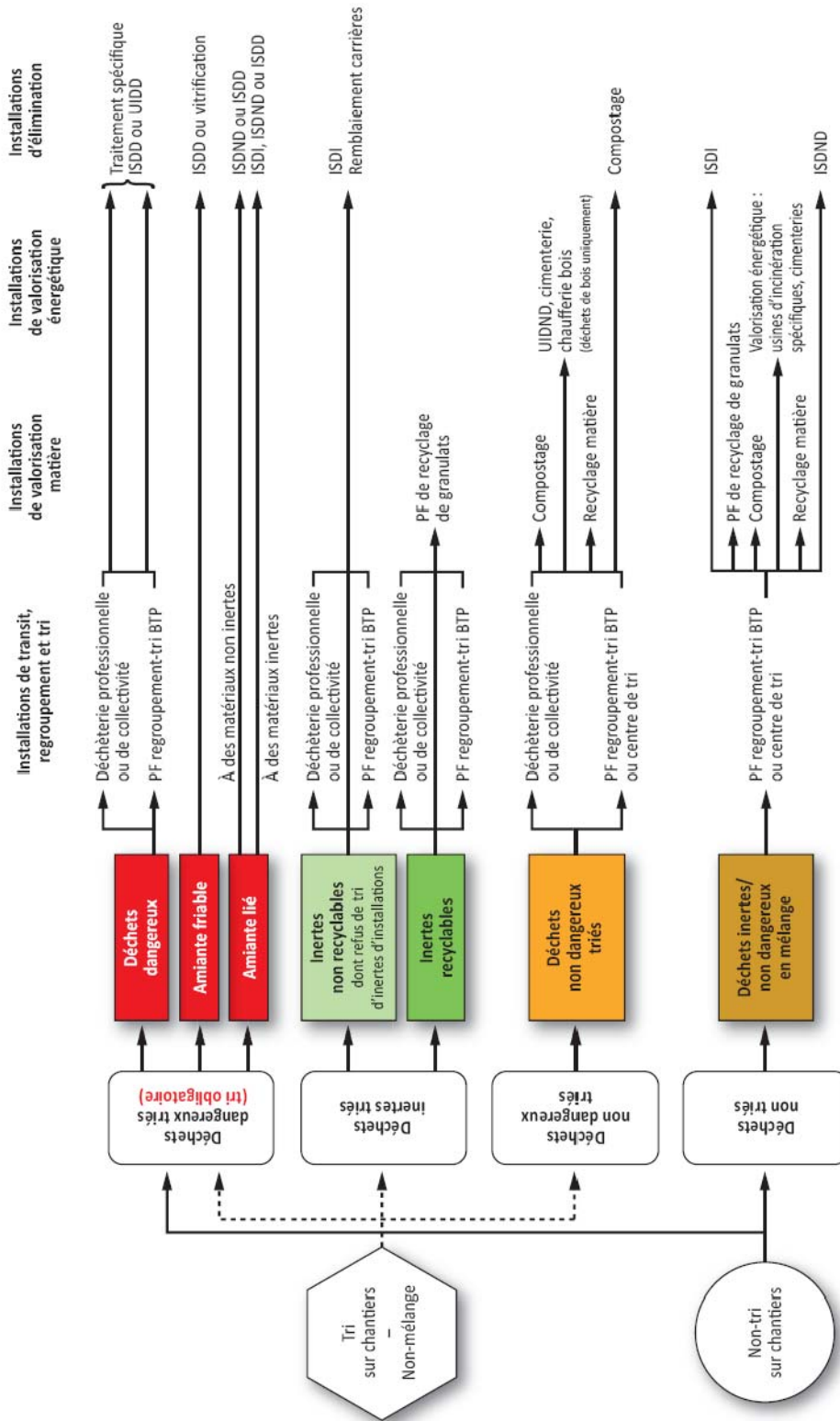
Le décret n° 2006-302 du 15 mars 2006, désormais codifié au sein de la partie réglementaire du code de l'environnement, et l'arrêté du 15 mars 2006 ont achevé la transposition de la directive 1999/31/CE et de la décision n° 003/33/CE du 19 décembre 2002, en ce qui concerne les installations de stockage de déchets inertes (ISDI). Des précisions sont apportées par la circulaire du 20 décembre 2006.

Le décret du 15 mars 2006 fixe la procédure de délivrance de l'autorisation pour ces installations et les conditions dans lesquelles les installations déjà en fonctionnement sont soumises à autorisation. L'arrêté ministériel du 15 mars 2006 pris en application du décret du 15 mars 2006 détermine les conditions minimales que doit respecter l'exploitation du site et les types de déchets admissibles (voir l'annexe I) : Il s'agit de bétons, briques, tuiles et céramiques, des mélanges de ces matériaux, verre ou emballages en verre (non valorisables), mélanges bitumineux (test nécessaire pour confirmer l'absence de goudron), terres et pierres y compris les déblais et à l'exclusion de la terre végétale et de la tourbe (analyse à effectuer en cas de présomption de contamination), matériaux de construction inertes contenant de l'amiante (uniquement pour les matériaux ayant conservé leur intégrité).

Il appartient à l'exploitant de préciser dans sa demande d'autorisation les catégories des déchets mentionnées précédemment qu'il compte admettre dans son installation. Seuls ces déchets seront repris dans l'arrêté préfectoral autorisant l'exploitation du site. S'agissant des déchets issus du bâtiment et des travaux publics, seuls les déchets pour lesquels un tri préalable a été réalisé peuvent être admis⁷³.

⁷² NB : dernières modifications apportées au droit des installations classées et au droit des déchets par la Loi du 12 mai 2009.

⁷³ NB : En pratique, les déchets de déconstruction et de démolition issus du bâtiment sont rarement totalement exempts de résidus organiques ou non inertes. Ainsi, les déchets inertes contenant, en faible quantité, d'autres types de matériaux tels que des métaux, des matières plastiques, du plâtre, des substances organiques, du bois, du caoutchouc, etc. qui ne sont pas séparables dans des conditions technico-économiques acceptables peuvent également être admis dans ces installations.



Les filières de réutilisation et réemploi ne sont pas symbolisées dans ce synoptique car elles n'existent que pour certains matériaux.
 ISDI : installation de Stockage de Déchets Dangereux / ISDD : installation de Stockage de Déchets Non Dangereux / PF : Plate-forme / UIDND : Usine d'incinération de Déchets Non Dangereux

Illustration 39 - Filières de gestion des déchets de chantier.
 Source : ADEME Prévenir et gérer les déchets de chantier Mai 2009.

Avant la livraison d'un déchet, le producteur des déchets devra remettre à l'exploitant de l'installation de stockage de déchets inertes un document préalable indiquant l'origine, les quantités et le type de déchets. Le bordereau de suivi des déchets inertes mentionné par la recommandation n° T2-2000 aux maîtres d'ouvrage publics relative à la gestion des déchets du bâtiment pourra être utilisé à cet effet.

- **Installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND)**

Leurs conditions d'exploitation sont définies par l'arrêté du 9 septembre 1997 modifié. Les déchets de plâtre ou les déchets d'amiante sont acceptés dans ces installations mais sont stockés dans des alvéoles spécifiques afin de ne pas avoir d'interactions avec les autres déchets.

- **Filières de collecte et traitement spécifiques à certains déchets (responsabilité élargie des producteurs)**

La responsabilité élargie des producteurs (REP) est introduite par l'article L. 541-10 du code de l'environnement. Elle étend la responsabilité des fabricants ou metteurs sur le marché à la gestion de leurs produits en fin de vie. Des filières de collecte et traitement de déchets ont été mises en place par les fabricants notamment, en ce qui concerne les déchets du BTP (conception ou fonctionnement) pour les pneus, les piles et accumulateurs, les DEEE, le PVC (tubes et raccords, profilés de fenêtres, portes...), et les véhicules hors d'usage. Certaines filières répondent à une obligation réglementaire (comme pour les DEEE) ; tandis que d'autres sont mises en place volontairement par les fabricants.

- **Utilisation des matières premières secondaires issues des déchets des chantiers de BTP**

En 2006, Florio *et al.* notaient que l'absence d'une réglementation technique propre aux matières premières secondaires (MPS) a entraîné le recours aux normes pour les produits similaires de première vie, pas toujours adaptée et souvent plus contraignante. Cette absence de référence était l'argument le plus utilisé par les donneurs d'ordres réticents pour ne pas avoir recours aux MPS, même lorsque l'entreprise s'engage sur une obligation de résultats.

À noter la circulaire n° 2001-39 du 18 juin 2001 relative à la gestion des déchets du réseau routier national avec notamment la question abordée de la valorisation en technique routière : cette circulaire précise les dispositions techniques pour la réutilisation des agrégats dans la fabrication des enrobés.

Aux normes existantes dans le domaine des BTP telles que par exemple la norme NF EN 13242 d'août 2003 sur les granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées vont s'ajouter des guides techniques tel que le guide méthodologique SETRA « Acceptabilité des matériaux alternatifs en techniques routières – Évaluation environnementale » en cours de finalisation. Des spécifications environnementales

sont également en cours d'élaboration et seront publiées sous la forme d'un guide d'application spécifique, déclinaison du guide SETRA à venir.

Déchets particuliers du BTP

Une réglementation spécifique existe pour :

- les déchets d'amiante avec notamment : la circulaire du 22 février 2005 relative à l'élimination des déchets d'amiante liés à des matériaux inertes et le bordereau de suivi des déchets dangereux contenant de l'amiante (BSDA) ;
- les déchets du réseau routier national avec la circulaire n° 2001-39 du 18 juin 2001, prolongement de la circulaire du 15 février 2000, qui traite des déchets du réseau routier national, dans le cadre des plans départementaux de gestion des déchets du BTP. Des programmes prévisionnels de traitement, de recyclage et d'élimination des déchets routiers du réseau national, s'inscrivant dans les plans de gestion départementaux des déchets du BTP doivent être établis pour répondre aux objectifs suivants : réduire la production de déchets ainsi que le volume des mises en dépôt, recycler ou valoriser les déchets subsistant, réduire la consommation de matériaux nobles « non renouvelables » au profit de matériaux locaux de recyclage. Les déchets visés par la circulaire sont tous les déchets du réseau routier national et à savoir : déblais, végétation, béton, emballages, huiles, goudron, fraisât d'enrobés, asphalte... Cette circulaire n° 2001-39 du 18/06/01 relative à la gestion des déchets du réseau routier national précise les dispositions techniques pour la réutilisation des agrégats dans la fabrication des enrobés⁷⁴ ;
- les déchets du plâtre : ce ne sont pas des déchets inertes. Ils peuvent être valorisés ou éliminés dans des casiers spécifiques d'installations de stockage de déchets non dangereux.

7.3. LEVIER GRENELLE

La loi de programmation dite « Grenelle 1 » du 3 août 2009 précise (Article 46) que :

« L'État mettra en œuvre un dispositif complet associant : [...] un cadre réglementaire, économique et organisationnel permettant d'améliorer la gestion de certains flux de déchets, notamment par le développement de collectes sélectives et de filières appropriées : [...] les déchets du secteur du bâtiment et des travaux publics [...] »

⁷⁴ Extrait de la circulaire n° 2001-39 du 18/06/01 : « il n'existe aucun inconvénient technique à réutiliser, dans la limite de 10 %, des agrégats d'enrobés hydrocarbonés (fraisât) dans la fabrication des enrobés pour couches de fondation et pour couches de base, constituant le corps de chaussée, ainsi que dans la fabrication des enrobés pour couche de liaison moyennant une élaboration convenable (concassage, criblage). Dans ces trois cas de figure, il n'est pas nécessaire d'effectuer des études préalables de caractérisation des agrégats. Les formulations correspondant à ce taux de réutilisation des fraisâts sont donc systématiquement admises. L'utilisation de fraisât dans ces couches à des taux supérieurs est possible mais nécessite obligatoirement la réalisation d'études préalables de caractérisation des agrégats et de formulation du mélange ».

Pour adapter ces orientations aux spécificités des territoires, le rôle de la planification sera renforcé notamment par [...] :

- l'obligation de mettre en place des plans de gestion des déchets issus des chantiers des bâtiments et travaux publics et d'effectuer un diagnostic préalable aux chantiers de démolition ;
- un soutien aux collectivités territoriales pour l'élaboration des plans locaux de prévention de la production de déchets afin d'en favoriser la généralisation ;
- la révision des plans élaborés par les collectivités territoriales afin d'intégrer les objectifs du présent article et de définir les actions nécessaires pour les atteindre.

La loi dite « Grenelle 2 », portant engagement national pour l'environnement, a été adoptée définitivement le 29 juin 2010, promulguée le 12 juillet 2010 et publiée au Journal officiel le 13 juillet 2010 (Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010). Elle vise à déployer une boîte à outils conforme aux engagements du Grenelle et vient compléter ainsi la première loi Grenelle et la loi de finances 2009. Les engagements de la loi dite Grenelle 2 sont décryptés dans le document suivant : Commissariat général au développement durable, Loi Grenelle 2, 29 Juillet 2010.

L'ADEME dans son rapport « Regard sur le Grenelle 2 » (ADEME, 2009) apporte un éclairage sur les mesures de cette loi dédiées aux déchets du BTP :

En rendant obligatoires des diagnostics préalables aux opérations de démolition, la loi Grenelle 2 permettra d'impliquer les maîtres d'ouvrage et les incitera à déterminer les filières optimales pour les différentes catégories de déchets engendrés par les chantiers. De plus, selon Jayr E. et Rubaud M. (2005), cet audit va améliorer la connaissance des flux de déchets générés par un ouvrage et contribuer, opération par opération, à leur meilleure gestion.

Par ailleurs, en rendant obligatoires les plans de gestion des déchets issus de chantiers du BTP, celle-ci contribuera :

- au développement de la valorisation des matériaux et à l'économie de ressources naturelles ;
- à la baisse significative du recours à la mise en décharge et des transports induits, avec des bénéfices en termes de limitation des risques de pénurie d'exutoires pour les déchets en général, dans les régions confrontées à cette problématique ;
- au développement d'emplois sur le territoire national liés à la déconstruction sélective et au développement du recyclage.

Ces plans permettront de développer la bonne gestion de ces déchets et notamment d'accroître leur recyclage et leur valorisation, en identifiant les besoins d'exutoires et en définissant et incitant à l'organisation d'un réseau cohérent sur le territoire de collecte, de tri, de regroupement et de valorisation de ces déchets. Institutionnaliser ces plans au travers de la loi permettra de les généraliser, de renforcer leur rôle (opposabilité aux tiers notamment) et d'augmenter les moyens affectés à leur réalisation et leur suivi.

À noter également les deux objectifs suivants fixés par la loi Grenelle 2 :

- diminuer de 15 % les quantités de déchets destinées à l'enfouissement ou à l'incinération et réduire la production d'ordures ménagères de 7 % sur 5 ans ;
- limiter le traitement des installations de stockage et d'incinération à 60 % des déchets produits sur le territoire, afin de favoriser la prévention, le recyclage et la valorisation.

Il conviendra de veiller aux conditions qui seront précisées pour l'application de ces contraintes, notamment en termes de définition précise du gisement concerné.

7.4. PLAN D' ACTIONS DÉCHETS 2009-2012 DU GOUVERNEMENT

Le plan d'actions déchets 2009-2012 du gouvernement⁷⁵ donne un nouvel élan à la politique de gestion des déchets. Ce plan s'intéresse notamment aux déchets du BTP avec l'axe 5 « Mieux gérer les déchets du BTP » et reprend les réflexions menées lors du Grenelle et les évolutions réglementaires dictées par la future transposition de la directive européenne du 19 novembre 2008 sur les déchets. On y retrouve :

- l'objectif fixé en terme de recyclage pour les déchets de construction et de démolition défini par la directive du 19 novembre 2008) ;
- l'obligation d'un diagnostic préalable aux travaux de déconstruction et de réhabilitation des bâtiments pour favoriser le recyclage des déchets ;
- et la réforme des plans de gestion de déchets du BTP, rendus désormais obligatoires pour permettre une meilleure mise en réseau des sites de tri et de recyclage.

Les mesures mises en œuvre pour améliorer la gestion des déchets du BTP seront suivies par un groupe de travail spécifique du Conseil national des déchets.

L'annonce de la mise en place dès 2010 d'un instrument économique spécifique au secteur du BTP - couplant une fiscalité sur les matières première d'une part, et sur les centres de stockage d'autre part, avec un système d'aides aux bonnes pratiques de recyclage - encouragera la prévention de la production de déchets et leur recyclage en amont (promotion de produits recyclés) et en aval (déconstruction sélective, orientation vers les filières adaptées, déchèteries adaptées pour les artisans du secteur du BTP).

7.5. ÉVOLUTIONS EUROPÉENNES À VENIR

Directive 2008/98/CE du 19 novembre 2008 relative aux déchets

La directive 2008/98/CE du 19 novembre 2008 relative aux déchets doit être transposée dans les états membres pour décembre 2010. Sa transposition, dans les mois à venir, portera sur des enjeux déterminants : révision et clarification des

⁷⁵ MEEDDM (2009) - Chantal JOUANNO présente le Plan d'actions déchets et installe le conseil national des déchets, dossier de presse, 9 septembre 2009.

définitions de référence, renforcement de la planification, définition des conditions de sortie du statut de déchet.

Processus d'harmonisation européenne dans le secteur de la construction

Le processus d'harmonisation européenne dans le secteur de la construction est expliqué dans le document « Plan Europe, Impacts de l'harmonisation européenne sur la construction - Guide d'information 2009 daté d'octobre 2009 ». Ce processus a porté jusqu'à présent sur les normes (corpus normatif) des produits de construction et sur certaines règles de conception notamment de calcul des structures porteuses.

La Directive européenne 89/106/CEE, couramment appelée DPC (Directive Produits de Construction), définit le dispositif d'harmonisation applicable aux produits de construction conduisant au marquage CE (transposition nationale de cette directive dans le décret n° 92-647 du 8 juillet 1992 amendé concernant l'aptitude à l'usage des produits de construction). La DPC concerne les produits de construction, impose l'apposition du marquage CE sur ces produits, et en particulier sur les matériaux recyclés et les déchets industriels destinés à une utilisation en tant que granulats. Selon la FNTP, cette obligation garantit la conformité technique des matières premières secondaires et sécurise leur utilisation auprès des donneurs d'ordre.

La Commission Européenne a initié un processus de remplacement de la directive sur les produits de construction (89/106/CEE) par un nouveau règlement afin d'éliminer les obstacles à la libre circulation des produits. Ce texte proposé par la commission en mai 2008 (Commission des Communautés Européennes, 2008) est en cours de discussion au sein du Conseil et au Parlement Européen. Ce texte en l'état introduit la notion d'utilisation durable des ressources naturelle (Annexe I - paragraphe n° 7) :

« Les ouvrages doivent être conçus, construits et démolis de manière à assurer une utilisation durable des ressources naturelles et à permettre :

- a) la recyclabilité des ouvrages de construction, de leurs matériaux et de leurs éléments après démolition,*
- b) la durabilité des ouvrages de construction,*
- c) l'utilisation, dans les ouvrages de construction, de matières premières et secondaires compatibles avec l'environnement. »*

À noter que le site « dpcnet.org » a pour objectif de fournir à l'ensemble des acteurs concernés, les éléments d'information nécessaires à la mise en application du marquage CE lié à la Directive 89/106/CEE, relative aux Produits de Construction et à la compréhension des divers mécanismes ou procédures qui la gouvernent.

Le plan Europe est un programme financé en France par un prélèvement sur les excédents du fonds de compensation de l'assurance construction, afin :

- d'adapter le corpus normatif de la construction et de veiller à sa cohérence avec les exigences européennes (mise en conformité des DTU, fascicules CCTG, annexes nationales aux eurocodes, etc.) ;
- de rendre accessible aux maîtres d'ouvrage, aux maîtres d'oeuvre, aux contrôleurs techniques et aux entreprises de construction, les informations techniques, normatives et réglementaires ;
- de renforcer et d'équilibrer la participation française à la normalisation européenne.

Le Grenelle de l'Environnement a pris le relais des démarches initiées avec les engagements du Grenelle portant sur la mise en œuvre de l'étiquetage environnemental et sanitaire obligatoire pour les produits de construction. Les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)⁷⁶ (ou Profil Environnemental Produit pour les équipements électriques) sont basés sur des analyses de cycle de vie (ACV) et font l'objet d'un programme de vérification par l'AFNOR dans le cadre de la norme NF P01 010.

⁷⁶ Voir le site d'INIES, la base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des produits de construction : www.inies.fr

8. Des enjeux sociétaux essentiels

8.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Comme il a été souligné dans la partie 1, le paradigme dominant s'essouffle, tant au niveau de notre capacité d'appréhension des phénomènes que de notre capacité à agir. Il faut en effet envisager la question du développement, et notamment du développement local ou territorial, sous un angle plus large, plus global, que le seul angle du fonctionnalisme, d'une mécanique à finalité uniquement économique (la question économique étant réduite à celle de la croissance des flux et des activités).

Au fil de ces dernières décennies (depuis les années 70), si les politiques territoriales ont été marquées par un processus de décentralisation intégré dans le code de l'urbanisme (reconnaissance des collectivités territoriales et outils de planification, POS, PLU), et donnant une nouvelle place à la participation des administrés, la vision fonctionnaliste du territoire reste prépondérante (Boutaud, 2005). La montée en puissance médiatique et politique de la question écologique a conduit à la mise en œuvre de nouvelles pratiques : chartes, agenda 21, bilan sociétaux, conventions qui ont pour vocation de mobiliser les acteurs autour de ces enjeux. Ces initiatives restent malgré tout accolées aux objectifs de croissance économique, de compétitivité, et de réponse au marché global et à ses règles qui s'imposent aux politiques comme aux individus, imprimant sur les territoires leur marque : incertitude, flexibilité, polyvalence.

L'écologie industrielle et territoriale apporte à cette vision de la ville des questions et des exigences nouvelles :

- la nécessité de boucler les flux ;
- la présence essentielle de décomposeurs ;
- la question de la dépendance aux productions primaires.

Elle contribue à modifier la vision du territoire comme pôle économique, c'est-à-dire producteur de biens et de services destinés à la consommation, via un marché global pour lequel un territoire en vaut bien un autre, dans un but de réduction des coûts de production. L'écologie industrielle et territoriale aborde quant à elle le territoire comme un système en interdépendance permanente avec son écosystème naturel (Erkman, 2004). La proximité des activités, géographique, organisationnelle ou institutionnelle, est nécessaire à la maîtrise des process par les acteurs.

En outre, la question du bien être humain est aujourd'hui reconnue comme une finalité possible du développement, comme en témoigne la notoriété des nouveaux indicateurs de bien être (Indice de développement humain, indice de bien être économique, indice de santé sociale, indicateur de progrès véritable, etc.). Or, si l'humain doit être l'objet ultime à servir, il est aussi l'acteur politique qui doit opérer le changement de cap.

L'enjeu du développement durable touche à la responsabilité de chacun, expert ou non, élu ou simple citoyen. La participation des citoyens ne peut se cantonner à l'avis des participants lors de réunions organisées et cadrées *d'en haut*. La notion de responsabilité va beaucoup plus loin et implique une conscience élevée de ses propres devoirs vis-à-vis du monde qui nous entoure : environnement, parties prenantes, générations futures. Cela implique par ailleurs la possibilité d'assumer ses responsabilités par la recherche et la mise en œuvre de solutions adaptées, ce qui passe par l'accès aux informations relatives à la réalité des besoins du monde qui nous entoure, ainsi qu'une certaine autonomie d'action. « Ce n'est pas la nature privée ou publique d'un acteur qui détermine la nature de sa responsabilité mais tout simplement la nature de l'impact de son action » (Calame, 2003, p. 246). Cette autonomie doit alors pouvoir dépasser le caractère bureaucratique des institutions concernées.

Il s'agit donc d'un changement dans la façon de concevoir la gouvernance. L'enjeu que l'on tente d'approcher ici est celui même de cette prise de conscience qui va initier l'action responsable, source de créativité et de coopération. Une prise de conscience qui va permettre aux acteurs de *vivre* ce changement de paradigme pour quitter une vision individualiste et économiste passive vers une vision systémique et coopérative, de façon à devenir acteur et porteur du changement. Le capital social, en tant que source d'innovation et de créativité, repose en effet sur la capacité à créer une intelligence collective au service du bien commun, *savoir ramasser une pierre avec plusieurs doigts*. Cela implique pour les pouvoirs publics de passer d'une fonction d'autorité à une fonction de catalyse, afin de susciter les partenariats et la créativité.

Quels outils pourraient permettre un tel changement culturel et institutionnel ?

La première étape est celle du projet autour duquel unir les acteurs, les futurs partenaires. Or, les enjeux environnementaux et la question du développement durable en général sont aujourd'hui assez forts et reconnus pour pouvoir être un moteur d'innovation et d'alliance. Pour Pierre Calame, le préalable et la priorité est « *l'institution de la scène publique et des acteurs à la bonne échelle* » (Calame, 2003, p. 258).

La deuxième étape est de mettre en œuvre des moyens de communication qui permettent une véritable confrontation des points de vue d'une part, et d'expression de solutions d'autre part. Cela de sorte que chaque participant ressorte plus *complet* et plus *riche* qu'il ne l'était, doté d'une vision plus globale et complexe de la situation et d'une ouverture plus grande sur les chemins possibles.

8.2. DISPOSITIFS DE MUTUALISATION, RÉSEAUX D'ÉCHANGES ET PRATIQUES INCITATIVES EXISTANTES

Mettre en place des pratiques d'écologie industrielle implique d'aborder l'activité économique sous l'angle de la complémentarité. Pas seulement la complémentarité économique des besoins (niches), mais aussi celle des flux de matières et d'énergie, soit une complémentarité écosystémique.

Il s'agit donc de donner aux acteurs du secteur de la construction (et dans l'idéal, tous les acteurs économiques d'un territoire) les informations sur les flux existants, chaque flux non bouclé (producteur de déchets) étant alors appréhendé comme une opportunité économique en même temps qu'une nécessité écologique. L'enjeu est, à travers cette approche, de faire de la mise en œuvre du développement durable une opportunité et non seulement une contrainte, qu'elle soit créatrice et non perçue comme un frein. Ceci implique d'en intégrer tous les principes en partant d'une vision globale du métabolisme industriel et de ses limites territoriales, ainsi que de ses interactions avec l'écosystème naturel.

La modélisation systémique des acteurs permet de lire les interactions entre les différents acteurs du territoire (comprenant les groupes et les organisations), applicable à un secteur donné. Le modèle est un élément crucial de l'approche systémique car il permet d'appréhender le *tout*, le système dans sa *globalité*. D'après Michel Boqué (Bonami *et al.*, 1993), la modélisation systémique nécessite trois étapes qui se combinent de façon itérative, et non de façon linéaire :

- la délimitation du système (limites aussi bien physiques, qu'imaginaires) ;
- mettre en évidence la structure du système (éléments, type d'interactions, fonction, etc.) ;
- modélisation du système retenu.

Il y a bien sûr parfois un fort décalage entre un système officiel et sa réalité. Ici il s'agit aussi de trouver comment des groupes distincts pourraient être amenés à *faire système*, c'est-à-dire : *un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé en fonction d'un but à atteindre*⁷⁷.

Cette modélisation a pour intérêt de fournir à l'observateur une lecture pertinente, en fonction des critères qu'il aura déterminés, qui lui servira de base de travail pour un diagnostic. Il est alors possible de mettre des hypothèses sur les acteurs clés pour la conduite du changement : centres de décision, de financement, de blocage récurrent etc. une fois les hypothèses vérifiées sur le terrain, les acteurs pourront être déterminés⁷⁸. Ceci est une étape préliminaire à la réelle mise en œuvre du changement qui passe nécessairement, selon la théorie systémique de la communication, par des *pratiques*, des *conflits*, des *ajustements* entre les acteurs qui construisent ainsi, de manière intentionnelle ou non, des représentations, des règles, des valeurs, soit un *corpus culturel* commun (Donnadieu, 2003). C'est ce processus qui permet aux acteurs de *faire système*.

Différents types d'acteurs qui peuvent être intégrés à ce processus :

- entreprises du secteur du bâtiment ;
- associations d'habitants, de consommateurs, de défense de l'environnement ;

⁷⁷ Définition de L. Von Bertalanffy. Cette définition a par la suite été critiquée et complétée (Cardinal *et al.* 1997), mais elle reste la plus simple et la plus souvent reprise.

⁷⁸ Pour cette étape, la méthodologie du groupe GIROS© a été retenue.

- médias ;
- scientifiques ;
- institutions politiques ;
- instituts de formation ;
- citoyens non directement parties prenantes.

Parmi les initiatives, fondées sur des outils aidant à *faire système*, on peut distinguer différents types de démarches :

- l'élaboration d'un document (charte, bilan sociétal, agenda) ;
- la création d'une structure dédiée à la mise en réseau ;
- les outils plus « cognitivistes » et ponctuels destinés à « former » les acteurs à l'intelligence collective.

Au travers de quelques exemples, nous pouvons discuter de la pertinence de ces approches.

La Charte régionale pour le développement de la Qualité Environnementale des Bâtiments en Champagne-Ardenne

La rédaction de Charte de territoire est aujourd'hui une démarche généralisée, qui a été une prérogative législative dans les processus de décentralisation, pour affirmer l'existence des nouvelles entités (pays, communautés d'agglomérations, communautés de communes).

« Certains territoires ont vécu l'obligation des conseils de développement, de l'élaboration d'un diagnostic, puis d'une charte, puis d'un contrat comme des obligations législatives, comme une procédure à appliquer dans des temps distincts et à durée déterminée. Il y a fort à parier que, dans ces territoires, le Pays n'aura de durée que celle des volets territoriaux des contrats de plan Etat-Région ou celle des fonds structurels européens. Ce sont des pays d'opportunité, voire de techniciens ou de consultants, alléchant sur le papier glacé, bien propres et ficelés, les soufflés qui s'effondreront à l'extinction des feux. » (Dulucq, 2005).

En effet, suite à l'élaboration participative de documents, aussi ambitieux et prometteurs soient-ils, se pose la question de la pérennité de la coopération des acteurs.

En région Champagne-Ardenne, c'est le Conseil régional qui a piloté l'élaboration de la charte en 2000, associé à la création d'une structure appelée pôle HQE, en partenariat avec la FFB, et porté par de nombreux organismes publics et privés du secteur du bâtiment, au travers de réunions thématiques : « Haute Qualité Environnementale dans la Construction : Création d'un Pôle de compétences ».

Ce pôle a depuis accompagné plus de quatre-vingt projets de construction HQE.

Depuis 2007, une nouvelle structure, l'ARCAD, a été créée pour dynamiser le réseau et les échanges entre acteurs de la construction, avec notamment le développement de formations sur l'éco-construction destinées aux professionnels.

Si une dynamique a été engendrée par ce support institutionnel, elle reste limitée, pour l'instant, à l'accompagnement des initiatives volontaires, mais n'a pas créé de véritables synergies écologico-économiques, basée sur une complémentarité des activités.

Bilan sociétal du CJDES (Centre des Jeunes, des Dirigeants, des Acteurs, de l'économie sociale)

Le bilan sociétal est un outil d'auto-évaluation croisé à l'aide d'une personne extérieure touchant de neuf domaines d'investigation croisés par quinze critères d'appréciation « Inspirée sur le plan théorique par l'économie des conventions élaborée par Boltanski et Thévenot, la démarche du CJDES a permis d'aboutir à l'élaboration d'un outil d'évaluation, à la fois instrument interne de gestion et instrument externe de reddition » (Capron & Leseul, 1997) (Annexe). Initialement destiné à l'évaluation des entreprises, une recherche-action menée dans le cadre du PUCA a cherché à l'appliquer à un territoire, le pays de Brocéliande, dans le cadre de l'élaboration de la charte de territoire (Capron & Cartieaux, 2006).

À l'aide d'un questionnaire, sept organisations (publiques et privées) du territoire ont été analysées en approchant un maximum d'acteurs : salariés en interne ainsi que fournisseurs et clients.

La recherche a montré que la stratégie pouvait bien émerger de l'action et non forcément l'inverse, et des dynamiques des changements dans les méthodes de travail, ainsi que des liens entre organisations qui ont été engendrés par l'expérimentation.

On retrouve dans cette démarche l'utilisation d'un principe supérieur commun, ici l'obligation de rédiger la charte de territoire. La prise de conscience de ses propres valeurs, problématiques, perceptions, et la confrontation à celles des autres autour d'une finalité commune, générant des dilemmes et des conflits amènent à la recherche de compromis.

Les limites ou points critiques de la méthodologie résident dans le fait que le questionnaire n'est pas transposable tel quel et doit être adapté à chaque contexte. Par ailleurs, le choix d'axes de progrès ne garanti pas leur mise en œuvre, ce qui pose la question de la motivation des élus pour garantir la poursuite du processus enclenché.

Il semble, au regard de ces exemples, et de beaucoup d'autres encore, que les démarches aujourd'hui mises en œuvre au niveau d'un territoire aient besoin, pour passer à la vitesse supérieure en terme de coopération, d'outils plus puissants qui amènent les acteurs à penser l'action autrement.

8.3. LES OUTILS ET LES INDICATEURS EXISTANTS

Les outils évoqués précédemment dans les exemples, comme les chartes, les bilans sociétaux, mais également les nouvelles réglementations touchant aux entreprises : loi NRE (Nouvelles Réglementation Économique), GRI (Global Reporting Initiative), les systèmes de notation, ont un effet d'incitation auprès des acteurs privés. Ils restent malgré tout destinés aux dirigeants et n'ont pas d'effet intrinsèque sur la coopération entre acteurs.

Des outils comme la Grille RST 02, élaborée par le Ministère de l'Équipement, ont pour vocation de provoquer les échanges entre les parties prenantes d'un projet autour d'une grille d'évaluation concertée. Les séances d'évaluation sont alors un lieu de confrontation des représentations des acteurs, car les notes doivent être données ensemble. L'idée de se réunir autour d'un outil, questionnaire, grille d'évaluation, etc. construit sur la base d'un modèle (les conventions de Thévenot et Boltanski, les critères du développement durable ou autres modèles pertinents pour l'action ou le projet à mener), paraît être assez productrice en termes de création de représentation commune.

L'objectif est de générer cet effet en amont du projet, afin que celui-ci émerge de cette culture commune.

La méthode systémique PAT miroir© nous a semblé bien adaptée à cet objectif. En effet, cette méthode permet d'établir dans un délai très court :

- une vision commune élargie du projet ;
- une liste structurée des conditions concrètes de la réussite du projet ;
- une motivation forte des acteurs pour la suite des opérations.

L'enjeu étant de pouvoir réunir les acteurs pertinents (déterminés à partir de la modélisation systémique des acteurs) sur 1, 2 ou 3 jours entiers.

8.3.1. Présentation générale de la méthode PAT-Miroir©

Élaborée par des chercheurs de l'Université de Technologie de Compiègne (Cardinal *et al.*, 1997), la méthode PAT-Miroir© a pour objectif d'instaurer la confiance entre les acteurs réunis autour d'un projet commun, pour faciliter la coopération sur le long terme. Son originalité réside dans le focus sur les interactions entre acteurs et non sur les acteurs eux-mêmes. À partir d'une analyse du dilemme du prisonnier, qui est l'archétype classique des enjeux de coopération/compétition, les situations d'interaction à forts enjeux ont été ramenées à un langage accessible de la vie quotidienne :

- peur d'être trahi ;
- attraits de la coopération ;
- tentation de trahir.

Généralement, on peut énoncer trois caractéristiques fondamentales qui interviennent lors d'un changement engageant un groupe de personnes : l'incertitude générée par le changement et la complexité du projet collectif et de son environnement, ainsi que les valeurs auxquelles chacun adhère, vont générer des peurs, des attraits et des tentations, d'où le nom PAT (Peur-Attrait-Tentation).

Le logiciel utilisé se présente sous forme de tableau à double entrée où chaque case représente une interaction entre les 2 types d'acteurs (ligne et colonne) qui s'y rencontrent. Sous une forme de brainstorming, les acteurs (ou représentant des diverses catégories d'acteurs), peuvent alors dresser une liste de tous les PAT possibles entre ces deux types d'acteur.

8.3.2. Application de la méthode

La méthode comporte plusieurs phases.

• Phase 1 : Définition du système

Cette phase comprend la reformulation du projet et l'identification des agents concernés par ce projet, de près ou de loin. Ces agents sont ensuite regroupés en catégories d'agents, ou acteurs.

À partir de cette liste, il est possible de construire le tableau croisé des acteurs où chaque case correspond à une interaction.

• Phase 2 : Inventaire des peurs, attraits et tentations

Sous forme de brainstorming, tous les acteurs en présence se mettent à la place de chacun des acteurs pour énoncer une liste des PAT, qui constituent les items à analyser par la suite.

• Phase 3 : Discernement individuel de l'importance des items pour la réussite du projet et classement général

Chaque item est noté de façon anonyme. Un classement général peut être fait à partir de toutes les notes cumulées.

• Phase 4 : Construction d'une représentation commune

Les items sont classés par grands thèmes et les thèmes les mieux notés sont désignés comme thèmes incontournables.

• Phase 5 : Élaboration des propositions

Les préconisations formulées par le groupe et relatives aux thèmes incontournables peuvent porter sur les différents niveaux qui sont en jeu dans les interactions :

- le transfert d'information ;

- la conduite de l'action ;
- la création de relation ;
- la découverte et la construction d'identité.

Le but des préconisations est de renforcer les sources d'attrait, de limiter les causes des peurs et de prévenir les acteurs de céder à leurs tentations. Elles sont ensuite regroupées en axe d'actions ou en scénarios selon les problèmes traités.

8.3.3. Résultats attendus

Concrètement, quelques retours d'expériences montrent que les bénéficiaires se mesurent à :

- la richesse des échanges entre les employés mobilisés pendant 3 jours et animés par des consultants experts de la dynamique de groupe ;
- une plus grande capacité à libérer la parole sur des ressentis, inquiétudes, *a priori* ;
- une ouverture à la « représentation commune » pour chaque participant qui, au préalable, aurait été tenté de construire une représentation à partir de son propre schéma d'expérience ;
- dire de manière dépassionnée les raisons profondes d'un malaise qui durait depuis longtemps. Exprimer les griefs mutuels, les discuter et les noter dans un climat de confiance, en manifestant le désir de trouver des solutions nouvelles pour travailler ensemble, dépasser les ressentiments et bâtir un projet adapté aux habitants de l'agglomération.

8.3.4. Pour ASURET

L'intérêt de cette méthode dans le cadre du projet ASURET est d'évaluer en amont les difficultés à surmonter, ainsi que les leviers qui permettraient de mettre en œuvre de nouvelles pratiques d'écologie industrielle dans le secteur de la déconstruction.

Réunir les acteurs clés, moteurs et aussi source de blocage, afin de les accompagner dans la construction d'une problématique pour dégager des axes d'actions de façon collective.

Dans ce cadre, il est nécessaire de bien comprendre les problématiques de chaque acteur afin de leur communiquer au mieux l'intérêt d'une telle démarche. Réunir les acteurs les plus motivés ne suffit pas, l'idéal étant de joindre également les plus réticents à un tel changement.

La nécessité de réunir les acteurs durant 2 ou 3 jours consécutifs est également un grand défi et implique, outre l'aspect logistique, un minimum de disponibilité des acteurs, ce qui représente la plus grande difficulté de la méthode quand elle s'adresse à plusieurs organisations.

9. Conclusion

Cette revue de l'existant a permis de définir plus précisément les contours du projet et les enjeux qui lui sont associés, de mettre en évidence des synergies avec d'autres actions de recherche, des démarches méthodologiques et réglementaires qui sont engagées par ailleurs, de discuter des outils, méthodes et moyens mobilisables dans ce cadre, de la qualité et de l'accessibilité des données.

Elle a également permis de renforcer certaines hypothèses formulées par le consortium ASURET vis-à-vis de son plan d'action, mais également de structurer et de préciser le programme de travail des prochains mois autour des 4 tâches suivantes :

- **tâche 2** : intérêt environnemental de l'éco-conception et du recyclage dans le secteur du bâtiment ;
- **tâche 3** : analyse des performances techniques, environnementales et économiques des techniques de déconstruction et des filières de recyclage associées ;
- **tâche 4** : approche territoriale : gestion des ressources, des déchets et gouvernance ;
- **tâche 5** : méthodologie d'optimisation de la gestion des flux de matériaux pour la construction et l'aménagement au sein d'un territoire - Développement et test de l'outil d'aide à la décision (prototype) ;
- **tâche 6** : communication, dissémination et valorisation des résultats à destination des décideurs locaux et des parties prenantes ;

Cette période a également permis d'engager les prises de contact avec les acteurs et partenaires publics et privés afin :

- de leur exposer le contenu de la démarche et de recueillir leurs avis et leurs attentes ;
- de caler avec eux les modalités pratiques d'organisation afin de les associer aux différentes étapes du projet, notamment sur les aspects liés à la collecte des données et l'échange d'informations ;
- de constituer un comité d'utilisateurs qui sera consulté régulièrement par le Consortium sur l'avancement des travaux.

L'ensemble des points traités dans cette revue de l'existant sera repris, développé et précisé dans les livrables suivants du projet.

10. Bibliographie

ADEME (2010) - Bilan Carbone®- Guide méthodologique - version 6.1 – objectifs et principes de comptabilisation ; www.ademe.fr/bilan-carbone.

ADEME (2009a) - Prévenir et gérer les déchets de chantier, Méthodologie et outils pratiques opérationnels, Mai 2009.

ADEME (2009b) - Les déchets en chiffres en France, DONNÉES ET RÉFÉRENCES, Edition 2009, n° 6625, Sept. 2009.

ADEME (2009c) - Regard sur le Grenelle 2, Projet de loi, « Engagement National pour l'Environnement », Mai 2009.

ADEME (2008) - Déchets du BTP, gisements, filières, perspectives d'évolution. Note d'information, document de travail, avril 2008, 44 p.

ADEME (2007) - Etat de l'art de la réglementation européenne sur la valorisation des déchets de bois et des cendres de bois – Synthèse. Etude ADEME, 13 novembre 2007, 32 p.

ADEME (2004) - Déconstruction sélective de 140 logements à La Grand' Combe (30), quartier "Trescol", Opération exemplaire. ADEME, Office municipal d'HLM de La Grand' Combe, FFB, septembre 2004, 4 p. (http://www.eco-et-mat.com/documents/id_229_1.pdf).

ADEME (2003) - Déconstruire les bâtiments – Un nouveau métier au service du développement durable. Collection « Connaître pour agir - Guides et cahiers techniques », 2003, 164 p. + 10 fiches.

ADEME (1998) - Guide des déchets de chantiers de bâtiment, Collection « Connaître pour agir, Guides et cahiers techniques », janvier 1998, 109 p.

ADEME, CSTB (Jayr E., Cornillier C., Buda I., Raess Ch., Jugant J.-L., Braud C., Petit A.) (2006) - Caractérisation des déchets de bois de chantiers de bâtiments, recommandations de tri, pistes de valorisation, Rapport final, 2006, 106 p.

ADEME, FFB (1999) - Déchets de chantiers de bâtiment - Quantification nationale. Publication ADEME/FFB, juin 1999, 19 p.

AFNOR (2006) - Management environnemental : Analyse du cycle de vie ; Principes et cadre. NF EN ISO 14040 ; 33 p.

AFNOR (2006) - Management environnemental : Analyse du cycle de vie ; Exigences et lignes directrices ; NF EN ISO 14044 ; 59 p.

AFNOR (2004) - Bâtiment. Qualité environnementale des produits de construction, Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction NF P01-010. Paris, 2004. 47 p.

AGEDEN. Référentiels réglementaires et Labels. Disponibles sur : http://www.ageden.org/site_ageden/documentation/performance_energetique/referentiels_reglementaires.pdf (consulté en juin 2010).

AKASH R., Kumar N.J., Sudhir M. (2007) - Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. Resources, Conservation and Recycling, 2007, n° 50, p. 71-81.

Avignon. Site de la ville d'Avignon. Le pont Saint-Bénézet. Disponible sur : <http://www.avignon.fr/fr/culture/musees/pont.php#> (consulté en juillet 2010).

Balet J.-M. (2008) - Gestion des déchets – Aide-mémoire. Editions Dunod, 248 p.

Barles S. (2007) - Mesurer la performance écologique des villes et des territoires : Le métabolisme de Paris et de l'Île-de-France, Rapport de recherche final pour le compte de la ville de Paris, Janvier 2007.

Barles S. (2007) - A material flow analysis of Paris and its region, Renewables in a Changing Climate-Innovation in the Built Environment, Proceedings of the International Conference CISBAT 2007, Lausanne, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 4-5 September 2007, p. 579-584.

Bénazet J. (1997) - Techniques des démolitions à l'explosif. Techniques de l'Ingénieur - C5425, 1997, 25 p.

Bio Intelligence service (2010) - Service contract on management of construction and demolition waste - SR1, A project under the Framework contract ENV.G.4/FRA/2008/0112, European Commission (DG ENV), Draft Final Report, Task 2, May 2010.

Bluteau D. - Vers une déconstruction sélective – Ou comment préserver les ressources. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier (ENSAM), article 16 p. (http://ensam.wiki.free.fr/essais/0809S9EN/06_deconstruction.pdf).

Boltanski L. & Thevenot L. (1991) - De la justification : les économies de la grandeur, Gallimard.

Bonami, M. et al. (1993) - Management des systèmes complexes. Pensée systémique et intervention dans les organisations, Bruxelles: De Boeck Université.

Bonard A. (2009) - Démarche d'écologie territoriale de Lille, Une approche innovante au service du développement durable d'un territoire, Colloque ARPEGE/ECOINNOV, 7 janvier 2009.

Boutaud A. (2005) - Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ? Saint-Etienne : École nationale supérieure des mines. Université de Saint-Étienne Jean Monnet.

BUILDING MATERIAL DECREE (Soil and Surface Waters Protection) (1995) - Bulletin of Acts, Orders and Decrees of the Kingdom of the Netherlands (Staatsblad), No 567, 30 Novembre 1995 (en hollandais).

Brunner P. (2002) - Beyond materials flow analysis. *Journal of Industrial Ecology* 6 (1), p. 8-10.

Brunner P.H., Rechberger H. (2003) - Practical Handbook of Material Flow Analysis, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 2003, ISBN 1-5667-0604-1.

BTP Environnement (2008) - La Lettre technique de BTP Environnement, Mieux gérer les déchets de chantier du BTP, Lettre technique n° 16 de l'association BTP Environnement créée par la FFB et la FNTP, Octobre 2008.

Calame P. (2003) - La démocratie en miettes, Charles Léopold Mayer.

Capron M. & Cartieaux C. (2006) - Recherche-action: une démarche croisée comme support d'une dynamique territoriale de développement durable. Dans *Politiques territoriales et développement durable. Développement durable des territoires, entre utopie et expérimentation*. Tours: PUCA, p. 4.

Capron M. & Leseul G. (1997) - Pour un bilan sociétal des entreprises. *Revue d'Etudes Coopératives, Mutualistes et Associatives*, (266), p. 28-41.

Cardinal G.L., Guyonnet J. & Pouzoullic B. (1997) - La dynamique de la confiance - Construire la coopération dans les projets complexes, Paris: DUNOD.

CAUE Isère. Labels et référentiels réglementaires des consommations énergétiques des bâtiments. Disponible sur <http://www.caue-isere.org/upload/Labels8.pdf> 2.pdf (consulté en juin 2010)

CCI Le Havre. Le Pont de Normandie. Disponible sur : <http://www.pontsnormandie.tancarville.fr> (consulté en juillet 2010).

Cencic O., Rechberger H. (2008) - Material Flow Analysis with software Stan, *J. Environ. Eng. Manage.*, 18(1), p. 3-7 (2008).

Chevalier J. (2008) - Énergie grise : proposition d'une définition harmonisée pour les produits de construction. CSTB, CTIB n° 53. 2008.

CNDB - Comité national pour le développement du bois. Le bois et ses usages en construction et aménagement. Disponible sur : <http://www.bois.com/particuliers/construire/techniques-construction/systemes-constructifs> (consulté en juin 2010).

CNIDEP - Prescrivez le tri des déchets de chantier sur vos opérations.

COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2009) - Matières mobilisées par l'économie française, Comptes de flux pour une gestion durable des ressources, Service de l'observation et des statistiques, n° 6, Juin 2009.

COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2009) - Rapport annuel au Parlement sur la mise en œuvre des engagements du Grenelle Environnement, Commissariat Général au Développement, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM), Rapport 10 octobre 2009.

COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2010) - Les ressources et les déchets, L'environnement en France, Service de l'observation et des statistiques, juin 2010.

COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2010) - Recyclage et réemploi, une économie de ressources naturelles, observation et statistiques, n° 42, mars 2010.

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES (2008) - Proposition de règlement du Parlement Européen et du Conseil établissant des conditions harmonisées de commercialisation pour les produits de construction, présentée par la Commission, Mai 2008.

COWAM (2006) - Construction and demolition waste management in Germany, Etude pour l'Union Européenne – Asia Pro Eco, 27 octobre 2006, 82 p. (http://www.cowam-project.org/cms/Content/download/Germany_CD_Waste.pdf).

Daxbeck H., Buschmann H., Neumayer S., Brandt B. (2009) - « Methodology for mapping of physical stocks », Forwast deliverable 2.3, <http://forwast.brgm.fr>.

DG ENV (2010) - Service contract on management of construction and demolition waste – SR1, Draft Final Report Task 2, Report from Bio Intelligence Service to European Commission (DG ENV) in association with Arcadis and IEEP, mai 2010, 229 p. (<http://www.eu-smr.eu/cdw/documents.php>).

DGXI (1999) - Construction and demolition waste management practices, and their economic impacts; Report to DGXI, European commission, Rapport final, février 1999, 76 p.

Donnadieu G. (2003) - La communication inter-humaine. Available at: <http://www.afscet.asso.fr/dgcommtu.doc>.

Dulucq O. (2005) - Les chartes qui bouleversent les territoires, Le génie des acteurs & des lieux. Territoires - la revue de la démocratie locale, (455).

Emery S.B., Smith D.N., Gaterell M.R., Sammons G., Moon D. (2007) - Estimation of the recycled content of an existing construction project, Resources, Conservation and Recycling 52 (2007), p. 395-409.

E.E.A. (Brodersen J., Juul J., Jacobsen H.) (2002) - Review of selected waste streams : sewage sludge, construction and demolition waste, waste oils, waste from coal-fired powers plants and biodegradable municipal waste, European Environment Agency, Rapport technique, janvier 2002, 48 p.

ENVIRONNEMENT MAGAZINE (2010) - n° 1668 (Juin 2010) – Dossier Déchets du bâtiment.

Erkman S. (2004) - Vers une écologie industrielle, Charles Léopold Meyer.

ETC/RWM (European Topic Center on Resource and Waste Management) (2009) - EU as a recycling society – Present recycling levels of municipal waste and C&D waste in the EU, 2009.

EUROSTAT - Statistiques EUROSTAT consultées entre février et avril 2010.

FFB et ADEME (2007) - Mieux gérer les déchets de chantiers de bâtiment, Le tri des déchets : un acte majeur pour la maîtrise des coûts d'élimination, FFB - Juillet 2007.

Florio F., Terrible C., Vincent V. (2006) - Déchets du Bâtiment et des Travaux Publics, Techniques de l'Ingénieur, C 5 600, Août 2006.

FNB, ADEME (1997) - Guide de conception et de mise en place des plates-formes de regroupement, de tri et de prétraitement des déchets de chantier. 1997.

FNTP (2001) - Sous-produits et excédents de chantiers, propositions et solutions, novembre 2001.

Forum PVC France (2010) - Le PVC dans la construction, dossier de presse, mars 2010.

Georgescu-Roegen N. (1995) - La Décroissance : Entropie – Energie – Economie. Traduction de Grinevald J. et Rens I. Paris : Editions sang de la terre, 1995, 254 p.

Glenck E., Lahner T., Jereb W., Leitner E. (2000) - Bauwesen - Abfallstrategien in der Steiermark. Baurestmassen in der Steiermark (Band 2 - BRIST). Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Wien.

Glenck E., Lauber W., Lahner T., Brunner P.H. (1996) - Güterbilanz der Bauwirtschaft. Baurestmassen in Oberösterreich. Projekt BRIO. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abteilung Abfallwirtschaft. Wien.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK (2009) - Ecological footprint standards 2009 ; 20 p. www.footprintstandards.org

Gosset J.-P. (2001) - Déchets de chantier de bâtiment et maîtrise d'ouvrage. Techniques Sciences et Méthodes, 2001, n° 7-8, p. 56-60.

Guichardaz O. (2007) - Déchets du BTP – Les bonnes pratiques s'installent. Environnement & Technique, Juillet-Août 2007, n° 268, p. 28-32.

Hascoet, R. Habitat conventionnel - Habitat traditionnel – Habitat écologique. Disponible sur : http://www.frpatb.net/imgbd/File/Environnement/Presentationhabitats_1.pdf (consulté en juin 2010).

IFEN (2007) - Le recyclage des déchets du bâtiment et des travaux publics peut progresser. Le 4 pages de l'ifen, Déchets, n° 116, février 2007.

Jayr E., Rubaud M. (2005) - Contribution à l'amélioration de la gestion des déchets de chantiers de démolition, CSTB, Rapport d'étude Convention ADEME n° 03.04.003, notification DGUHC n° Y0307.

Jourda (2007) - Rapport à Monsieur Jean Louis BORLOO sur la prise en compte du développement durable dans la construction. 2007 (en ligne). Disponible sur <http://www.montpellier.archi.fr/datas/files/rapport%20Jourda.pdf> (consulté en juin 2010).

Krapfenbauer R. (1998) - Bautabellen. Hrsg. v. Jugend & Volk GmbH. Wien.

LRMSH - Laboratoire de Recherches en Mathématique et Sciences Humaines (Université Libre de Bruxelles). Les ponts suspendus. Disponible sur : <http://www.ulb.ac.be/soco/matsch/recherche/12/ponts/ponts.htm> (consulté en juin 2010).

Marie F. (2004) - Le nouveau visage de la démolition. *Chantiers de France*, n° 371, juin 2004, p. 11-13.

Maugard, Voeltzel-Leveque, Roger (2008) - Rapport final comité opérationnel n°1 « bâtiments neufs publics et privés ». Grenelle de l'environnement. 2008. Disponible sur : http://www.legrenelle-environnement.gouv.fr/grenelle-environnement/IMG/pdf/rapport_final_comop_1.pdf (consulté en juin 2010).

Melquiot P. (2003) - 1001 mots et abréviations de l'environnement et du développement durable. Editions Recyconsult, 2003, 192 p.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER (2009) - Chantal JOUANNO présente le Plan d'actions déchets et installe le conseil national des déchets, dossier de presse, 9 septembre 2009.

OSE - Observation et Statistique de l'Environnement (ex IFEN - Institut Français de l'Environnement). Les déchets du bâtiment et des travaux publics (BTP). Disponible sur <http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/donnees-essentiels/activites-humaines/construction-et-batiments.html> (consulté en juillet 2010).

Paris – Le site de la ville de Paris. Ponts et berges. Disponible sur www.paris.fr (consulté en juillet 2010).

Pelletier, Jacq, Orphelin (2008) - Partie 1 Rapport comite opérationnel « rénovation des bâtiments existants » Grenelle de l'environnement. 2008. Disponible sur : http://www.legrenelle-environnement.gouv.fr/grenelle-environnement/IMG/pdf/rapport_final_comop_3.pdf (consulté en juin 2010).

Pladerer Ch. (2006) - Initiatives for a sustainable plastic C&D waste management in Europe – The case of Austria. Institut autrichien d'écologie appliquée, colloque européen de Bruxelles, 24 avril 2006, 32 diapos. (http://www.appricod.org/spip/IMG/pdf/AUSTRIA_PLADERER_C_APPRICOD.pdf).

Plan Europe (2009) - Impacts de l'harmonisation européenne sur la construction, Guide d'information 2009, Octobre 2009.

Pont du Gard – Le site du Pont du Gard. Disponible sur <http://www.pontdugard.fr/> (consulté en juillet 2010).

PNIR (2006) - Plan nacional integrado de residuos, 2007-2015. Ministère de l'environnement espagnol, 2006, 781 p. (<http://www.icog.es/files/PNIR3.pdf>).

Ravel P. (2008) - Étude d'optimisation de l'isolation thermique pour l'éco-conception des bâtiments. Rapport de stage Mastère Spécialisé Management de l'Environnement - Insa Lyon, 2008, 66 p.

Reisinger H. (2009) - Waste management planning Austria. Diaporama, Agence environnementale autrichienne, exposé de Stockholm, 9 décembre 2009, 48 diapos. Disponible sur : (http://www.naturvardsverket.se/upload/06_produkter_och_avfall/avfall/mal%20strategier%20och%20resultat/avfallsradet/2009/091209_bil_2.pdf).

REY-LEFEBVRE I. (2008) - Bâtiment : Trop rare déconstruction sélective. Le Monde, 9 octobre 2008.

RFF – Réseau Ferré de France. Le renouvellement des voies : des travaux stratégiques. Disponible sur : <http://www.rff.fr/IMG/Dossier-presse-modernisation-Lorraine.pdf> (consulté en juillet 2010).

Ritthoff M. et al. (2002) - Calculating MIPS ; Resource productivity of products and services – Wuppertal Institut for Climate, Environment and Energy at the Science Centre North Rhine-Westphalia ; 52 p.

Roussat N. (2007) - Optimisation de stratégies de gestion du contenu « matières premières et énergie » de déchets produits et utilisés sur un territoire urbanisé – Application aux déchets de démolition du Grand Lyon, thèse INSA de Lyon, 23 octobre 2007, 283 p.

Sayagh S. (2007) - Approche multicritère de l'utilisation de matériaux alternatifs dans les chaussées, thèse ENPC, 12 décembre 2007, 220 p.

Serfass J.-F. (2008) - Recyclage en centrale des matériaux de chaussée, Editions Techniques de l'Ingénieurs, C 5 620, 10 août 2008.

SESSI (2007) - Matériaux de construction.

SETRA - Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes. Guide technique Construction des chaussées neuves sur le réseau routier national, 2003. Disponible sur: http://cataloguesetra.documentation.equipement.gouv.fr/documents/Catalogue_setra/0003/Dtrf-0003195/DT3195.pdf (consulté en juillet 2010)

SETRA - Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (2010) - Guide méthodologique - Acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières - Évaluation environnementale. 2010, 43 p.

Sheridan S.K., Townsend T.G., Price J.L., Connell J.T. (2000) - Policy options for hazardous-building-component removal before demolition. Practice periodical of hazardous, toxic and radioactive waste management, juillet 2000, vol. 4, n° 3, p. 111-117.

Sindt V., Ruch M., Schultmann F., Rentz O. (1997) - Analyse des facteurs qui conditionnent la teneur en polluants des matériaux recyclés issus des déchets de démolition. TSM, septembre 1997, n° 9, p.91-98.

SNBPE – Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi, CIM Béton et le Syndicat National du Pompage du Béton. La route et le développement durable. Disponible sur : http://www.cd2e.com/CD2EStatic/contenu/ecotechno/tp/cimbeton_jabdo12.pdf (consulté en juillet 2010).

Stark W., Vogel-Lahner T., Fruhwirth W. (2003) - Bauwerk Österreich. Management von Baurestmassen nach den Gesichtspunkten der optimalen Ressourcennutzung und des langfristigen Umweltschutzes anhand der Güter- und Stoffbilanz des "Bauwerks Österreich". Endbericht. Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH (GUA). Wien.

Tanikawa H. (2005) - Regional Material Flow Analysis of Construction Sector, Geography Seminar, SED, University of Manchester, 4th May 2005

UNICEM (2008a) - Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction, enquête de branche, 2008.

UEPG (Union Européenne des Producteurs de Granulats) (2006) - Recycling study, presentation 22 p. octobre 2006. <http://www.uepg.eu/uploads/documents>.

UNICEM (2008b) - Matériaux de construction - la France bientôt en manque, Communiqué de presse du 16 mai 2008.

UNPG (2009) - Développer le recyclage des granulats pour construire durablement, (Mai 2009).

USIRF (2003) - Enquête USIRF 2003 : vers le zéro déchet, enquête déchets d'enrobés produits par les chantiers et les centrales Techno – Science. Transport – Rails. Disponible sur : <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=14903> (consulté en juillet 2010).

Viaduc de Millau. Chiffres Clés. Disponible sur <http://www.leviaducdemillau.com/divers/construction-chiffres-cles.html>.

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) (2009) - The cement sustainability initiative – Recycling concrete, juin 2009.

Annexe 1

Gisement des déchets du BTP – Enquêtes

Gisement de déchets de chantiers du bâtiment au niveau national (Enquête FFB-ADEME de 1999)

Source : FLORIO F., TERRIBLE C., VINCENT V. (2006) *Déchets du Bâtiment et des Travaux publics*, FNTF Techniques de l'ingénieur, Aout 2006 et le document FFB et ADEME de 2007

Matériaux/produits	Quantités (t) (Tout chantier)
Base de ciment, mortier et béton	3 409 565
Sous total	3 409 565
Béton armé	3 874 072
Sous total	3 874 072
Céramique, argile et terre cuite	10 889
Céramique	1 002 324
Argile et terre cuite	437 323
Sous total	1 450 536
Bois non traité	174 752
Bois traité ou reconstitué	1 382 861
Sous total	1 557 613
Métaux ferreux	409 996
Métaux non ferreux (légers)	70 810
Métaux non ferreux (lourds)	29
Sous total	480 835
Produits à base de ciment + enduit isolant armé	5 200
Produits à base de ciment + laine de roche	6 920
Produits à base de ciment + polystyrène	1 984 310
Plaque + ossature + fixation + isolation	162 620
Produit inerte mélangé avec de l'isolant	1 634 082
Fibres organiques naturelles	218
Fibres organiques synthétiques	229 443
Fibres minérales naturelles	119 716
Laines minérales artificielles	9 527
Sous total	4 152 036
Base de plâtre et enduit	122 851
Plaque de plâtre	958
Cloison alvéolaire	19 804
Plaque PPC	5 177
Produits non inertes mélangés avec du plâtre	3 545 583
Produits inertes mélangés avec du plâtre	134 584
Produits à base de ciment + plâtre + isolant	14 557
Sous total	3 843 514
Produits inertes mélangés	4 961 998
Brique + Ciment	919 310
Pierre + Ciment	5 575 340
Sous total	11 456 648
Autres	454 267
TOTAL	30 679 086

Gisement de déchets des travaux publics au niveau national (Enquête FNTP - ADEME - Ministère de l'écologie et du développement durable 2001-2002)

Source : FLORIO F., TERRIBLE C., VINCENT V. (2006) Déchets du Bâtiment et des Travaux publics, FNTP Techniques de l'ingénieur, Aout 2006 et le document FFB et ADEME de 2007

Nature	Quantités (t)
Déblais de terres propres, pierres	260 500 000
Enrobés	6 000 000
Béton	4 890 000
Démolition de chaussées et trottoir	2 480 000
Sols fins humides, boues de dragage	1 440 000
Démolition ancien ouvrage	473 000
Déchets verts, souches	397 000
Terrassement ancienne décharge	384 000
Bois traités	370 000
Pavés	313 000
Tuyaux	208 000
Sols pollués	183 000
Métaux	56 000
Plastiques	26 000
Autres	186 000
Toute nature	277 906 000

Trois catégories de déchets de chantier et leur type d'élimination

Source : FFB ADEME (2007) *Mieux gérer les déchets de chantiers de bâtiment, Le tri des déchets : un acte majeur pour la maîtrise des coûts d'élimination, FFB - Juillet 2007*

Les déchets inertes (DI)

Déchets de matériaux de construction	TYPE D'ÉLIMINATION
Béton, briques, tuiles et céramiques (et bétons revêtus de colles amiantées)	Décharge de classe 3 ou recyclage
Mélanges de béton, briques, tuiles et céramiques (ne contenant pas de substances dangereuses)	
Verre (ne contenant pas de substances dangereuses)	
Mélanges bitumineux ne contenant pas de goudrons	
Terres et cailloux, boues de dragage et ballast de voie (ne contenant pas de substances dangereuses)	
Matériaux minéraux d'isolation : laine de verre, de roche et de laitier, verre expansé	Décharge de classe 3 ou recyclage
Déchets de construction et de démolition en mélange ne contenant pas de substances dangereuses et ne contenant que des déchets minéraux	

Les déchets non dangereux et non inertes (ou Déchets Industriels Banals - DIB)

Déchets de matériaux de construction	TYPE D'ÉLIMINATION
Bois (non traités)	Décharge de classe 2 ou valorisation énergétique
Matières plastiques (ne contenant pas de substances dangereuses) : menuiseries, revêtements de sol et canalisations PVC, emballages non souillés	Décharge de classe 2 ou recyclage
Métaux (y compris leurs alliages) : cuivre, bronze, laiton, aluminium, plomb, zinc, fer, acier, étain, métaux en mélange et câbles ne contenant pas de substances dangereuses	
Matériaux non minéraux d'isolation ne contenant ni amiante ni substances dangereuses : polystyrène expansé, polyuréthane	
Complexe d'isolation (à base de laine minérale, panneaux isolants en verre cellulaire)...	
Déchets de construction et de démolition en mélange avec des déchets non minéraux, ne contenant pas de substances dangereuses	Décharge de classe 2 ou recyclage, après tri
Produits de revêtement (peintures, vernis)	Décharge de classe 2, après séchage ou incinération
Déchets de peintures et vernis ne contenant ni solvants organiques, ni substances dangereuses	
Boues provenant de peintures ou vernis ne contenant ni solvants organiques, ni substances dangereuses	
Déchets provenant du décapage de peintures ou vernis ne contenant ni solvants organiques, ni substances dangereuses	
Suspensions aqueuses contenant de la peinture ou du vernis, ne contenant ni solvants organiques, ni substances dangereuses	
Déchets de produits de revêtement en poudre	
Déchets de colles et mastics ne contenant ni solvants organiques, ni substances dangereuses	
Boues de colles et mastics ne contenant ni solvants organiques, ni substances dangereuses	
Déchets liquides aqueux contenant des colles ou mastics sans solvants organiques et sans substances dangereuses	Recyclage ou incinération avec récupération d'énergie (décharge interdite)
Emballages, absorbants, chiffons d'essuyage, matériaux filtrants	
Emballages en papier/carton, en matières plastiques, en bois, métalliques, composites, en verre, textiles et emballages en mélange (ne contenant pas de substances dangereuses)	
Absorbants, matériaux filtrants, chiffons d'essuyage et vêtements de protection non contaminés par des substances dangereuses	Décharge de classe 2 ou incinération
Piles et accumulateurs	Recyclage ou incinération
Piles alcalines sans mercure et piles et accumulateurs sans plomb, sans nickel, sans cadmium	
Matériaux de construction à base de gypse	Recyclage ou enfouissement en alvéole spécifique
Carreaux de plâtre, plaques de plâtre, enduit plâtre	

Les déchets dangereux (DD) (Décret n° 2002-540 du 18 avril 2002)

	TYPE D'ÉLIMINATION
Déchets de matériaux de construction	
Mélanges de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuses Verres contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances	Décharge de classe I ou recyclage, après décontamination
Bois contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances : traités à la créosote ou aux CCA (Cuivre - Chrome - Arsenic) ou revêtus de peinture au plomb	Incinération (incinérateurs pour DD)
Mélanges bitumineux contenant du goudron Goudrons et produits goudronnés	Décharge de classe I
Déchets métalliques contaminés par des substances dangereuses Câbles contenant des hydrocarbures, du goudron ou d'autres substances dangereuses Terres, cailloux, boues de dragage, ballast de voie contenant des substances dangereuses (<i>terres polluées</i>)	Décharge de classe I ou recyclage, après décontamination
Matériaux d'isolation contenant de l'amiante	Décharge de classe I ou vitrification
Autres matériaux d'isolation à base de ou contenant des substances dangereuses	Décharge de classe I
Matériaux de construction contenant de l'amiante	Alvéoles spécifiques de classe I, 2 ou 3
Matériaux de construction à base de gypse (<i>plâtre</i>) contaminés par des substances dangereuses Déchets de construction et de démolition contenant des polychlorobiphényles - PCB (par ex mastics, sols à base de résines, double vitrage, condensateurs contenant des PCB) ou du mercure Déchets de construction et de démolition (y compris en mélange) contenant des substances dangereuses	Décharge de classe I ou recyclage, après décontamination
Produits de revêtement (peintures, vernis)	
Déchets et boues provenant de peintures et vernis contenant des solvants organiques ou d'autres substances dangereuses Déchets provenant du décapage de peintures ou vernis contenant des solvants organiques ou autres substances dangereuses (<i>peintures au plomb</i>) - Déchets de décapants de peintures ou vernis Déchets et boues de colles et mastics contenant des solvants organiques ou d'autres substances dangereuses Déchets liquides aqueux contenant des colles ou mastics contenant des solvants organiques ou d'autres substances dangereuses Déchets d'isocyanates	Décharge de classe I, après stabilisation ou incinérateurs pour DD
Emballages, absorbants, chiffons d'essuyage, matériaux filtrants	
Emballages contenant des résidus de substances dangereuses ou contaminés par de tels résidus ou emballages métalliques contenant une matrice poreuse solide dangereuse (amiante par exemple), y compris des conteneurs à pression vides	Décharge de classe I ou incinérateurs pour DD ou recyclage, après décontamination
Absorbants, matériaux filtrants, chiffons d'essuyage et vêtements de protection contaminés par des substances dangereuses	Décharge de classe I ou incinérateurs pour DD
Déchets des produits de protection du bois	
Composés organiques non halogénés, composés organochlorés, organométalliques, inorganiques et autres produits de protection du bois contenant des substances dangereuses	Incinérateurs pour DD
Huiles et combustibles liquides usagés	
Huiles hydrauliques usagées, huiles isolantes et fluides caloporteurs usagés Huiles moteur, de boîte de vitesses et de lubrification usagées	Incinérateurs pour DD ou recyclage
Déchets provenant d'équipements électriques et électroniques	
Transformateurs et accumulateurs contenant des PCB et autres équipements mis au rebut contenant des PCB ou contaminés par de telles substances ou des chlorofluorocarbones, des HCFC ou des HFC ou de l'amiante libre ou des composants dangereux	Recyclage, après décontamination
Composants dangereux retirés des équipements mis au rebut	Décharge de classe I
Déchets d'explosifs	
Déchets d'explosifs (<i>autres que munitions et feux d'artifice</i>)	Retour fabricant
Piles et accumulateurs	
Accumulateurs au plomb, Ni-Cd, piles contenant du mercure Electrolytes de piles et accumulateurs collectés séparément	Recyclage ou incinérateurs pour DD
Déchets assimilés aux déchets municipaux	
Tubes fluorescents et autres déchets contenant du mercure	Recyclage, après décontamination ou incinérateurs pour DD

Annexe 2

Valeurs par défaut des durées de vie des produits

Table 2-1 : Durée de vie de propriétés immobilières

Immobile properties	Lifetime [years]
Lightweight construction buildings	14
Sports halls	20
Air-inflated tents	10
Cold storage halls	20
Warehouses, barracks, sheds	16
Site huts	8
Beer tent	8
Pump and transformer stations	20
Silos (concrete)	33
Silos (steel)	25
Silos (plastics)	17
Chimneys, funnels (brickwork, concrete)	33
Chimneys, funnels (metal)	10
Loading platforms	25

Table 2-2 : Durée de vie d'équipements immobiliers

Real estate facilities	Lifetime [years]
Roads, pavements, parking lots, sealed yards (hardcore)	19
Roads, pavements, parking lots, sealed yards (stone, gravel, slag)	9
Bridges (steel, concrete)	33
Bridges (wood)	15
Fencings (wood)	5
Fencings (others)	17
Exterior lightings	19
Navigation systems, gantry signs	10
Bank reinforcements	20
Irrigation systems, fountains, wells	20
Drainage systems (brickwork, concrete)	33
Drainage systems (clay, plastics)	13
Sewage treatment plants	20
Fire water ponds	20
Water reservoirs	20
Green areas, recreation areas	15
Golf courses	20

Table 2-3 : Durées de vie des bâtiments et rues

Type of building, building components		Lifetime [Years]	Source
Buildings	Buildings before 1945	200	[Glenck et al., 2000]
	Buildings 1945 - 1980	75	[Glenck et al., 2000]
	Buildings after 1945	100	[Glenck et al., 2000]
	Interior construction in general	10 - 30	[Stark et al., 2003]
	Mechanical services	15 - 30	[Stark et al., 2003]
	Carcass	up to 80	[Stark et al., 2003]
	Vicinity of the construction	20 - 50	[Stark et al., 2003]
Streets	Category country road		
	Carriageway surfacing	10 - 20	[Stark et al., 2003]
	Surface	20 - 30	[Stark et al., 2003]
	Base course	30 - 40	[Stark et al., 2003]

Table 2-4 : Durées de vie de constituants des bâtiments

Building components		Lifetime [Years]	Source
Components of concrete	Exposed concrete	> 70	[Stark et al., 2003]
	Fibre cement enclosure	40 - 50	[Stark et al., 2003]
	Underground buildings	> 70	[Stark et al., 2003]
	Road bridge	> 50	[Stark et al., 2003]
Ready mixed mortar and synthetic plasters	Outside	15 - 25	[Stark et al., 2003]
	Minerally fixed high-grade plaster	20 - 50	[Stark et al., 2003]
	Gypsification inside	50	[Stark et al., 2003]
	Plaster inside	30 - 60	[Stark et al., 2003]
	Screed	30 - 70	[Stark et al., 2003]
Surface protection agents	Coating of metal sheets	10 - 20	[Stark et al., 2003]
	Coating of window frames	10	[Stark et al., 2003]
	Building envelope	10 - 30	[Stark et al., 2003]
	Plastic dispersion on exposed wood	max. 10	[Stark et al., 2003]
Caulking Compounds	Patty joint	10 - 20	[Stark et al., 2003]
	Silicon cladding outside	max. 5	[Stark et al., 2003]
	Silicon joints wet section	1 - 3	[Stark et al., 2003]
Liner sheets and thermal insulation products	External walls towards soil	10 - 15	[Stark et al., 2003]
	Walls outside	20 - 50	[Stark et al., 2003]
	Flat roof	20 - 40	[Stark et al., 2003]
	Steep roof	40 - 60	[Stark et al., 2003]
Structural glass	Glazing	10 - 15	[Stark et al., 2003]
	Insulating glass	15 - 20	[Stark et al., 2003]
Plastic products	Fanlights and domes	10 - 20	[Stark et al., 2003]
	Plastic cover inside	10 - 30	[Stark et al., 2003]
Metals	Facade components steel and aluminium	40 - 50	[Stark et al., 2003]
	Copper sheets	30 - 60	[Stark et al., 2003]
	Galvanized iron sheet	10 - 30	[Stark et al., 2003]
	Roofing galvanized sheet	15 - 25	[Stark et al., 2003]
Wood	Curtain-walling; without maintenance	10 - 20	[Stark et al., 2003]
	Wall covering inside	max. 30	[Stark et al., 2003]
	Parquet	max. 30	[Stark et al., 2003]
	Wood wet-dry; copper beech - spruce - oak	20 - 45 - 120	[Krapfenbauer, 1998]
	Wood constant wet; copper beech - spruce - oak	10 - 60 - 700	[Krapfenbauer, 1998]
	Wood permanent dry; copper beech - spruce - oak	800 - 900 - 1800	[Krapfenbauer, 1998]
Blocks and burnt products	Party wall inside	15 - 50	[Stark et al., 2003]
	Flaggings	25 - 60	[Stark et al., 2003]



Centre scientifique et technique
Service environnement industriel et procédés innovants
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34