

CHAPITRE III. VALORISATION DES DÉCHETS DE CONSTRUCTION DEMOLITION



• Responsable de la matière :
Pr. MOUSSACEB Karim // e-mail:moussaceb_k@yahoo.fr

II.1. ANALYSE DU CYCLE DE VIE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Le **cycle de vie** d'un **ouvrage** inclut :

1. L'**extraction** des matières premières,
2. La **production** des constituants,
3. La **fabrication** des matériaux et produits qui le composent,
4. **Des matériaux**,
5. **Matériels et engins** nécessaires à sa réalisation,
6. Leurs **transport** jusqu'au chantier,
7. Sa **construction** et sa **vie** en oeuvre (exploitation, maintenance et entretien),
8. Et en fin de vie, sa **déconstruction** et la **valorisation** des matériaux.

La démarche globale de **l'Analyse du Cycle de Vie** intègre la **durée** de vie complète de **l'ouvrage** en décomposant son cycle de vie **en 5 grandes étapes** (voir schéma suivant)

**La
première
étape du
cycle de
vie d'un
ouvrage**

1/ Fabrication des
matériaux, matériels
et engins de chantier

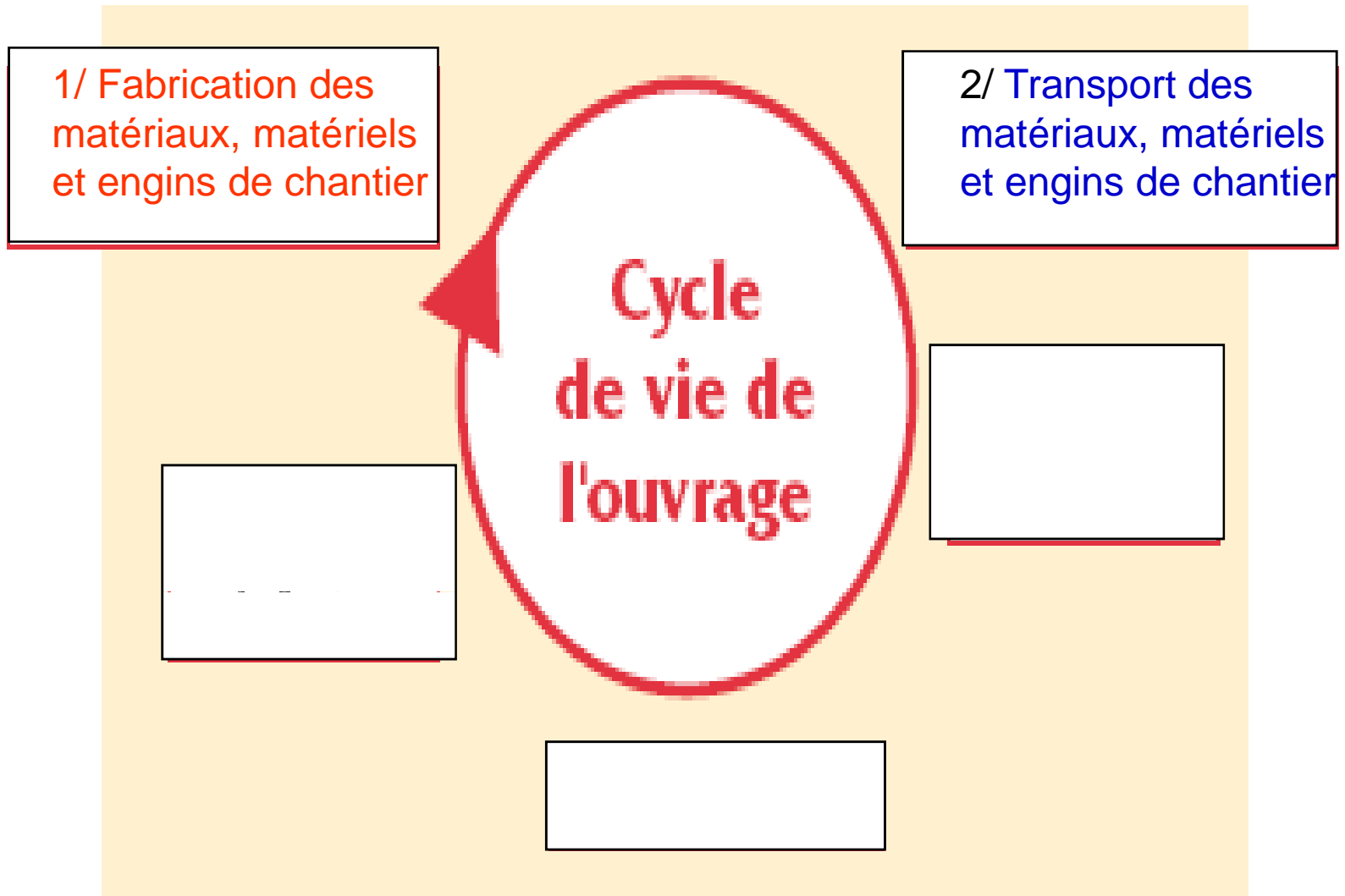
**Cycle
de vie de
l'ouvrage**

- Cette étape inclut:

L'**extraction** des matières premières nécessaires à la fabrication des matériaux tels que les granulats pour la fabrication du béton et le calcaire et l'argile pour la fabrication du ciment,

- La **fabrication** des **matériaux nécessaires** à la réalisation de l'ouvrage tels que, les coffrages et les huiles de décoffrage ou les produits de cure,
- La **fabrication** des **matériels** et **engins** de chantier utilisés pour la réalisation de l'ouvrage (sous réserve que leur durée d'utilisation sur le chantier par rapport à leur durée de vie théorique soit significative).

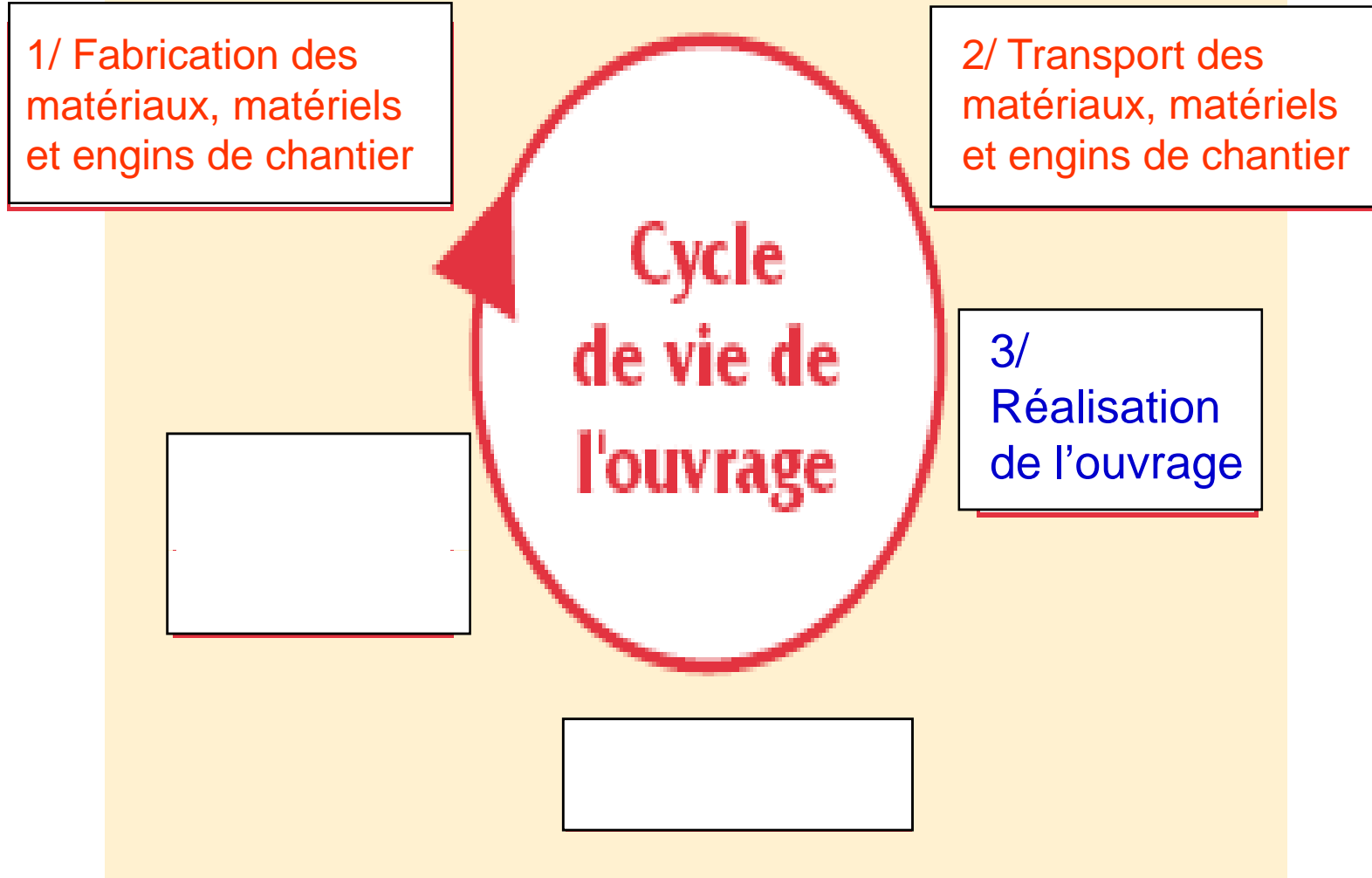
Elle prend en compte tous les **impacts entre l'extraction** des matières premières jusqu'à la **sortie de son site** de production du produit, du matériel ou de l'engin.



La deuxième étape du cycle de vie d'un ouvrage

Cette étape inclut:

- Tous les **transports** (aller et retour) nécessaires pour assurer toutes les **livraisons**, de la sortie de chaque site de fabrication jusqu'au chantier :
 1. Des divers matériaux structurants, des équipements et des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage,
 2. Des matériels,
 3. Des engins.
- Cette étape prend en compte, en particulier, la **production** et la **combustion du gazole consommé** par les transports par voie routière et les distances parcourues en charge et à vide.



La troisième étape du cycle de vie d'un ouvrage

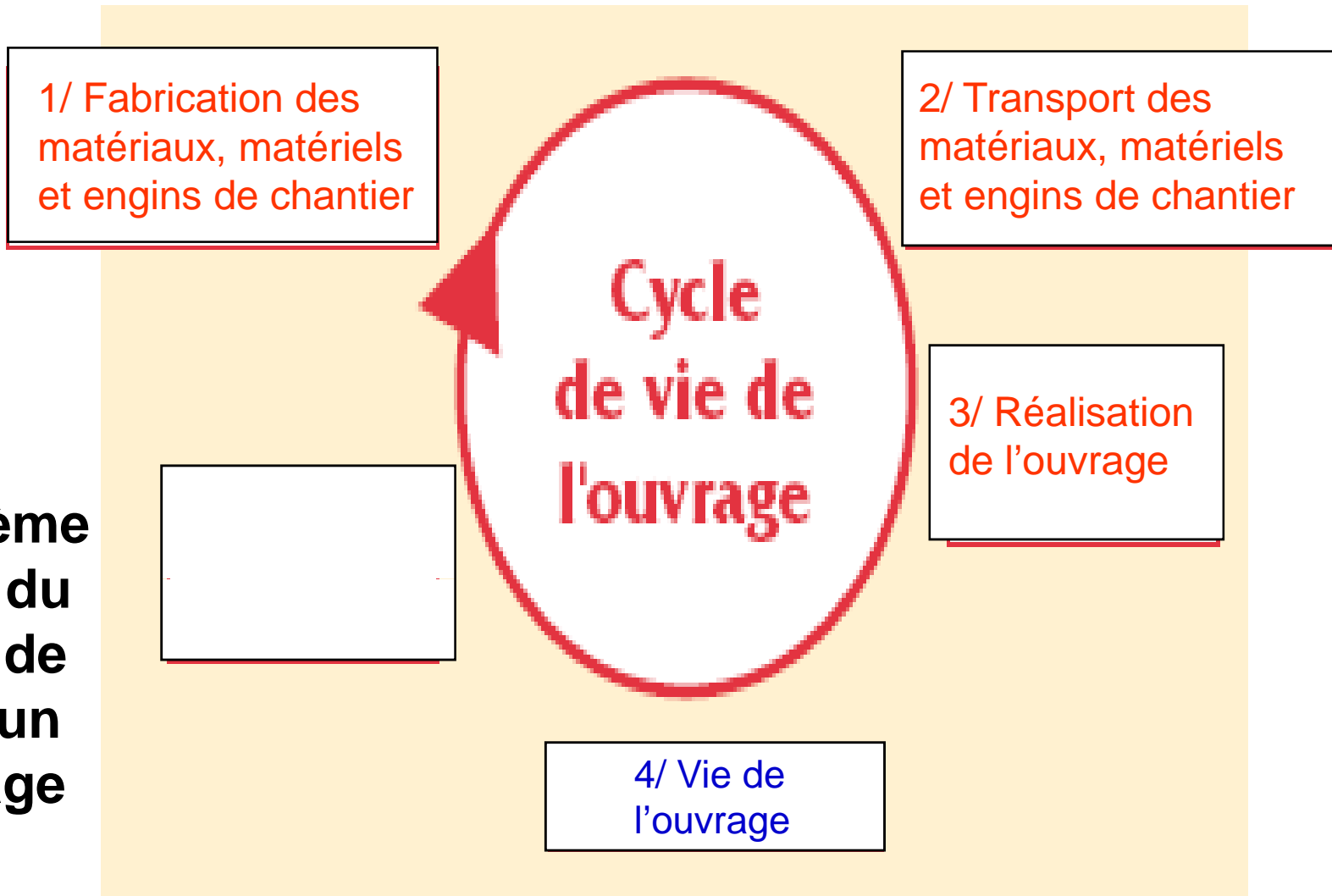
Cette étape couvre la période comprise entre la mise en place des installations de chantier et la réception de l'ouvrage terminé. La réalisation de l'ouvrage est décomposée en différentes phases afin de distinguer :

- les travaux réalisés par l'entreprise générale présente sur le site pendant toute la durée du chantier (structure de génie civil : tablier et appuis),
- les travaux réalisés, par les sous-traitants qui interviennent de manière ponctuelle au cours de la réalisation de l'ouvrage. Ces travaux concernent les prestations suivantes :
 - Fondations profondes; - Précontrainte; - Étanchéité; - Couche de roulement;
 - Appareils d'appui et joints de chaussée; - Asphalte; - Remblais contigus; - Armatures passives; - Dispositifs de retenue; - Préparation de chantier

Cette phase intègre aussi :

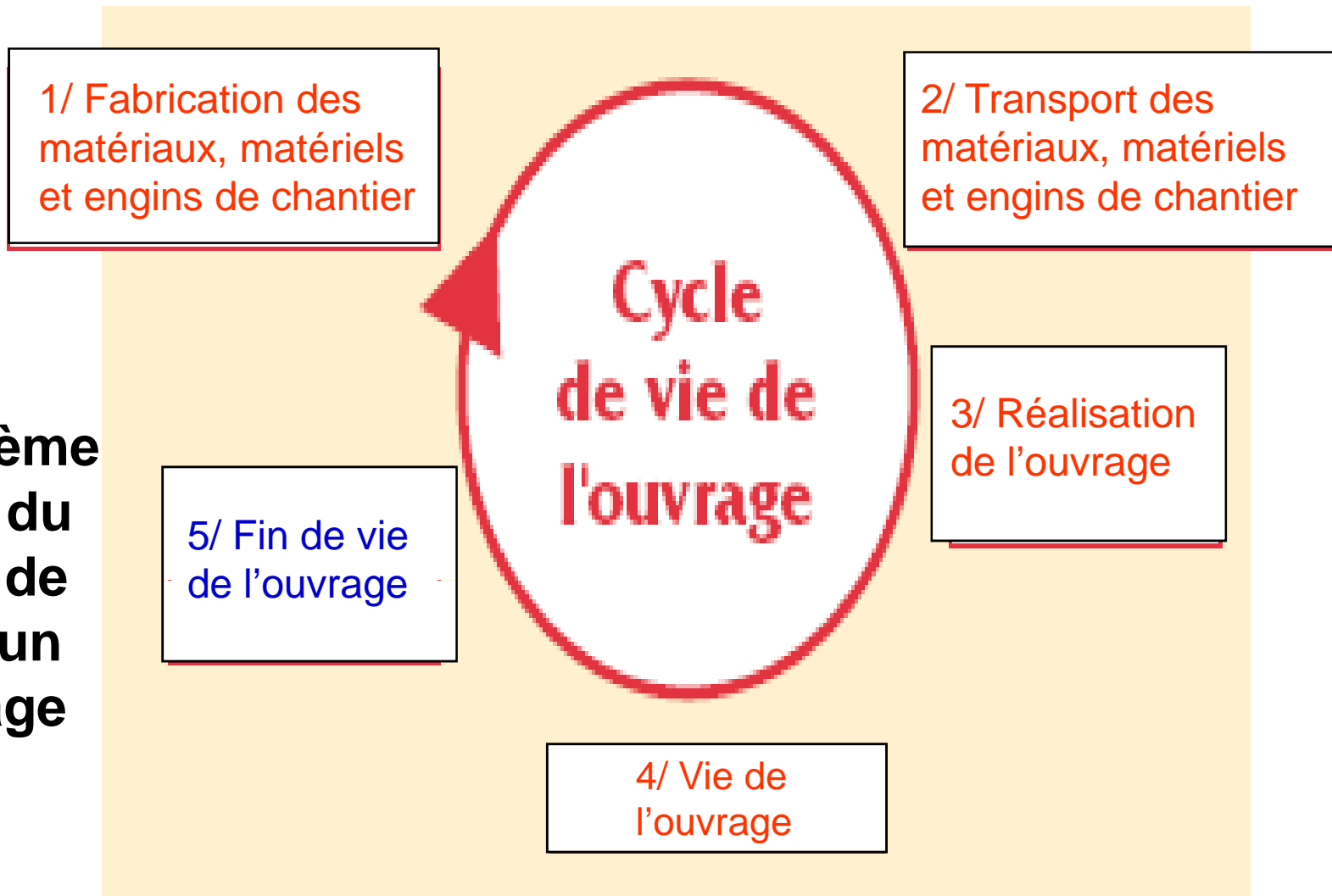
- L'ensemble des moyens généraux spécifiques au chantier (installations de chantier, consommation d'eau, éclairage, chauffage des installations de chantier...),
- Les impacts des véhicules lors des déplacements effectués par tous les intervenants sur le chantier, pendant toutes les étapes de la construction,
- les consommations en carburant et énergie de l'ensemble des matériels et engins utilisés sur le chantier.

**La
quatrième
étape du
cycle de
vie d'un
ouvrage**



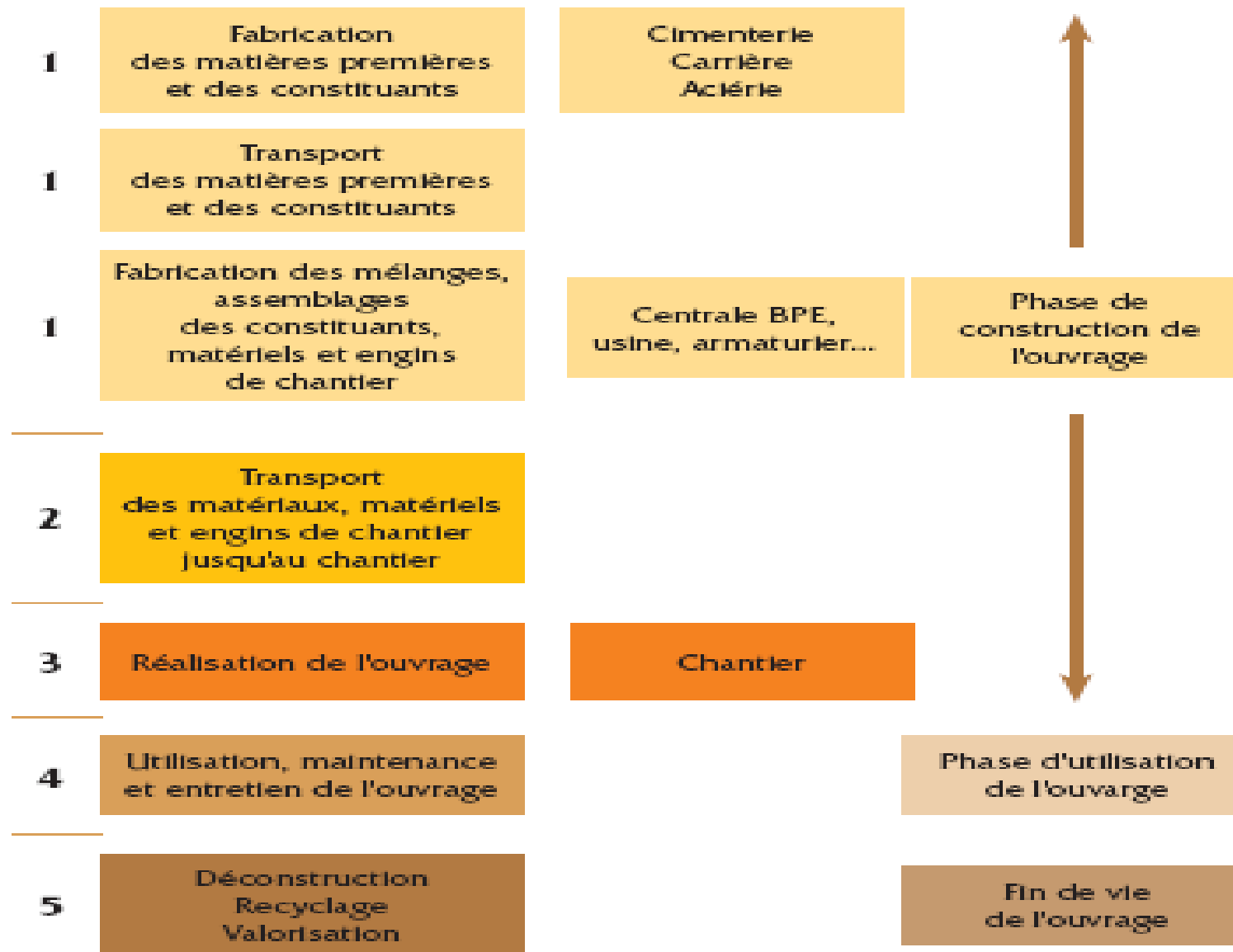
La vie de l'ouvrage concerne sa surveillance, son entretien et sa maintenance pendant sa durée d'utilisation. Il n'a pas été programmé de grosses réparations.

Cinquième étape du cycle de vie d'un ouvrage



Cette étape s'intéresse à la déconstruction de l'ouvrage en fin de vie, au transport des matériaux et à leur traitement et stockage dans un site de valorisation.

Les 5 étapes du cycle de vie d'un ouvrage de génie civil en béton



Décomposition des étapes du cycle de vie du pont

| N° étape | Description |
|--|--|
| 1/ FABRICATION | Fabrication matières premières : ciments, granulats, adjuvants, acier... |
| | Fabrication des matériaux structurants : bétons des fondations, des piles ou du tablier, armatures, précontrainte, produits préfabriqués en béton... |
| | Fabrication des équipements de l'ouvrage : étanchéité, joints de chaussées, appareils d'appuis... |
| | Fabrication des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage : coffrage, huile de décoffrage, produit de cure... |
| | Fabrication des matériels et des engins de chantier |
| 2/ TRANSPORT | Transport des matériaux et des équipements sur le site : bétons, armatures, joints de chaussées, coffrage... |
| | Transport des matériels et engins de chantier sur le site. |
| 3/ REALISATION DE L'OUVRAGE | Installation et préparation du chantier |
| | Réalisation des fondations |
| | Réalisation des piles |
| | Réalisation des culées |
| | Réalisation du tablier |
| 4/ VIE DE L'OUVRAGE 100 ans | Mise en œuvre des équipements |
| | Surveillance et maintenance |
| 5/ FIN DE VIE | Entretien selon scénarios types |
| | Déconstruction de l'ouvrage |
| | Transport des matériaux de déconstruction Stockage des matériaux Traitement des matériaux |

Des matériaux qui évoluent ; corrosion, altération, dégradation





Les déchets inertes & déchets industriels banals



déchets dangereux



Déchets de démolition et déconstruction

De par leur **quantité produite** et leur potentiel **de valorisation**, les **déchets de déconstruction / démolition de bâtiments** constituent un des **gisements** les plus importants sur lequel des actions majeures en faveur de la **valorisation** doivent être mises en place.

Les pratiques de **déconstruction sélective**, de **regroupement**, **tri**, **prétraitement** de déchets de démolition font également partie des éléments du **diagnostic** de la gestion actuelle de ces déchets.

La **gestion** des déchets de déconstruction / démolition est un enjeu avoué comme **majeur** par la Commission européenne comme en témoignent les objectifs imposés par la Directive cadre 2008/98/CE sur les déchets.

Les **déchets** issus de l'activité du **bâtiment** et des **travaux publics** présentent toutefois des caractéristiques particulières, permettant de les distinguer de la catégorie « **déchets ménagers et assimilés** ». En effet, étant constitués pour près de 70% de leur masse par des matériaux « lourds » à **base minérale** ainsi que d'autres déchets ayant un fort potentiel de valorisation.

Les déchets de démolition et de construction sont composés des **trois** grandes catégories de déchets, à savoir des **déchets inertes**, des **déchets non dangereux** (plastiques, métaux, bois, cartons,...) et des **déchets dangereux**. Certains déchets sont caractéristiques de ces activités : déchets d'amiante, plâtres, déchets contenant du plomb, bois traités...

Les travaux de **génie civil** et le **bâtiment** ne génèrent pas exactement les mêmes types de déchets.

Dans le **génie civil**, la quasi-totalité des déchets **sont inertes** et de **bonne qualité** tandis que la fraction inerte des déchets du bâtiment bien que majoritaire est plus faible et plus souvent **contaminée** par des matériaux indésirables comme notamment le plâtre ou les éléments de second œuvre que sont le plastique, le bois ou encore la terre.

Cette **bonne qualité** des déchets de **génie civil** tient à la nature des ouvrages mais découle également de l'application de plus en plus systématique de règles de **déconstruction sélective**. Comme le montre la Figure *, ce gisement de qualité représente 36% de l'ensemble du gisement de déchets de construction et de démolition, le solde (64%) provenant de l'activité bâtiment proprement dite.

Dans le bâtiment, la source principale de déchets est la démolition comme le montre Figure *. Elle génère un gisement constitué des matériaux retirés des bâtiments lors de la démolition.

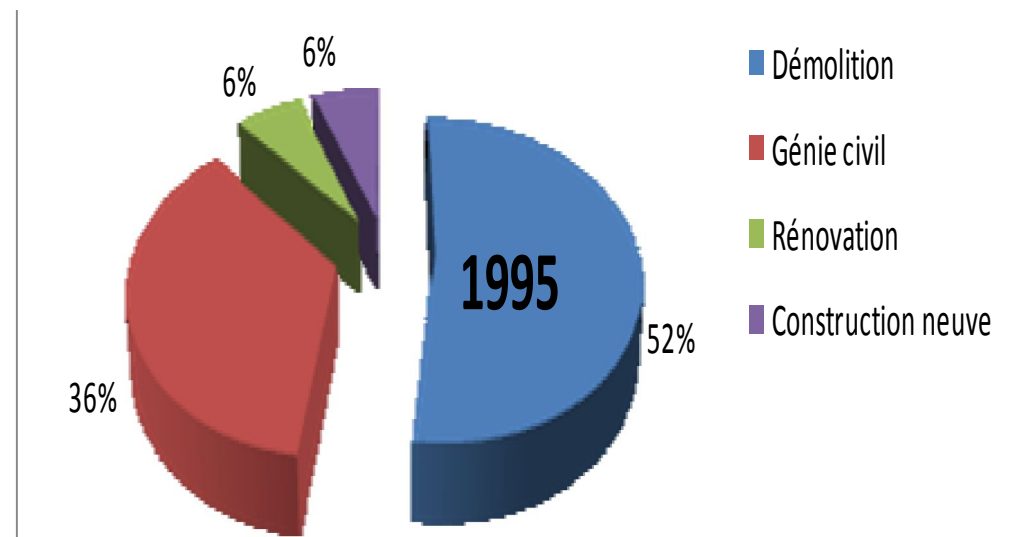


Figure * - Répartition en poids du gisement de déchets par activité source (1995) Source – PWD – Horizon 2010 1998 p.213

La deuxième source comprend les matériaux retirés lors de la **rénovation**. La troisième est formée par les **déchets des chantiers de construction** composés de chutes, de matériaux excédentaires, de conditionnement et d’emballages.

Le tableau suivant présente de manière synthétique les déchets produits par la déconstruction – démolition de bâtiments par élément constructif:

| Eléments constructifs | Matériaux | Code déchets | Polluants |
|------------------------------|--|--|--|
| Toiture et cheminés | Amiante liée*, Tuile, Brai de goudron de houille*, PVC, Ferraille, Bois traité*, Suie* | 17 06 05*, 17 03 02*, 17 02 04*, 17 04 07 | CCA, Phénols, PCP, Amiante, HAP |
| Charpente | Bois traité*, Ferraille, Béton floqué* ou non | 17 01 01, 17 06 05*, 17 02 04*, 17 04 07 | CCA, Phénols, PCP, Amiante |
| Mur | Béton floqué* ou non, Brique, Bardage, Parpaing, Bois | 17 01 01, 17 06 05*, 17 02 04*, 17 01 02 | CCA, Phénols, PCP |
| Dallage | Joint élastomère, ferraille, Béton floqué* ou non | 17 01 01, 17 06 05*, 17 02 04*, 17 04 07, 17 06 01* | Amiante |
| Cloisons | Plâtre, Brique, Bois traité* ou non, Béton, Placoplâtre* | 17 02 04*, 17 01 01, 17 08 02, 17 01 02 | CCA, Phénols, PCP, Sulfates |
| Revêtements de sols | Peinture*, Moquette, Bois traité* ou non, Carrelage, Vynil-amiante, Brique, colle bitumineuse, Métal | 17 02 04*, 17 03 02, 17 04 07*, 17 04 09*, 17 02 01, 17 01 03, 17 01 02, 17 06 05*, 17 04 07 | CCA, Phénols, PCP, métaux lourds, HAP, créosote, Amiante, solvants |
| Canalisations et Electricité | Ferraille, Plomb, PVC, Calorifugeage, Amiantement | 17 06 05*, 17 02 04, 17 02 03*, 17 04 03, 17 04 07 | Métaux lourds, Amiante |
| Isolation | Laine de roche, laine de verre, Mousse, polyéthylène, Polystyrène, Plâtre-amiante | 17 06 04, 17 02 03, 17 06 05*, 17 08 01* | Phénols, Amiante, sulfates |
| Ouvertures | Bois, Ferraille, PVC, Verre, Peinture | 17 02 01, 17 02 02, 17 02 03, 17 02 04*, 17 04 07, 17 04 09* | CCA, Phénols, PCP, métaux lourds, créosote, solvants |
| Voiries | Bitume, Goudron, Graves | 17 03 01*, 17 03 02, 17 01 01 | HAP |
| Faux-plafond | Amiante, Plâtre | 17 06 01*, 17 08 01*, 17 08 02 | Fibre minérale, sulfates |
| Matériels (process) | Batteries, Tubes fluorescents, lampes à décharges haute densité, Autres substances chimiques | 16 06 01*, 17 09 01*, 20 01 21* | Métaux lourds, Mercure |

Déchets inertes :

les **déchets inertes** représentent l'essentiel des déchets de démolition, à savoir 94 %, mais en réalité, ce taux est ramené à 60 % du fait que beaucoup de déchets non inertes ne peuvent être séparés facilement, par exemple comme le plâtre, le bois ou les plastiques de second oeuvre. Les bétons, pierres, tuiles, céramiques, briques, déchets de verre, terres, granulats et gravats non pollués comptent parmi les déchets inertes. En 2004, la moitié seulement des 29 M de tonnes de déchets inertes était recyclée, le reste partant en centre de stockage, ce qui laisse une marge importante d'évolution.

Concernant la mise en décharge des déchets, certains déchets sont admissibles sans essai dans des décharges pour inertes. Ils sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

| Code CE | Désignation | Restrictions |
|----------|---|--|
| 10 11 03 | Déchets de matériaux à base de fibre de verre | Seulement en l'absence de liant organique |
| 15 01 07 | <i>Emballage en verre</i> | |
| 17 01 01 | <i>Béton</i> | <i>Uniquement déchets de construction & démolition (C & D) triés (cf. mention supplémentaire après le tableau)</i> |
| 17 01 02 | <i>Briques</i> | <i>Uniquement déchets de C & D triés</i> |
| 17 01 03 | <i>Tuiles et céramiques</i> | <i>Uniquement déchets de C & D triés</i> |
| 17 01 07 | <i>Mélanges de béton, briques, tuiles et céramiques</i> | <i>Uniquement déchets de C & D triés</i> |
| 17 02 02 | <i>Verre</i> | |
| 17 05 04 | <i>Terre et pierres</i> | <i>A l'exclusion de la terre végétale et de la tourbe ; à l'exclusion de la terre et des pierres provenant de sites contaminés</i> |
| 19 12 05 | <i>Verre</i> | |
| 20 01 02 | <i>Verre</i> | Uniquement verre collecté séparément |
| 20 02 02 | <i>Terre et pierres</i> | <i>Provenant uniquement de déchets de jardins et de parcs ; à l'exclusion de la terre végétale et de la tourbe</i> |

Déchets non dangereux :

Les données 2004 recensent également une quantité non négligeable de déchets non dangereux issus de la démolition de bâtiments, à savoir 1,79 M de tonnes. Ces déchets sont principalement des matériaux mélangés ou indifférenciés (60 % des déchets non dangereux de démolition du bâtiment). Le reste est constitué de déchets de bois (19 %), de déchets métalliques (8,9 %), de déchets non inertes non dangereux comme le plâtre (9,6 %), de déchets de matières plastiques (0,5 %) et de divers autres déchets non dangereux (2,3 %).

Le tableau ci-dessous rappelle les références des catégories de déchets classés non dangereux

| Code CE | Désignation | Déchets du bâtiment / TP |
|----------|--|--------------------------|
| 17 02 01 | Bois | Bâtiment et TP |
| 17 02 03 | Matières plastiques | Bâtiment et TP |
| 17 04 01 | Cuivre, bronze, laiton | Principalement Bâtiment |
| 17 04 02 | Aluminium | Principalement Bâtiment |
| 17 04 03 | Plomb | Principalement Bâtiment |
| 17 04 04 | Zinc | Principalement Bâtiment |
| 17 04 05 | Fer et acier | Principalement Bâtiment |
| 17 04 06 | Etain | Principalement Bâtiment |
| 17 04 07 | Métaux en mélange | Principalement Bâtiment |
| 17 04 11 | Câbles autres que ceux visés aux rubriques 17 04 10 | Bâtiment et TP |
| 17 05 06 | Boues de dragage autres que celles visées à la rubrique 17 05 05 | TP |
| 17 05 08 | Ballast de voie autre que celui visé à la rubrique 17 05 07 | TP |
| 17 06 04 | Matériaux d'isolation autres que ceux visés aux rubriques 17 06 01 et 17 06 03 | Bâtiment |
| 17 08 02 | Matériaux de construction à base de gypse autres que ceux visés à la rubrique 17 08 01 | Bâtiment |
| 17 09 04 | Déchets de construction et de démolition en mélange autres que ceux visés aux rubriques 17 09 01, 17 09 02 et 17 09 03 | Bâtiment et TP |

Déchets non dangereux du bâtiment selon la liste européenne des déchets

Déchets dangereux :

Certains **constituants des bâtiments** sont classés **déchets dangereux**, pouvant alors constituer la source de **problèmes sanitaires**. Seuls les déchets de bois traités des Travaux Publics et les déchets amiantés de la démolition sont précisément notés. Les principales sources de pollution identifiées sont résumées dans le tableau suivant.

| Sources | Polluants |
|--------------------|--------------------------------------|
| Plâtre | Sulfates, métaux lourds |
| Amiante | Fibre d'amiante |
| Bois traités | Métaux lourds, lindane, phénols, PCP |
| Garniture de joint | PCB |
| Carton bitumé | Hydrocarbure, HAP, phénols |
| Suie de cheminée | Métaux lourds, HAP |
| Incendies | HAP, PCDD/F |
| Incidents divers | Hydrocarbures, acides |

Sources potentielles de polluants issus des bâtiments [Sindt et al, 1997]

En Floride, une équipe de chercheurs a dressé une liste des composants dangereux des bâtiments susceptibles d'entraîner des problèmes sanitaires et environnementaux pendant et après la démolition [Sheridan et al, 2000]. Cette liste est présentée dans le tableau qui suit.

| Déchets dangereux | Polluants |
|---|--|
| Tubes fluorescents | Contient du mercure |
| Lampes à décharge haute | Contient du mercure (utilisation extérieur et dans les parkings) |
| Batteries | Batteries composées de plomb et cadmium, contenues dans les lumières d'urgences, les systèmes de sécurité... |
| Bois traités | Peut contenir de la créosote, PCP (pentachlorophénol), CCA (Chrome – Cuivre - Arsenic) |
| Objet contenant du plomb | Surfaces recouvertes de peintures au plomb. |
| Huiles et autres fluides hydrauliques | Huiles pouvant être contenues dans des containers ou dans différents types de machineries (comme les ascenseurs). |
| Autres substances chimiques dangereuses | Une large gamme de produits contenant des substances dangereuses, peut être présente sur un site, selon son activité passée (aciérie, industrie chimique...etc.) |
| Composants de bâtiments spéciaux | Composants spécifiques aux hôpitaux, cliniques, cabinets dentaires...etc. |

Déchets dangereux recensés dans les bâtiments de Floride [Sheridan et al, 2000]

Les déchets ayant un caractère dangereux sont indiqués par un astérisque (*). Ces déchets dangereux, appartenant à la section 17, sont présentés dans le tableau suivant

| Code CE | Désignation |
|----------------|---|
| 17 01 06* | Mélanges ou fractions séparées de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuses |
| 17 02 04* | Bois, verre, et matière plastiques contenant des substances dangereuses ou contaminé par de telles substances |
| 17 03 01* | Mélanges bitumeux contenant du goudron |
| 17 03 03* | Goudron et produits goudronnés |
| 17 04 09* | Déchets métalliques contaminés par des substances dangereuses |
| 17 04 10* | Câbles contenant des hydrocarbures, du goudron ou d'autres substances dangereuses |
| 17 06 01* | Matériaux d'isolation contenant de l'amiante |
| 17 06 03* | Autres matériaux d'isolation à base de ou contenant des substances dangereuses |
| 17 06 05* | Matériaux de construction contenant de l'amiante |
| 17 08 01* | Matériaux de construction à base de gypse contaminés par des substances dangereuses |
| 17 09 01* | Déchets de construction et démolition contenant du mercure |
| 17 09 02* | Déchets de construction et démolition contenant des PCB (par exemple, mastics, sols à base de résines, vitrage, condensateur contenant des PCB) |
| 17 09 03* | Autres déchets de démolition et déconstruction (y compris en mélange) contenant des substances dangereuses. |

Déchets dangereux du bâtiment selon la liste européenne des déchets

Synthèse des déchets dangereux potentiellement présents dans un bâtiment

| Déchets | Code CE | Désignation | Substances dangereuses |
|---|-----------|---|---|
| Flocage, calorifugeage et faux plafond à l'amiante | 17 06 01* | matériaux d'isolation contenant de l'amiante | Amiante |
| Isolants thermiques à base de feuilles ou plaques d'amiante | 16 02 12* | équipements mis au rebut contenant de l'amiante libre | Amiante |
| Laine de roche, laine de verre, fibres minérales, fibres de céramique, fibres d'amarides, cellulose | 17 06 04 | matériaux d'isolation autres que ceux visés aux rubriques 17 06 01 et 17 06 03 | |
| | 17 06 03* | autres matériaux d'isolation à base de ou contenant des substances dangereuses | |
| Amiante-ciment | 17 06 05* | matériaux de construction contenant de l'amiante | Amiante |
| Tubes fluorescents | 17 09 01* | déchets de construction et démolition contenant du mercure | Mercure |
| | 20 01 21* | tubes fluorescents et autres déchets contenant du mercure | |
| Bois traités | 17 02 04* | bois, verre, et matière plastiques contenant des substances dangereuses ou contaminé par de telles substances | créosote, Lindane, pentachlorophénol, arsenic |
| | 20 01 37* | bois contenant des substances dangereuses | |
| Peinture au plomb | 17 01 06* | mélanges de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuses | Plomb |
| | 17 08 01* | matériaux de construction à base de gypse contaminés par des substances dangereuses | |
| | 17 09 03* | autres déchets de démolition et déconstruction (y compris en mélange) contenant des substances dangereuses. | |
| Revêtement à base de goudron | 17 03 01* | mélanges bitumeux contenant du goudron | HAP |
| | 17 03 03* | goudron et produits goudronnés | |
| Suie de cheminée | 17 01 06* | mélanges de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuses | HAP |
| | 17 09 03* | autres déchets de démolition et déconstruction (y compris en mélange) contenant des substances dangereuses. | |
| Equipement de climatisation | 16 02 11* | équipements mis au rebut contenant des chlorofluorocarbones, des HCFC ou des HFC | chlorofluorocarbone, HCFC et HFC |
| | 20 01 23* | équipements mis au rebut contenant des chlorofluorocarbones | |
| Lumières d'urgences et détecteurs de fumée | 16 02 13* | équipement mis au rebus contenant des composants dangereux autres que ceux visés aux rubriques 16 02 09* à 16 02 12* | Cadmium et plomb |
| | 20 01 35* | équipements électriques et électroniques mis au rebut contenant des composants dangereux, autres que aux rubriques 20 01 21 et 20 01 23 | |
| Mastic, sol à base de résine, joint et vitrage contenant du PCB | 17 09 02* | déchets de construction et démolition contenant des PCB (par exemple, mastics, sols à base de résines, vitrage, condensateur contenant des PCB) | PCB |

A l'aide de ce tableau, il est possible d'établir une liste simplifiée des principaux polluants les plus toxiques, ainsi que des déchets dangereux qui leurs sont associés, susceptibles d'être trouvés dans les déchets de démolition :

- Les fibres d'amiante : tous déchets issus de matériaux amiantés,
- Le plomb : essentiellement la peinture au plomb et la tuyauterie,
- Le mercure : dans les tubes fluorescents ("tubes au néon"),
- L'arsenic (plus ou moins chrome et cuivre, CCA) : dans les bois traités,
- Le pentachlorophénol : dans les bois traités,
- Les HAP : dans les revêtements à base de goudron, éventuellement, la suie de cheminées et dans certains bois traités (créosote).

La déconstruction sélective

L'opportunité de la **récupération** de matériaux dépend du **type** de **technique** de **démolition** utilisée **à la fin de la vie** utile d'un bâtiment.

Il y a une vingtaine d'années, la démolition était **attaquée par un engin** unique dès la livraison du site : tout était **mélangé** et partait en **décharge** de manière indifférenciée.

Aujourd'hui, la réglementation que ce soit en matière de déchets dangereux (amiante, plomb...) ou que ce soit en matière d'objectifs de recyclage, a petit à petit imposé des pratiques beaucoup plus **sélectives** en matière de **démolition**.

La **déconstruction sélective** peut se définir comme suit [P. Melquiot, 2003] : « *Démontage sélectif d'installations techniques et de certains éléments d'ouvrage afin d'en augmenter le taux de valorisation. Les techniques de déconstruction des bâtiments peuvent en effet s'avérer plus performantes, plus simples et globalement moins coûteuses que la réalisation d'un tri complet après démolition traditionnelle dans un centre de tri adapté. Elles peuvent cependant n'être que partielles et compléter un tri hors chantier* ».

Une opération de déconstruction **sélective** peut se décomposer en plusieurs étapes [Bluteau, 2009 ; J-P. Gosset, 2001] :

- **un audit** préalable du bâtiment afin d'identifier et quantifier les matériaux qui doivent faire l'objet d'une dépose spécifique ou d'un tri particulier
- **un inventaire** et une analyse des filières d'élimination afin de définir la nature et le degré du tri dans le respect de la réglementation et un coût acceptable
- la déconstruction en tant que telle avec trois opérations successives, **décontamination** des éléments classés déchets dangereux, **dépose** d'éléments du second oeuvre afin d'éviter le mélange avec des déchets inertes et **démolition** au sens strict avec tri complémentaire au sol.

Techniques de déconstruction [E. Jayr, 2010]

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*

o **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'écroulement;

o **Démolition par sapement** (il consiste à renverser un ouvrage par remplacement des parties porteuses par des cales de bois) ou havage (ce procédé consiste dans l'enfouissement de l'ouvrage dans le sol ; il est pratiqué pour le cas des sols assez meuble) ;

o **Démolition par poussée**: engins mécaniques à godets – ce procédé consiste à utiliser le godet d'un engin généralement monté en retro comme moyen pour démanteler les partie d'ouvrage dont les résistances à la traction sont faibles; cette technique n'est pas utilisable pour des ouvrages en béton ;

o **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 ;

o **Démolition par éclatement** – ce procédé utilise les éclateurs hydrauliques ;

o **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 les pièces en béton ;

o **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 ;

o **Pilons** – cette technique utilise des masses de plusieurs tonnes que l'on laisse tomber de quelques mètres (en général entre 1 et 3m)

- Procédés utilisant les explosifs et les détonations de gaz

o **Explosifs** - la démolition par explosif peut être réalisée selon différentes techniques [Benazet, 1997] :

1. **le foudroyage lent**, qui consiste à effondrer le bâtiment sur lui-même en une dizaine de secondes ;
2. **foudroyage intégral** (souvent appelé à tort : implosion) : il 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 ;
3. **le basculement** : le basculement d'une construction est obtenu en dynamitant, en forme de coin, une partie basse de celui-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 ;
4. **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 ;
 - o **Procédé Cardox** – ce procédé utilise la détente brusque d'anhydride carbonique fortement comprimé (tube Cardox) ;

o **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

o **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.

o **Chalumeau à poudre** – son 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

o **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).

o **Électrofracture** – le procédé consiste dans la soumission de 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.

o **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

Nous pouvons constater qu'il existe de nombreux procédés de démolition / déconstruction, chacun avec des avantages et des inconvénients.

Dans le **choix** de la **technique à utiliser**, plusieurs **critères** sont à prendre 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'oeuvre, la **durée** des opérations, le **coût** intrinsèque des opérations de démolition / déconstruction et le **coût global** qui prend en compte également 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.

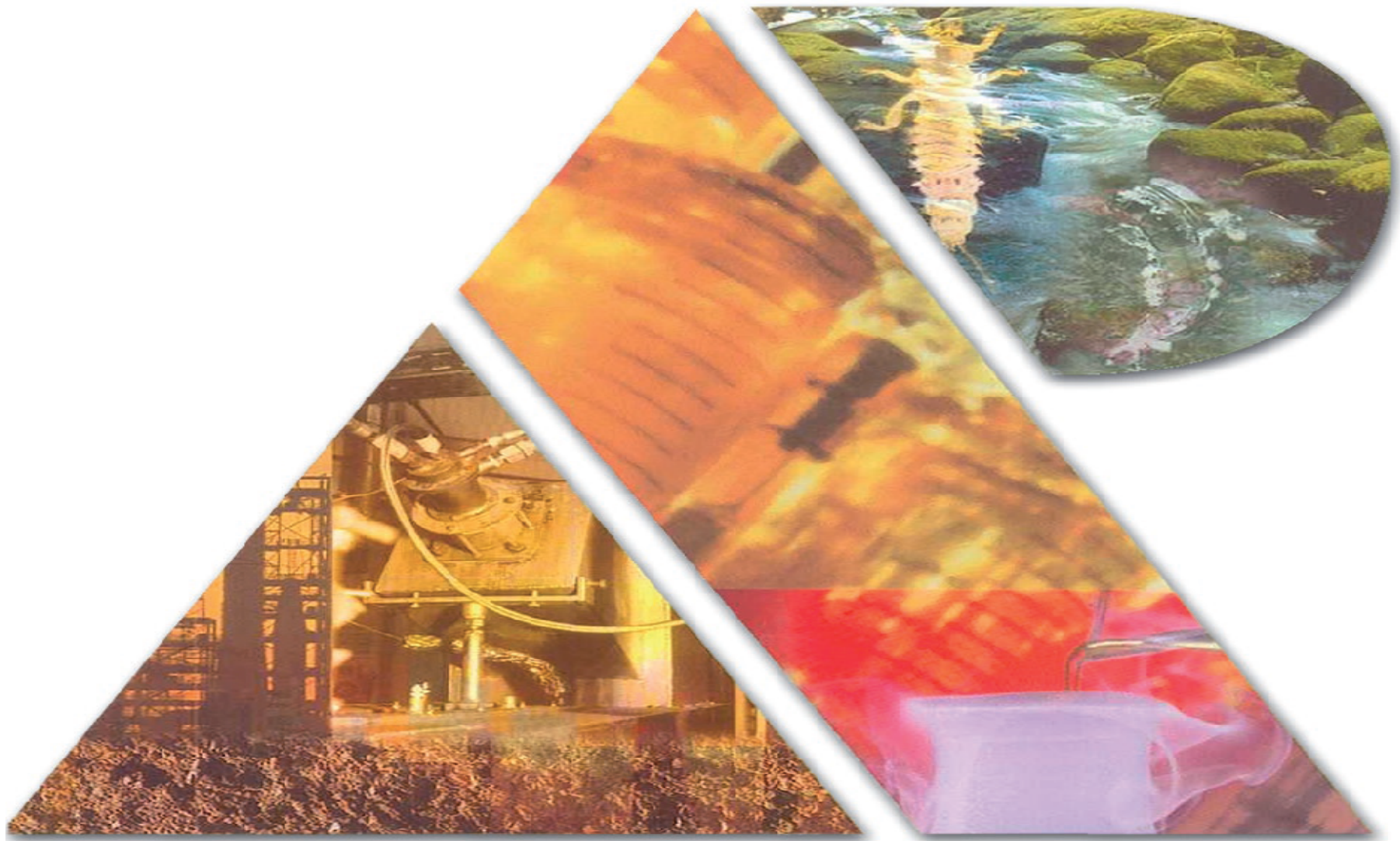
Critères de choix d'une technique de demolition / déconstruction des ouvrages [E. Jayr, CSTB in ASURET – Revue de l'existant]

| 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 détonantes de gaz | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | + | + | +++ | +++ | + | ++ | +++ |
| Thermique | ++ | +++ | + | ++ | +++ | + | ++ | +++ | +++ | ++ | +++ | ++ | ++ | ++ |
| Chimique | + | + | + | +++ | +++ | + | + | ++ | ++ | + | + | +++ | +++ | ++ |

* Plus la précision et le contrôle de 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

Filières de traitement et de recyclage des déchets de démolition et déconstruction



Aperçu général de la valorisation de déchets de construction et démolition en Europe

Le terme recyclage comprend 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.

Mesures de gestion des déchets de démolition dans les pays européens [DGXI, 1999]

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

- o Restrictions / Interdictions de mise en décharge :
- o Stockage monospécifique (avec possibilité de réutilisation ultérieure) :
- o Suivi de la gestion des déchets :
- o Taxes sur la mise en décharge des déchets inertes :
- o Echange – Commercialisation de déchets :
- o Spécifications techniques et environnementales pour l'utilisation des déchets :

Les installations de regroupement, de tri et de prétraitement

o Définition et rôle des plates-formes

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 km) ;
- Collecter les déchets en petite quantité ;
- Trier les déchets hors chantier, dans le cas où le tri sur chantier n'est pas possible ;
- De recevoir des quantités de déchets permettant de s'intégrer dans les filières de valorisation classiques ;
- Pouvoir optimiser les coûts d'élimination, par un négoce avec les filières d'élimination et de valorisation finales.

Les trois principaux types de plates-formes sont :

- Les plates-formes de regroupement,
- Les plates-formes de regroupement et de tri,
- Les unités de valorisation (recyclage ou pré-traitement).

- Plate-forme de regroupement :



Ces installations peuvent être assimilées à des déchèteries d'entreprises réservées aux professionnels du BTP. Elles servent à entreposer provisoirement de faibles quantités de déchets déjà triés. Elles concernent plutôt les chantiers de construction, l'entretien et la maintenance des bâtiments.

- **La plate-forme de regroupement et de tri :**

Ces installations peuvent accueillir des déchets déjà triés (fonction de regroupement), mais elles ont surtout la possibilité d'accueillir des déchets de chantier en mélange dont elles réalisent le tri.

Les aménagements peuvent ressembler à ceux d'une déchèterie : conteneurs de stockage, un pont-bascule et une aire de tri constituée de boxes ou caissons pour chaque catégorie de déchets, et d'engins de tri (chargeur, tractopelle au minimum, éventuellement grappin).

Le tri peut être complété et affiné par l'ajout d'une chaîne de tri manuelle et mécanisée : bandes transporteuses, tapis, trommel pour un tri granulométrique, overband pour un tri magnétique et postes de tri manuel.



- **La plate-forme de tri, de regroupement et de valorisation**

Ces installations sont davantage axées sur la valorisation et le recyclage.

Le "prétraitement" permet le conditionnement des matériaux et leur mise en filières industrielles de production. Il consiste à :

- Séparer les éléments complexes et composites du bâtiment (complexes de doublages, complexes d'étanchéité, baies vitrées, volets,...) en éléments homogènes.
- Réduire les dimensions des déchets, opération nécessaire pour le recyclage, par exemple par concassage et criblage de matériaux inertes, broyage de plastiques ou de bois.

En plus des éléments décrits pour les deux précédents types de plate-forme, ces installations nécessitent des aménagements et matériels spécifiques au pré-traitement. En fonction des valorisations réalisées elles peuvent comprendre une unité de concassage (mobile ou non), des cribles, broyeurs à bois, séparateur magnétique pour les métaux, des équipements de compactage, des séparateurs aérauliques ou densimétriques.



Concassage - Criblage mobile



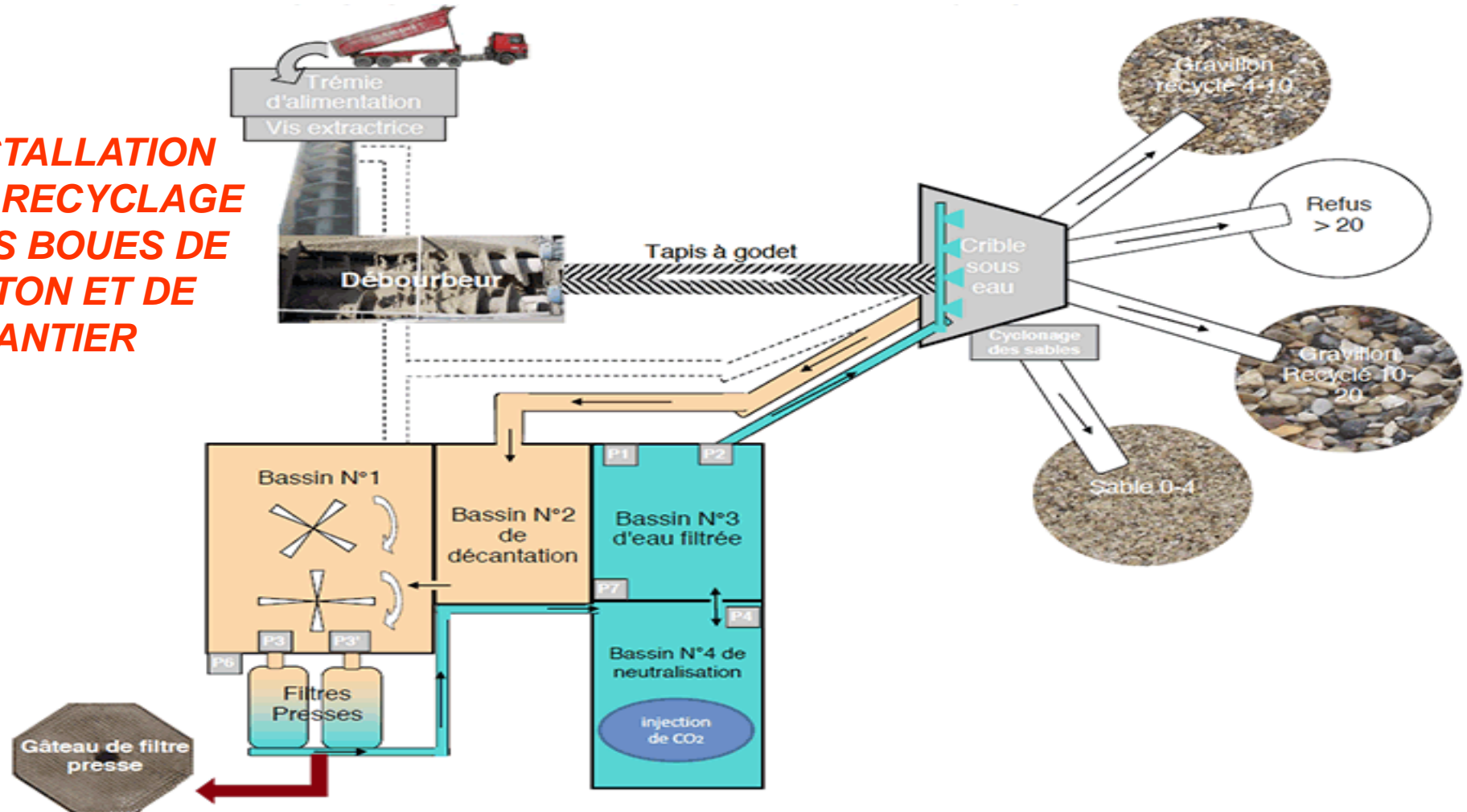
Concassage - Criblage fixe



Criblage de bois

Les filières d'utilisation de matériaux issus de démolition

INSTALLATION DE RECYCLAGE DES BOUES DE BÉTON ET DE CHANTIER



Les boues de béton sont des résidus issus du nettoyage des centrales à béton et des bétonneuses. De plus, le béton, une fois prêt, doit être utilisé dans l'heure et il arrive que des contraintes sur le temps entraînent la perte du béton. Plutôt que de mettre en décharge cette matière dont la fabrication est très polluante, la centrale de recyclage récupère jusqu'à 80% des matériaux constitutifs du béton devenu inutilisable: sable et gravillons.

De l'intérêt de recycler le béton

Le procédé de fabrication **du ciment** réclame une combustion à 1500 degrés, réalisée notamment avec des **combustibles fossiles** qui émettent des gaz à **effet de serre**. De plus, la **transformation chimique du calcaire** en chaux hydraulique émet principalement du CO₂ mais aussi des oxydes d'azote (NOx) et du dioxyde de soufre SO₂ qui participent à l'acidification de l'atmosphère. Ainsi, 884 kilogrammes de CO₂ sont émis pour chaque tonne de ciment produite.

Comme la production de ciment **consomme** une grande quantité de **matières premières** en partie **non renouvelables** (minerais et combustibles fossiles) et que sa fabrication est également à l'origine d'importantes **émissions de CO₂**, le **recyclage** de cette matière revêt donc tout son intérêt.

En **limitant l'extraction** des matières premières dans les carrières et en **recyclant** les déchets localement, ce type d'installation contribue à rendre le secteur du BTP moins polluant et gaspilleur de ressources. Ceci est devenu indispensable dans un contexte où la relance de la construction de logements et d'équipements est un impératif avancé par l'ensemble de la classe politique.

Les granulats

Une des pratiques les plus courantes dans le monde pour la valorisation de déchets de démolition est le **broyage/concassage et criblage** dans l'objectif de produire des granulats recyclés.

Ces granulats sont ensuite réutilisés au même titre que des granulats naturels. Dans le cas des **déchets inertes en mélange** [ADEME, 2008], le problème majeur est de 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 des granulats propres et utilisables d'une part, et une fraction résiduelle non valorisable (si présence de sulfates ou d'argile) d'autre part.

Pour le **reste** du mélange qui est **resté sur 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 primordiale pour assurer une bonne qualité des matériaux recyclés produits.

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.

Par ordre croissant de **performances mécaniques** nécessaires, on citera l'utilisation en **remblais**, **couches de formes** et **structures de chaussées** ; 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.

Les spécifications environnementales prévues dans le guide cadre « Acceptabilité des matériaux alternatifs en techniques routières – Évaluation environnementale » portent dans un premier temps sur la **fraction lixiviable** et le **contenu total** en référence aux valeurs de référence définies par la décision 2003/33/CE pour l'acceptation de déchets en installation de stockage pour les déchets inertes (ISDI) d'une part et pour les déchets non dangereux (ISDND) d'autre part.

Ainsi, trois conditions sont prévues :

- Les **déchets** dont la **fraction lixiviable** est **conforme** aux valeurs **limites** d'acceptation en ISDI seraient valorisables sans autre essai préalable ;
- Les **déchets** dont la **fraction lixiviable** n'est **pas conforme** aux valeurs **limites** d'acceptation en ISDND seraient **exclus** de toute possibilité de valorisation en techniques routières ;
- Les **autres déchets** devraient faire **l'objet d'essais complémentaires** de caractérisation du relargage en conditions dynamiques (percolation ou lixiviation surfacique), des valeurs de référence spécifiques étant définies selon le type d'usage envisagé, entre l'utilisation en remblais technique recouvert et l'utilisation en remblai sous ouvrage routier ou sous-couche de route ou de parking.

Taux de recyclage

L'étude européenne réalisée par l'UEPG sur le recyclage de granulats [UEPG, 2006] évalue, en moyenne, l'utilisation de **granulats recyclés à 6%** des quantités totales de granulats employés.

Le bois

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...),

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].

Lorsqu'ils sont **traités au CCA** (**Cuivre Chrome Arsenic**), 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 [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**.

D'autres **filières de valorisation** des déchets de bois de chantier de bâtiment sont la **production de panneaux** de particules, ainsi que la vente occasionnelle de **poutres** à destinations de menuiseries [ADEME, CSTB, 2006].

Enfin, une **autre filière de valorisation** des déchets de bois est la **coincinération 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.

Le plâtre

Parmi les déchets de démolition, ceux à base de **plâtre** (et donc de gypse) posent le problème, pour leur **stockage**, du **relargage de sulfates (SO_4^{2-}) dans les eaux**, ainsi qu'en milieu réducteur, de **l'émission toxique de sulfure d'hydrogène (H_2S)**.

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**].

Par conséquent, les **voies majoritaires d'élimination du plâtre** sont les suivantes: **stockage en Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (classe 2)** dans des **alvéoles** ou en **Installation de Stockage de Déchets Inertes (classe 3)**. D'autres part, des unités mobiles de broyage/concassage se déplacent sur les chantiers et permettent de préparer du **plâtre recyclé** sur place.

Les plastiques

Pour les **déchets plastiques en mélange**, le **broyage** puis le **compactage** est possible 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 (ex classe 2)**.

Pour les **déchets de PVC** (polychlorure de vinyle) et **de PE** (polyéthylène), il existe des filières de recyclage par **micronisation** 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...).

Pour les **déchets de polystyrène**, il existe une filière de découpe dans l'objectif de produire du **gravier plastique** pour drains.

Enfin, la **valorisation énergétique** par l'incinération et la **co-incinération** sont possibles pour les plastiques.

Nb. Co- incinération: Production d'énergie (vapeur, électricité, ...) à partir de l'énergie thermique dégagée par l'incinération de produits

Les métaux

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

Les terres excavées

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.

Les laines minérales

La seule filière identifiée pour les déchets de laine minérale est **l'enfouissement** en Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ex classe 2). Cependant, il faut savoir que le recyclage est techniquement possible pour ces déchets incombustibles

Les papiers et cartons

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].

Le verre

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].

L'amiante

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 qui produit des vitrifiats valorisables en techniques routières, ou l'enfouissement en Installations de Stockage de Déchets Dangereux après un traitement de solidification (ex classe 1).

VALORISATION (PRÉPARATION EN VUE DU RÉEMPLOI, RECYCLAGE ET AUTRES VALORISATIONS)- VUE GLOBALE

Les filières de traitement existantes pour les déchets de construction et de démolition sont les suivantes :

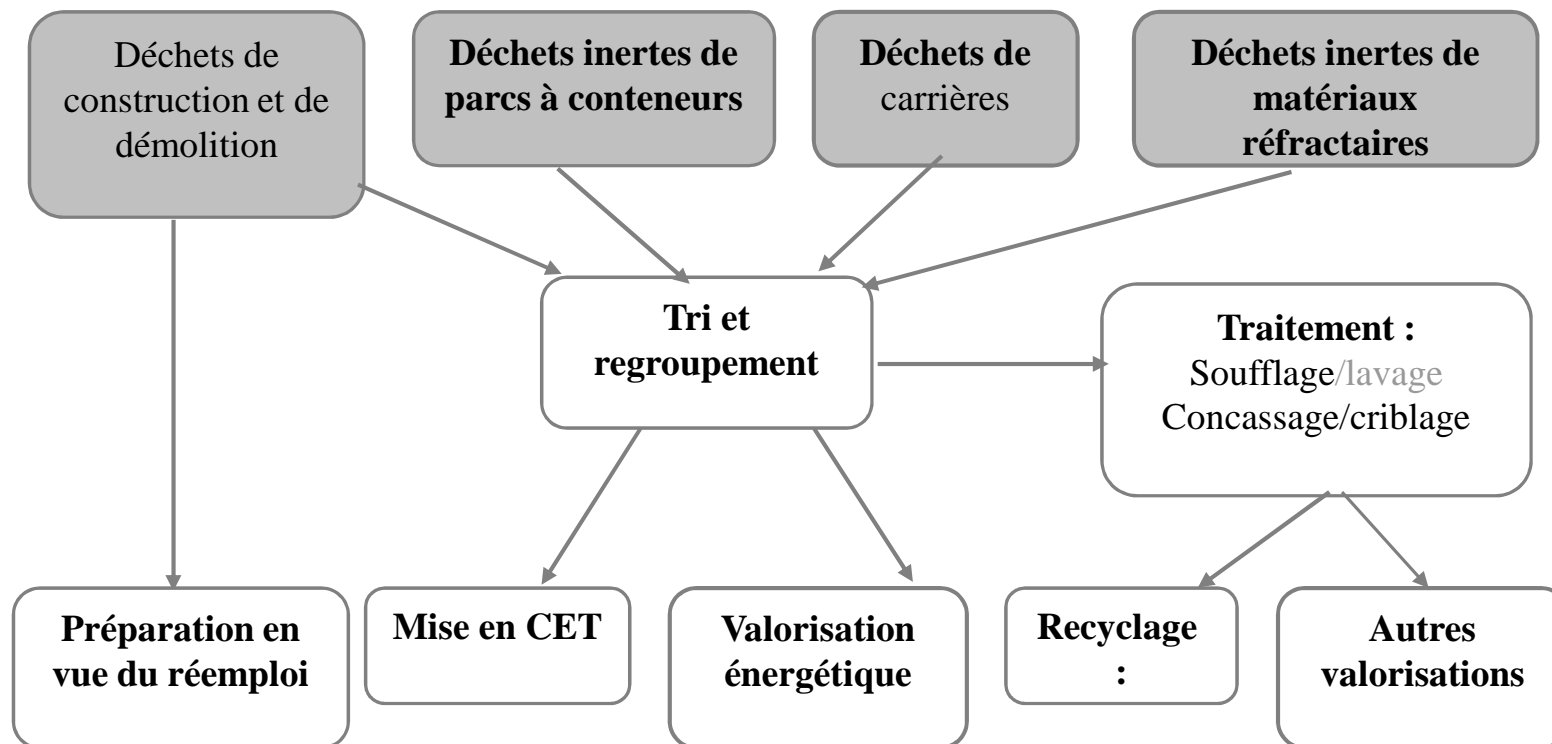


Figure * – Filière de traitement des déchets de construction et de démolition
Sources – PWD horizon 2010 p.213, actualisation ICEDD 2010

IMPACT ENVIRONNEMENTAUX

Il est important de connaître l'**impact environnemental** des déchets du **BTP** afin d'améliorer leur **stockage** et de déterminer les **filières** de valorisation les plus adaptées et les plus respectueuses de l'environnement.

Les **déchets inertes** ne posent pas de soucis pour l'environnement (sauf visuel) car ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement.

Les **DND** bien qu'évolutifs du fait de leur teneur en MO sont souvent stockés sans être protégés de la pluie. Ainsi le paramètre à prendre en compte est la **lixiviation des déchets** afin de ne pas polluer les eaux superficielles ou souterraines.

Dans le cas d'une production de lixiviats pouvant rejoindre ces eaux, des analyses, dont la fréquence est déterminée par la sensibilité du milieu récepteur, doivent être effectuées. Les concentrations maximales admissibles dans les percolats sont par exemple de 5,5 à 9 pour le pH, inférieures à 30° C pour la température, inférieures à 250 mg.L⁻¹ pour les sulfates, inférieures à 15 mg.L⁻¹ pour les métaux, inférieures à 10 mg.L⁻¹ pour les hydrocarbures