

La gestion de la fin de vie des bâtiments en France et dans le monde

Dans un monde où la croissance économique est liée à la production de biens et à leur consommation, les déchets sont devenus un indicateur pertinent de la vitalité économique. Cette idéologie a entraîné la production d'une quantité importante de déchets. Ainsi en France, en 2004, près de 850 millions de tonnes de déchets ont été produits dont la répartition est montrée sur la figure 1 :

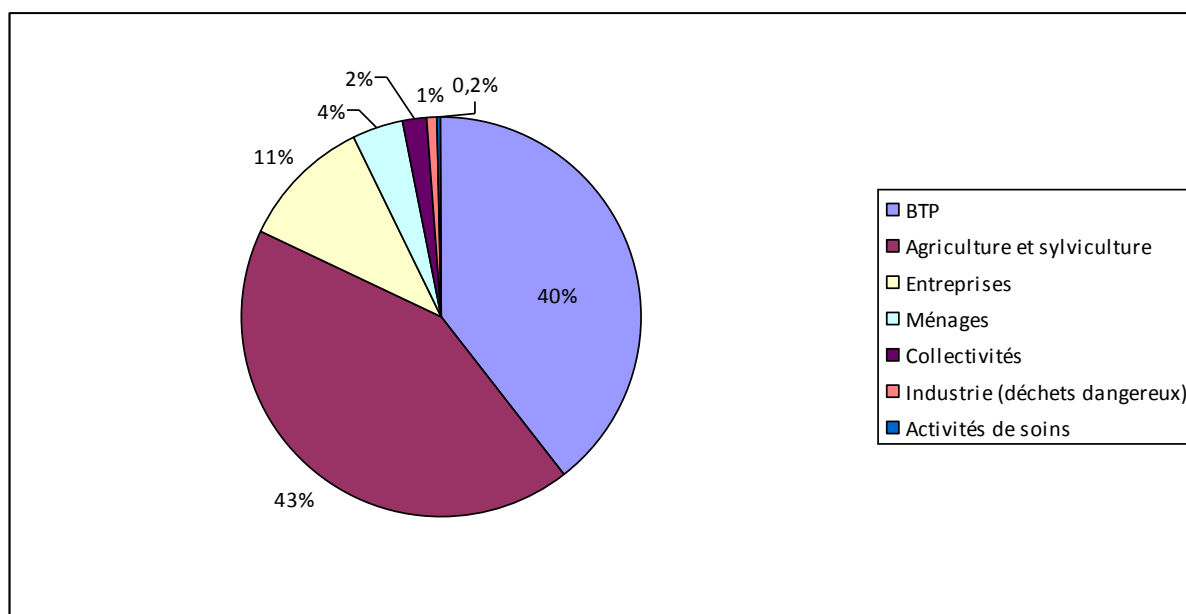


Figure 1: Répartition de la production des déchets en France en 2004 entre les différents secteurs de l'économie [ADEME, 2006]

Les activités agricoles et le BTP ont les contributions les plus importantes représentant à eux seuls 83% de la production de déchets en France. En 2010, 355 millions de tonnes de déchets ont été générées par les industries, les collectivités et les ménages. Une crise économique ou une évolution technologique dans le recyclage n'expliquent pas cette brusque diminution. D'ailleurs, en 2009, le tonnage des déchets était estimé à 770 millions de tonnes [ADEME, 2012]. En 2010, la sortie de statut de déchets a été légalement définie par la directive 2008/98/CE [UE, 2008] : les déchets qui étaient réutilisés sur site n'étaient plus considérés comme des déchets. Ainsi, le secteur agricole qui produisait 400 millions de tonnes de déchets en 2004 en produisait moins de 2 millions en 2012 [ADEME, 2014].

Le secteur du BTP quelle que soit la réglementation adoptée et la méthodologie choisie reste l'un des principaux contributeurs en termes de production de déchets. La démolition des bâtiments est particulièrement connectée à cette problématique de production et de gestion des déchets. Ce chapitre se propose de préciser le contexte sur les déchets en France et dans le monde et de mettre en parallèle cette thématique avec les différentes méthodes de démolition utilisées.

Le 26 mai 2015 le projet de loi à la transition énergétique pour la croissance verte a été voté par l'Assemblée Nationale. Elle a pour objectif de lutter contre le dérèglement climatique et réduire la facture énergétique de la France tout en permettant de lutter contre le chômage et créer des emplois liés au développement des énergies renouvelables et des nouvelles technologies. Cette transition se décompose en 8 titres :

- Titre 1 : il fixe les grandes lignes de ce plan qui doit voir se dessiner un modèle économique respectueux de l'environnement. Il se traduit par un développement sobre et efficace en énergie, respectueux de l'environnement et de la santé humaine. Dans le texte de loi, des objectifs chiffrés sont précisés : diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050, réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 (avec 2012 comme année de référence), réduire la consommation énergétique primaire des énergies fossiles de 30 % en 2030 (avec 2012 comme année de référence), porter la part d'énergies renouvelables à 32 % dans la consommation finale brute d'énergie en 2030, réduire la part du nucléaire dans le mix électrique à 50 % à l'horizon 2025 ;
- Titre 2 : il se concentre sur l'aspect énergétique des bâtiments. Avant 2025, tous les bâtiments privés résidentiels dont la consommation en énergie primaire est supérieure à 330 kWh par m² et par an doivent avoir fait l'objet d'une rénovation énergétique. De plus, toutes les nouvelles constructions de l'État et des différentes institutions publiques seront à énergie positive et à haute performance environnementale. Enfin, on peut constater la mise en place d'un carnet numérique permettant le suivi de l'entretien et des modifications progressives du bâtiment qui peut être utile en vue d'une déconstruction en fin de vie ;
- Titre 3 : il détaille le développement des transports propres. Le déploiement de véhicules peu polluants (objectif national de 2 litres aux 100 kilomètres), une utilisation accrue des transports en commun et des investissements pour soutenir le développement d'infrastructures de fret fluvial et ferroviaire en lieu et place du routier. L'État souhaite une augmentation du nombre de véhicules électriques ou utilisant des carburants alternatifs. Par exemple, les parcs de plus de 20 véhicules automobiles appartenant à l'État devront être constitués de 50 % de véhicules à faibles émissions. Il est également évoqué de réserver une voie sur les autoroutes et les routes nationales pour les véhicules propres, les transports en commun ou le covoiturage ;
- Titre 4 : il promeut la transition vers une économie circulaire avec la mise en avant de la prévention de la production de déchets par l'intermédiaire du réemploi, d'un allongement de la durée de vie et d'une consommation plus responsable. Cette priorité à la prévention est demandée pour les déchets ménagers (réduction de 10 %) ou dans le BTP (valorisation à hauteur de 70 % des déchets du secteur d'ici 2020). D'autres objectifs chiffrés sont donnés : réduire de 50 % les quantités de déchets non dangereux et non inertes admis en installations de stockage en 2025 par rapport à 2010, réduire de 50 % les quantités de produits manufacturés non recyclables mis sur le marché avant 2020. La loi évoque la possibilité de procéder à une réversibilité du stockage, c'est-à-dire valoriser les déchets qui ont été stockés ces dernières années. Enfin, ce titre met à l'amende l'obsolescence programmée et le gaspillage alimentaire ;
- Titre 5 : il favorise le développement des énergies renouvelables afin de diversifier la production et d'aller vers une indépendance énergétique de notre territoire ;
- Titre 6 : il évoque le renforcement de la sûreté nucléaire et de l'information des citoyens ;

- Titre 7 : il simplifie et clarifie les procédures pour gagner en efficacité et en compétitivité notamment sur les modes d'effacement au moment des grandes pointes de consommation énergétique ;
- Titre 8 : il établit le cadre pour donner aux citoyens, aux entreprises, aux territoires et à l'état le pouvoir d'agir ensemble. Ainsi, un plafond national pour les émissions de gaz à effet de serre appelé « Budget Carbone » est établi et fixé par décret tous les 5 ans. Il est réparti par secteur et par catégorie de gaz à effet de serre.

1.1 Les déchets du BTP en France

Quelle que soit la technique utilisée lors de la phase de démolition du bâtiment, des déchets seront générés qu'il faudra alors traiter. D'autant plus que le secteur de la construction contribue à plus de 70 % des déchets générés sur l'ensemble des secteurs d'activités [SOeS, 2013].

Cette section se propose de présenter les différentes natures de déchets puis de se focaliser sur la quantité de déchets produite par l'industrie de la construction et plus particulièrement par les chantiers de démolition.

1.1.1 La nature des déchets

Trois natures de déchets différents sont distinguées par la réglementation française dans l'article R541-8 [Code de l'Environnement, 2011] : les déchets inertes, les déchets non inertes et non dangereux et les déchets dangereux.

Les déchets inertes

Les déchets inertes sont définis comme des déchets « qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine ». D'après la directive européenne 1999/31/CE [UE, 1999], « la production totale de lixiviats et la teneur des déchets en polluants ainsi que l'écotoxicité des lixiviats doivent être négligeables et, en particulier, ne doivent pas porter atteinte à la qualité des eaux de surface et/ou des eaux souterraines » [UE, 1999]. On retrouve donc dans cette catégorie les bétons, les céramiques, les matériaux de terrassement ou les mélanges de matériaux inertes et non souillés.

Les déchets dangereux

Pour être qualifié de dangereux, un déchet doit posséder une ou plusieurs caractéristiques énumérées dans l'annexe III de la directive 91/689/CE modifiée par la directive du 19 novembre 2008 [UE, 1991 ; UE, 2008] comme par exemple la toxicité ou l'inflammabilité. On retrouve donc dans cette catégorie, les matériaux amiantés, les bois traités ainsi que les

vernis et les peintures au plomb. La dangerosité vis-à-vis de la santé humaine ou de l'environnement de ces matériaux ou éléments est reconnue obligeant les entrepreneurs à les séparer et les traiter avec précaution.

Les déchets non inertes et non dangereux

Cette dernière catégorie de déchets englobe les déchets qui n'entrent pas dans les deux premières [UE, 1999]. Ils sont communément appelés DIB (Déchets Industriels Banals) parmi lesquels on trouve le bois non traité, les métaux, les emballages...

Ces trois natures de déchets se retrouvent dans le secteur de la construction.

1.1.2 Les déchets du secteur de la construction

Le secteur du BTP génère entre 250 et 350 millions de tonnes de déchets par an. Cette fourchette de 100 millions de tonnes entre les différentes sources peut s'expliquer par les méthodes de calculs et d'estimations de ces chiffres. Ainsi, d'après les chiffres et statistiques fournis par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie [SOeS, 2013], sur les 355 millions de tonnes recensées en 2010, près de 260 millions de tonnes sont imputables à l'industrie de la construction. Le rapport final de l'ANR coffrage [BRGM, 2010] propose un chiffre aux alentours de 300-350 millions. En regardant les données transmises par l'INSEE, les participants à l'ANR (Agence nationale) de Recherche ont constaté une diminution de près de 30 % des déchets issus du secteur de la construction entre 2006 et 2008. Deux explications ont été mises en avant pour expliquer cette variation : d'une part un contexte économique défavorable induisant une diminution des activités du secteur et donc une génération moindre de déchets ; et d'autre part un changement dans la méthodologie de comptabilisation des déchets à partir de 2008. En effet, à partir de 2008 les déchets directement réutilisés sur les chantiers ne sont plus pris en compte dans l'évaluation du gisement. La contribution de ces déchets étant évaluée à presque 100 millions de tonnes, la variation entre les deux sources apparaît donc comme logique. En intégrant les erreurs dues à la complexité d'estimer la totalité des flux à l'échelle du territoire français (erreur de l'exploitant, difficulté à suivre l'ensemble des flux et déchets éliminés illégalement), la quantité de déchets produits se situe entre 250 et 350 millions de tonnes selon comment sont comptabilisés les déchets réutilisés directement sur le site de démolition (remblaiement des fondations par exemple).

Le secteur du BTP se divise en deux grands axes : le bâtiment qui regroupe les activités relatives aux bâtiments publics ou privés, industriels ou résidentiels tandis que les travaux publics englobent les activités traitant des infrastructures comme les ponts, les routes et les canalisations.

Les travaux publics génèrent près de 85 % de la quantité totale de déchets produits soit un peu plus de 215 millions de tonnes tandis que le bâtiment ne génère « que » 38 millions de tonnes de déchets selon les chiffres de 2008 [SOeS, 2008]. Le détail des données est présenté dans le tableau 1 :

Tableau 1: Quantité de déchets générés par le BTP selon la nature des déchets [SOeS, 2008]					
Secteur	Quantité totale de déchets (millions de tonnes)	Répartition suivant le type de déchets (en %)			Total
		Déchets inertes	Déchets non dangereux non inertes	Déchets dangereux	
Bâtiment	38,2	72,4	26,1	1,5	100
Gros œuvre	28,1	80,8	18,0	1,2	100
Second œuvre	10,1	49,0	48,6	2,4	100
Travaux Publics	216,3	97,6	1,5	0,9	100
Total	254,5	93,8	5,2	1,0	100

Ce travail de thèse s'intéresse aux bâtiments et plus particulièrement au secteur de la démolition.

1.1.3 Les déchets des chantiers de démolition

Dans le secteur des bâtiments, trois types de chantiers peuvent être distingués : les chantiers de démolition, de construction neuve et de réhabilitation.

Les chantiers de démolitions sont les sites les plus contributeurs d'un point de vue des déchets (65 %), suivis de la réhabilitation (28%) et de la construction neuve (7 %) comme le montre le tableau 2 :

Tableau 2: Contribution des différents chantiers du bâtiment dans la production des différents déchets [IFEN, 2007]										
Secteur	Quantité totale de déchets (en millions de tonnes)	Déchets inertes			Déchets non inertes et non dangereux			Déchets dangereux		
		Millions de tonnes	% du secteur	% de la catégorie de déchet	Millions de tonnes	% du secteur	% de la catégorie de déchet	Millions de tonnes	% du secteur	% de la catégorie de déchet
Bâtiment										
Démolition	31,2	29,2	93,6	72,1	1,8	5,8	31,6	0,2	0,6	11,8
Réhabilitation	13,5	8,6	63,7	21,2	3,5	25,9	61,4	1,4	10,4	82,4
Construction neuve	3,2	2,7	84,4	6,7	0,4	12,5	7	0,1	3,1	5,9
Total	47,9	40,5	84,6	100	5,7	11,9	100	1,7	3,5	100

En plus de montrer la répartition des quantités générées par les différents types de chantier, le tableau 2 précise la nature de ces déchets. Les chantiers de démolition ont ainsi produit principalement des déchets inertes (93,6 %). Les déchets dangereux et les déchets non inertes et non dangereux ne comptent respectivement que pour 0,6 % et 5,8 %.

Cette contribution majeure des déchets inertes apparaît comme une tendance relativement récente. En effet, la figure 2 tirée du rapport final de l'ANR coffrage [BRGM, 2010] montre une forte augmentation de la part des déchets inertes produits.

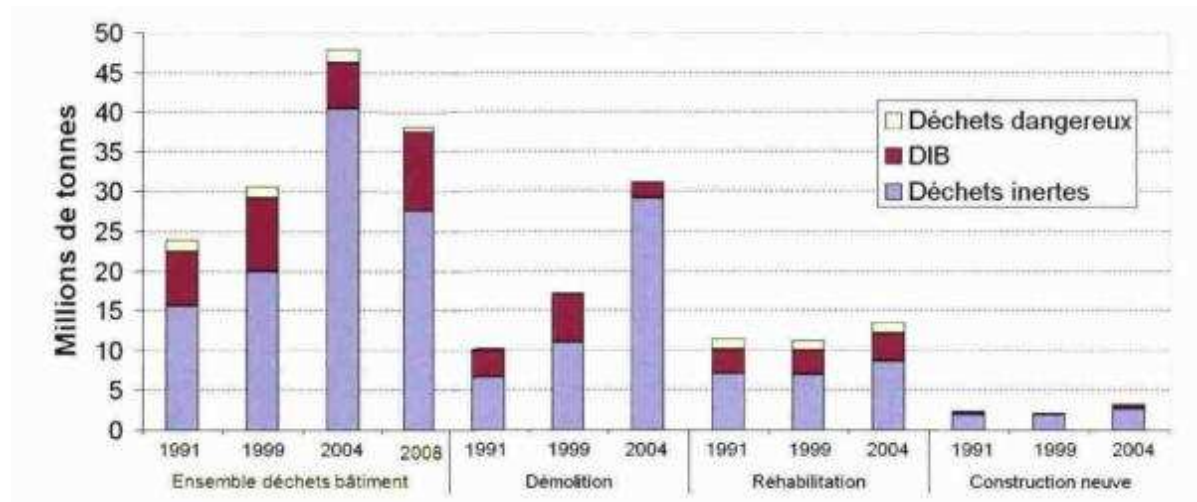


Figure 2: Évolution de la composition des déchets en fonction du type de chantier

D'une contribution d'environ 65 % en 1991, celle-ci est passée à près de 95 % en 2004. L'explication avancée par le rapport est l'évolution des techniques constructives qui ont privilégié des matériaux comme le béton.

Les chantiers de démolition génèrent des déchets qu'il faut alors gérer.

1.2 La gestion des déchets en France

Avant de spécifier vers quelle filière est orienté chacun des matériaux, revenons sur la hiérarchisation des différentes fins de vie possibles.

1.2.1 Cadre réglementaire

Le terme déchet est défini dans la directive européenne 2008/98/CE comme « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire » [UE, 2008]. Cette directive préconise également une hiérarchie de gestion des déchets ainsi que leurs définitions. Celle-ci a été transposée dans la loi française dans le Code de l'Environnement dans l'article L 541-1 [Code de l'Environnement, 2010].

La hiérarchie imposée aux différents états membres est la suivante par ordre de priorité décroissante :

- La prévention : les mesures prises avant qu'une substance, une matière ou un produit ne devienne un déchet ;
- La préparation en vue de réemploi : toute opération de contrôle, de nettoyage ou de réparation en vue de la valorisation, par laquelle des produits ou des composants de

produits qui sont devenus des déchets sont préparés de manière à être réutilisés sans autre opération de prétraitement ;

- Le recyclage : toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclut le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage ;
- Autre valorisation, notamment énergétique : toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en remplaçant d'autres matières qui auraient été utilisées à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, dans l'usine ou dans l'ensemble de l'économie ;
- L'élimination : toute opération qui n'est pas de la valorisation même lorsque ladite opération a comme conséquence secondaire la récupération de substances ou d'énergie.

La législation française a réalisé quelques modifications dans l'article L 541-1 : le terme de réutilisation a été substitué par celui de réemploi et le terme réemploi y est défini comme « toute opération par laquelle des produits ou des composants qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus » [Code de l'environnement, 2010].

Ainsi, le réemploi d'un matériau ou d'un élément implique que ceux-ci ne soient pas des déchets. Pour qu'un produit de la démolition devienne un déchet au regard de la loi comme défini dans la circulaire du 24 décembre 2010 [MEDDE, 2010], il doit sortir du périmètre spatial du chantier de démolition où il a été généré. Dans le cadre de cette thèse, le vocabulaire recommandé par la loi Française sera employé.

Ainsi, le changement de méthodologie pour le comptage des déchets issus de la construction semble cohérent avec les définitions fournies par la réglementation française. En effet, les matériaux inertes concassés et réemployés dans les fondations, s'ils restent dans l'enceinte du site de démolition ne doivent pas être considérés comme des déchets. Ils ne doivent donc pas être comptabilisés comme des déchets produits par l'industrie du bâtiment.

1.2.2 Le diagnostic déchet

Des textes spécifiques aux déchets des chantiers du bâtiment et des travaux publics ont vu le jour. D'abord, dans le cadre de Grenelle I, 268 engagements ont été proposés dans des domaines variés (l'urbanisme, le transport ou l'énergie) pour répondre à l'urgence écologique. Parmi les différentes propositions, l'une concernait les chantiers du BTP et proposait par l'intermédiaire de l'article 46 : « une obligation de mettre en place des plans de gestion des déchets issus des chantiers des bâtiments et des travaux publics et d'effectuer un diagnostic préalable aux chantiers de démolition » [Grenelle I, 2009]. Cette mesure a été complétée et plus clairement définie par la loi n° 2010 – 788 [Grenelle II, 2010]. Cette loi a modifié le code de la construction et de l'habitation pour prendre en compte « la production de déchets liée à l'édification, l'entretien, la réhabilitation et la démolition » des bâtiments. Ainsi, l'article L. 111-10-4 a été inséré : « 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 ».

Un décret relatif au diagnostic portant sur la gestion des déchets issus de la démolition de catégories de bâtiments [Décret n°2011-610, 2011] a été adopté un an plus tard explicitant les modalités d'un diagnostic déchets préalable à toute démolition ou réhabilitation lourde. Ce diagnostic devra être réalisé sur des bâtiments possédant une surface hors œuvre brute supérieure à 1 000 m² ou ayant accueilli une activité agricole, industrielle ou commerciale et ayant été le siège d'une utilisation, d'un stockage, d'une fabrication ou d'une distribution d'une ou plusieurs substances dangereuses classées. Il devra notamment fournir la nature, la quantité et la localisation des matériaux constitutifs du bâtiment, les déchets résiduels laissés par les occupants ainsi que les possibilités de réemploi des matériaux et des indications sur les filières de gestion des déchets de démolition.

La réutilisation, le recyclage, la valorisation et la mise en décharge sont tout autant de filières possibles pour les différents flux de matériaux. Détaillons maintenant chacune de ces possibilités pour les déchets du bâtiment.

1.3.3 Le projet ASURET

Le projet ASURET (Analyse Systémique de l'Utilisation de Ressources renouvelables de la Technosphère) a débuté en mars 2010 pour une durée de 3 ans. Il a été conduit par un consortium associant le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), la division POLDEN d'INSALAVOR (INSA Lyon), l'UTT CREIDD (Centre d'études et de REcherches Interdisciplinaires sur le Développement Durable de l'institut Charles Delaunay de l'Université de Troyes), la SEM (Société d'Économie Mixte), 13 Développement et le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).

Ce projet est parti du constat que la demande croissante en matériaux nécessaires au développement de notre société est assurée par une extraction toujours plus importante de ressources non renouvelables. Ces flux sont ensuite transformés, accumulés dans la technosphère puis rejetés en grande partie vers l'extérieur sous forme de déchets. L'objectif de ce projet était donc d'« optimiser l'utilisation des flux de matières mobilisées par les activités de construction et d'aménagement au sein de deux territoires ». Ces deux territoires étaient l'agglomération d'Orléans et un programme de construction/réhabilitation mené dans les Bouches du Rhône.

Ainsi, plusieurs tâches ont été simultanément menées par les différents acteurs :

- Tâche 1 – Revue de l'existant : rappel du contexte général et données générales sur les flux de matériaux de construction, les déchets issus des chantiers du BTP, leurs traitements, l'évolution des techniques constructives et déconstructives notamment ;
- Tâche 2 : modélisation du secteur du BTP au sein de l'économie française pour évaluer les effets d'une évolution vers des pratiques plus durables ;

- Tâche 3 : analyse des besoins et des marchés pour le recyclage, voies possibles de valorisation pour les matières premières secondaires issues de la déconstruction et analyse des performances environnementales des procédés associés à la valorisation des MPS ;
- Tâche 4 : composée de 4 parties qui traitent respectivement des facteurs spatiaux et temporels d'une gestion territoriale des flux du BTP, d'une analyse de flux de matière à l'échelle de l'ouvrage et du territoire, de l'approvisionnement en matériaux de construction à l'échelle départementale et régionale et enfin la mise en place d'une méthode innovante de concertation entre les différents acteurs.

Le projet ASURET a été sommairement présenté étant donné qu'il représente une des plus larges études menées ces dernières années sur les flux de matériaux et déchets du BTP et que certaines données fournies par ce manuscrit sont directement tirées des résultats des tâches du projet ASURET.

1.3.4 Les filières de gestion des déchets

Cette partie présente les voies de valorisation possible des matériaux récupérés à l'issue des chantiers de démolition localisés sur le territoire français. D'ici 2020, un minimum de 70 % des déchets du bâtiment doivent rentrer dans des filières de réemploi, de recyclage ou de valorisation matière [UE, 2008]. Il est donc important de connaître pour chaque type de matériau, les différentes solutions possibles pour les gérer.

Les déchets inertes

Traditionnellement, les inertes sont envoyés dans des Installations de Stockage des Déchets Inertes (ISDI anciennement appelée décharge de classe 3). Le nombre de ces installations est difficile à estimer malgré le fait qu'elle requiert une autorisation préfectorale. En 2011, le Ministère de l'Écologie aurait reconnu l'existence de 1 300 lieux de stockage dont seulement 557 étaient légaux [Van Kote, 2012].

Dans un contexte de développement durable et d'une réglementation de plus en plus restrictive sur les décharges ou sur les taux minimums de matériaux à valoriser, les déchets de béton sont maintenant transformés en granulats dits recyclés opposés aux granulats naturels. Ils sont obtenus par concassage/broyage que ce soit sur une installation fixe (sur une plate-forme de tri ou de recyclage par exemple) ou directement sur les chantiers à l'aide d'un concasseur mobile. Cette granulation du matériau est l'occasion de séparer les armatures du béton armé.

Les débouchés pour l'emploi de ces granulats recyclés se situent principalement au niveau des sous-couches routières et comme granulats pour béton même si cette dernière possibilité reste marginale et reste l'objet de nombreuses études. Ces deux utilisations permettent de diminuer la pression sur les décharges ainsi que la consommation en granulats naturels.

Les métaux

La filière de recyclage des métaux récupérés sur les chantiers (acier, aluminium, zinc, cuivre...) est bien implantée. Ces éléments proviennent principalement des armatures du béton, des canalisations et des charpentes métalliques qui sont alors refondus par des ferrailleurs.

Le bois

Une distinction est à réaliser entre le bois non traité (déchet non dangereux) et le bois traité (déchet dangereux).

Dans le cas du bois non traité, plusieurs secteurs d'activités sont potentiellement intéressés par les déchets du bois [ASURET, 2010] :

- L'agriculture et les espaces verts : après avoir subi un broyage et un compostage, ils peuvent être valorisés en tant que compost agricole ou en paillage d'espaces verts ;
- La papeterie ;
- La fabrication de charbon de bois ;
- La valorisation énergétique dans des incinérateurs ou dans les cimenteries ;
- Panneaux de particules.

La classification du bois traité dépendra de la nature et de la teneur des adjuvants qui le composent. Les déchets de bois faiblement adjuvantés sont considérées comme non dangereux et peuvent subir une valorisation matière ou énergétique. Au contraire, les déchets de bois fortement adjuvantés comme le bois créosoté ou couvert de CCA (Cuivre Chrome Arsenic) sont classés comme dangereux et doivent être envoyés dans des ISDD (anciennement appelées décharge de classe 1) ou dans des filières de traitement ou d'élimination des déchets dangereux. Ainsi, il est possible de le traiter afin d'enlever les couches de vernis ou de peintures. Le produit ainsi obtenu revient alors à du bois non traité.

Les traitements appliqués au bois lors de son cycle de vie peuvent être difficiles à identifier. Dans ce cas, le principe de précaution est institué et le déchet est considéré comme du bois traité.

Les laines minérales

La société ISOVER, par exemple, déclare leur produit recyclable sans plus d'explications [ASURET, 2010]. Cependant, les laines minérales finissent leur cycle de vie dans l'une des 250 Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND anciennement décharge de classe 2) réparties sur le territoire français [ASURET, 2010].

Les plastiques

Les principaux plastiques présents sur les chantiers de démolition sont le PVC, le PE et le PSE. En tant que thermoplastiques, ils peuvent être recyclés. Il existe notamment une filière exclusivement dédiée au PVC organisée par la société PVC-Recyclage. Pour le PVC et le PE, des usines de recyclage sont implantées dans de nombreux pays Européens [ASURET, 2010]. Le problème du recyclage des plastiques est moins d'ordre technologique qu'économique. En effet, les matériaux plastiques sont présents en faible taux dans les déchets de chantier : le PVC représente ainsi seulement 0,3 % en masse entraînant un coût important du transport [ASURET, 2010]. D'autres barrières peuvent être également mentionnées : la contamination par d'autres polluants et l'identification de la nature du plastique utilisé [CIB, 2005].

Quant au reste des plastiques et notamment les thermodurcissables qui ne peuvent être refondus comme les thermoplastiques, ils sont enfouis dans une ISDND.

Le verre

Les fenêtres sont la principale source de déchets verriers dans les chantiers de démolition. De par leur nature complexe, avec l'ajout d'additifs chimiques et de revêtements, le recyclage devient contraignant et le verre est envoyé dans les ISDI.

La brique

Pour éviter d'enfouir les briques et les céramiques dans les décharges, plusieurs voies de recyclage et de valorisation ont été répertoriées : comme remblai, sous forme de granulats pour la fabrication de béton, de mortier ou de brique, sous forme de sable pour les terrains de tennis et enfin comme substrat pour les plantes [ASURET, 2010].

Le potentiel de réutilisation des briques va dépendre de l'année de construction et plus précisément du liant servant à maintenir la structure en brique. Le mortier à base de chaux permet une séparation facile préservant la qualité de la brique. Au fur et à mesure, ce mortier a laissé la place à un mortier à base de ciment Portland. Celui-ci est plus fort mais lorsqu'il s'agit de récupérer les briques, il induit la rupture de celles-ci rendant impossible tout nouvel usage. Les briques sont alors placées en décharge [CIB, 2005].

Le plâtre

Contrairement aux déchets de plâtre de la construction qui sont recyclés, les déchets de plâtre issus de la démolition finissent régulièrement dans les installations de stockage. La société BPB Placo a la capacité de recycler le plâtre. Cependant, lorsque le plâtre est lié à un support autre que le carton, la filière ne peut pas prendre en charge ces éléments. Les déchets de plâtre posent des problèmes environnementaux notamment en raison du relargage de sulfate et des émissions de sulfure d'hydrogène qui nécessiteraient un stockage spécifique dans des alvéoles d'une installation de stockage des déchets non dangereux. Toutefois, la réglementation reste floue et autorise une « faible quantité » de plâtre dans les déchets inertes. Cette absence de seuil laisse ainsi la liberté de placer ces déchets dans des ISDI ou ISDND [ASURET, 2010].

Papiers et cartons

Si les déchets de papiers et de cartons sont convenablement séparés, ils peuvent être intégrés et recyclés dans leur procédé de production [ASURET, 2010].

Amiante

Les déchets d'amiante peuvent être séparés en deux catégories : les déchets d'amiante lié du type amiante ciment et les déchets d'amiante friable. Les premiers demandent une alvéole spécifique qui peut se situer sur une décharge de déchets inertes ou non dangereux tandis que les seconds sont vitrifiés et valorisés en techniques routières ou bien enfouis dans une ISDD [ASURET, 2010].

La qualité de ces déchets et de leur tri dépendra de la technique de démolition utilisée. Le processus de démolition ainsi que les différentes techniques sont maintenant présentés.

1.3 Les techniques de démolition

Le processus de démolition – reconstruction est, avec la réhabilitation, un élément essentiel du renouvellement urbain et de la mutation des paysages. Plusieurs justifications afin de procéder à une démolition peuvent être avancées [MTETM, 2006] :

- La démolition comme outil patrimonial : ici s'affiche la volonté de renouveler un bien ayant atteint la fin de sa phase d'utilisation et est devenu non attractif. Par exemple, un bailleur social qui souhaite renouveler une partie de son parc immobilier. Cette justification est également valable pour les bâtiments ne respectant plus les nouvelles réglementations notamment les dernières réglementations thermiques et qui ne seront pas réhabilités ;
- La démolition comme outil d'aménagement urbain : des démolitions ciblées deviennent des vecteurs d'une réorganisation spatiale en implantant de nouvelles installations par exemple ;
- La démolition comme outil de lutte contre l'étalement urbain : les espaces libres à la construction urbaine ne sont pas infinis. Les démolitions, ainsi que les reconstructions qui s'ensuivent, permettent une valorisation de l'espace et privilégient une certaine densification des habitants et des activités.

Le procédé de démolition peut ainsi s'appliquer à des bâtiments anciens ou relativement neufs, isolés ou groupés, résidentiels ou industriels... impliquant une grande variabilité dans les matériaux les constituant, dans les déchets en résultant ou bien encore dans le cadre législatif les réglementant.

Dans cette section, les différentes techniques de démolition seront référencées. Parmi ces méthodes, on distingue cinq grandes familles [Phillip, 2006 ; SETRA, 2014] qui seront succinctement présentées :

- Les procédés mécaniques ;
- Les procédés utilisant l'onde de choc ou les explosifs ;
- Les procédés thermiques ;
- La découpe au jet d'eau à haute pression ;
- La démolition manuelle.

Ces cinq familles regroupent à la fois les techniques permettant d'abattre une structure entière et celles utilisées pour une démolition partielle.

1.3.1 Les procédés mécaniques

Dans cette première famille, on retrouve 4 catégories :

- Les méthodes de percussions et vibrations ;
- La traction par câbles ;
- Les procédés de découpage par perçage ou sciage avec des outils diamantés ;
- Les procédés fondés sur la dislocation.

Les méthodes de percussions et vibrations

On peut utiliser du matériel léger (marteaux piqueurs et marteaux foreurs) ou du matériel lourd (le brise roche hydraulique (BRH) ou la cisaille hydraulique, boulet...).

Ces outils (BRH, pince à béton...) sont montés sur les bras articulés des pelleteuses.

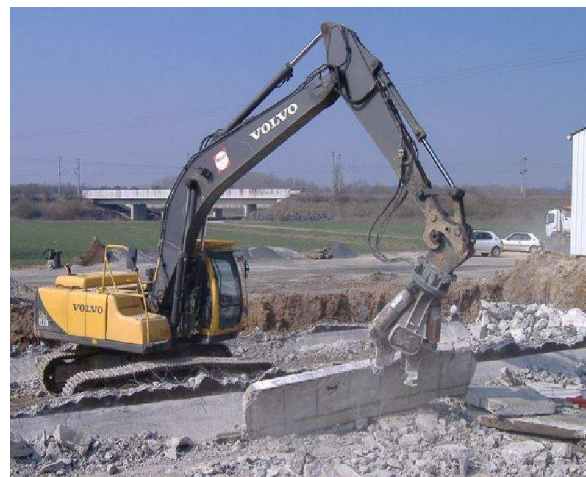
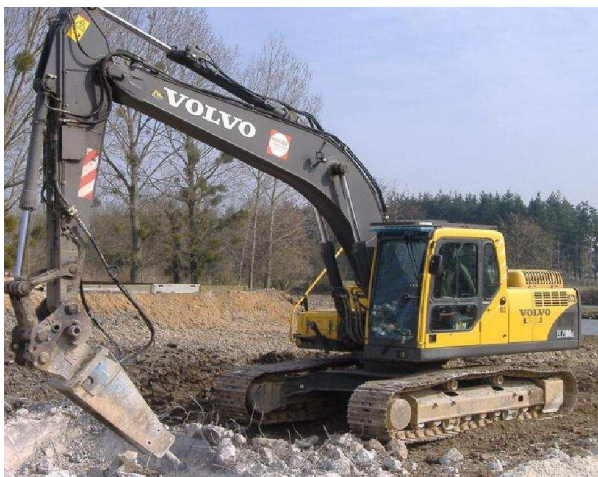


Illustration 1 : La démolition mécanique (BRH à gauche et pince à béton à droite),
<http://www.miniertp.fr/>

La méthode au boulet demande un espace de dégagement suffisant et provoque de la poussière et des vibrations par les chocs.



Illustration 2 : Démolition au boulet de démolition, <http://technique-tp.leforum.eu/>

Les caractéristiques de ces méthodes sont données dans le tableau 3 :

Tableau 3 : Caractéristiques des méthodes de percussions et de vibrations	
Avantages	Inconvénients
Rapides. Économiques.	Vibrations. Poussières. Bruits.

Le guide du SETRA (Service d'études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements) mentionne également l'existence de robots électriques dont la manipulation à distance permet de travailler en toute sécurité et de diminuer la pénibilité de travail pour l'ouvrier.

Par traction de câble

Des câbles sont attachés entre un bulldozer et la structure à abattre.

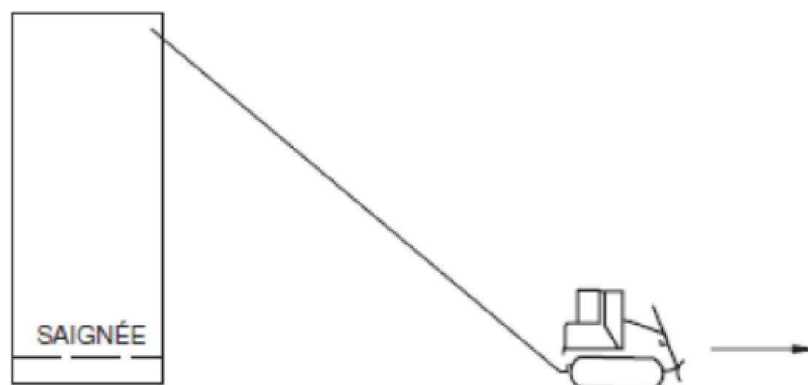


Illustration 3 : Démolition par traction de câble

L'engin tire et abat la structure. Il est possible d'affaiblir la structure par des saignées afin de faciliter son abattage.

Les caractéristiques de cette méthode sont récapitulées dans le tableau 4 :

Tableau 4 : Caractéristiques de la traction par câble	
Avantages	Inconvénients
Pas de vibrations. Rapides et économiques.	Nécessité d'avoir un espace dégagé. Nombreux risques : rupture de câble, ruine prématurée, pivotement de l'ouvrage.

Procédés de découpage avec des outils diamantés

Cette famille regroupe les techniques par perçage (du simple foret à la couronne de forage) et par sciage avec des diamètres de 20 à 120 cm. Ces deux techniques permettent respectivement de découper des murs d'épaisseur de 5 à 65 cm et de 5 à 40 cm.



Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau 5 :

Tableau 5 : Caractéristiques des outils diamantés	
Avantages	Inconvénients
Précision du travail. Absence de chocs et de vibrations. Sécurité de mise en œuvre.	Coût élevé du matériel. Nécessité d'employer du personnel expérimenté. Niveau sonore élevé. Évacuation de l'eau de refroidissement dans les bâtiments partiellement occupés augmente fortement le coût.

Cette méthode est utilisée pour des démolitions secondaires, c'est-à-dire pour délimiter la zone à abattre ou fragiliser la structure en enlevant certains éléments.

Procédés fondés sur la dislocation

Le principe est d'éclater le matériau en introduisant de fortes contraintes de traction à l'aide d'un ou plusieurs pistons. S'ensuivent alors une rupture et une fissuration plus ou moins contrôlées.



Illustration 5 : Procédé de démolition par dislocation, <http://www.tst67.fr/>

Les deux principales techniques sont le Roc Jack et le Darda dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Caractéristiques des procédés de dislocation	
Avantages	Inconvénients
Rapidité et économie. Bonne maniabilité. Suppression des nuisances sonores et de poussière.	Grande précision exigée. Utilisation presque impossible dans le béton armé.

Ces techniques sont intéressantes pour réaliser des démolitions partielles et non l'abattage entier de la structure.

1.3.2 Les procédés utilisant l'onde de choc ou les explosifs

On distingue deux types d'explosifs :

- Les explosifs déflagrants : ce sont des explosifs nitrés dont les effets de déflagration sont assimilés à une poussée ;
- Les explosifs détonants : ce sont des explosifs nitrés dont les effets de déflagration sont assimilables à un choc.

Les caractéristiques des procédés à l'explosif sont montrées dans le tableau 7 :

Tableau 7 : Caractéristiques des opérations à l'explosif	
Avantages	Inconvénients
Rapidité et économie. Efficacité.	Émission de poussière. Projections de matériaux. Nuisances vibratoires. Mesures de sécurité importantes.

La destruction par explosifs implique la mise en place d'un périmètre de sécurité de 200 mètres à partir du bâtiment à détruire.

1.3.3 Les procédés thermiques

D'abord utilisées pour la découpe des ferrailles, ces techniques se sont étendues au béton.

Découpe à l'aide de chalumeaux oxyacétyléniques

Le chalumeau utilise un mélange d'oxygène et d'acétylène. Il est adapté à la découpe d'éléments métalliques et aux armatures de béton armé. Cette méthode est la plus répandue sur les chantiers de démolition.

Découpe au moyen de chalumeaux à poudre

On introduit un mélange de fer et d'aluminium sous forme de fines particules dans un flux d'oxygène qui vient alors brûler en augmentant la température ce qui permet la découpe de structures métalliques ou en béton qu'il soit armé ou non.

Forage thermique à oxygène

De l'oxygène est injecté qui, combiné à l'action de gaz et de métal, permet de démolir le béton.

Les caractéristiques des procédés thermiques sont décrites dans le tableau 8 :

Tableau 8 : Caractéristiques des procédés thermiques	
Avantages	Inconvénients
Découpe efficace du béton armé et du béton précontraint. Procédé silencieux. Facilité d'utilisation.	Émissions de fumées et projections. Coût important.

1.3.4 La découpe au jet d'eau à haute pression

Le principe est de projeter de l'eau à grande vitesse pour enlever le béton par arrachement. Cette technique précise permet de conserver l'intégrité du support et des armatures. L'ajout d'un adjuvant abrasif facilite le travail.



Illustration 6 : Démolition par jet d'eau à haute pression (hydrodémolition),
<http://www.buxtons-water.co.uk/>

Les caractéristiques de cette technique sont données dans le tableau 9 :

Tableau 9 : Caractéristiques de l'hydrodémolition	
Avantages	Inconvénients
Absence de dégagement toxique. Matière peu déformée et intégrité de la structure armée.	Risques liés à l'utilisation de l'eau comme le risque électrique. Pollution de l'eau par les alcalins du béton.

L'usage de l'hydrodémolition est plus répandu pour les réparations de surface que la démolition.

1.3.5 La démolition manuelle

Cette dernière famille est mentionnée par deux sources [Milleron, 2009; SETRA, 2014].

Elle regroupe deux techniques : le dérasement et le sapement. La première consiste à démolir la construction de haut en bas en évacuant au fur et à mesure les produits de démolition. Le sapement, quant à lui, a pour objectif de démolir un ouvrage en réalisant une saignée. Des cales et des étais sont progressivement installés pour consolider la structure. Lorsque la saignée est terminée, les cales sont détruites ou enlevées. Le sapement est plutôt réservé à des ouvrages hauts et étroits comme les cheminées.



Illustration 7 : Démolition manuelle par dérasement, <http://www.sned.fr>

Les caractéristiques de la démolition manuelle sont montrées dans le tableau 10 :

Tableau 10 : Caractéristiques de la démolition manuelle	
Avantages	Inconvénients
Créatrice d'emplois.	Dangereux. Main d'œuvre qualifiée. Lent.

Le tableau 11 récapitule les grandes caractéristiques de chacune des méthodes :

Tableau 11 : Critères de décision selon le type d'ouvrages et les caractéristiques des différentes techniques de démolition [ASURET, 2010]														
Technique	Type d'ouvrages							Caractéristiques						
	Ossature acier	Ossature béton armé	Ossature bois	Dalle ou paroi de forte épaisseur	Dalle ou paroi de faible épaisseur	Ouvrages massifs en béton armé	Immeuble de grande hauteur	Précision	Sécurité	Nuisances	Qualification	Durée	Coût	Coût global estimé
Déconstruction manuelle	++	+	+++	+	++	+	+	+++	++	+	++	+++	++	+
Mécanique (par découpage)	+	+++	+	+++	+++	+++	+	+++	+++	++	+++	++	++	++
Autres mécaniques	+	+	+++	++	+++	+	+	+	++	+++	+	+	+	+++
Explosifs et détonations de gaz	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+++	+++	+	++	+++
Thermique	++	+++	+	++	+++	+	++	+++	+++	++	+++	++	++	++

Le tableau 11 présente des critères de décisions pour choisir la meilleure technique selon le type d'ouvrage à abattre et les caractéristiques de la méthode. Le nombre de signes « + » indique la pertinence du choix de la technique selon le type d'ouvrages considéré ainsi que l'importance de la caractéristique au sein d'une technique. Par exemple, la déconstruction manuelle est recommandée pour une ossature bois car sa précision est grande donc le tri des déchets est plus facile mais l'inconvénient est sa longue durée.

La déconstruction manuelle n'est pas recommandée pour les ouvrages en béton ou de grande hauteur car insuffisamment efficace. Elle est bien plus adaptée à des bâtiments en ossature bois. Son coût global (en intégrant son coût ainsi que la gestion des déchets) est généralement faible dû à une meilleure valorisation économique des déchets récupérés. Les nuisances sont également relativement faibles de par l'utilisation d'outils manuels généralement à moindres nuisances (pied de biche, masses mais on utilise également des marteaux piqueurs).

La démolition mécanique par découpage à l'aide d'outils diamantés est efficace pour les éléments en béton armé même si pour des immeubles de grande hauteur elle n'est pas assez rapide. Cette technologie haut de gamme a un prix élevé et demande une qualification importante mais compense avec une grande précision et un risque minimal dans son application.

Les autres types de démolition mécanique (BRH, cisaille, traction par câble...) ne semblent pas adaptés aux ossatures béton et aux immeubles de grande taille ce qui paraît contradictoire avec les études de cas de l'ADEME ou les pratiques actuelles. Il est possible qu'elle soit en réalité inadaptée mais que leur durée et leur coût faible compensent ce désavantage.

Les démolitions à l'explosif sont efficaces indépendamment de l'ossature du bâtiment ou des matériaux le composant. La rapidité, l'efficacité et le coût de cette méthode sont ses atouts majeurs. Cependant, elle impose des contraintes comme la mise en place d'un périmètre de sécurité de 200 mètres autour de la structure à abattre et un savoir faire important pour maîtriser l'ensemble des paramètres (résistance des matériaux, type de foudroyage...).

Enfin, les techniques thermiques sont préconisées pour des démolitions partielles que ce soit pour des bâtiments en ossature béton armé ou acier de par leur grande précision et une prise de risque minimale.

Chacune de ces méthodes possède ses avantages et ses inconvénients et c'est en fonction de ses caractéristiques et des contraintes liées au site à démolir que la méthode de démolition sera choisie. En effet, chaque chantier possède une combinaison de paramètres qui vont affecter la prise de décision de la ou des techniques de démolition à utiliser [CIB, 2005]. Parmi ces paramètres, on peut citer :

- Les spécificités de l'édifice : les techniques de construction, les matériaux, sa taille, son utilisation (un site industriel contaminé ne sera pas traité de la même façon qu'une résidence) ;
- La localisation du site : espaces de stockage, facilité d'accès, niveau de nuisance possible ;
- La sécurité : celle des opérateurs ou du public ;
- Le temps et le coût ;
- L'objectif et la culture du maître d'ouvrage et de l'entreprise chargée de la démolition : la volonté des différents partis à récupérer des matériaux en bonne qualité et donc potentiellement valorisables.

Les différentes méthodes répertoriées peuvent se classer dans deux catégories : celles utilisées pour l'abattage des structures et celles privilégiées pour les démolitions partielles que l'on pourrait qualifier de technique d'appoint ou complémentaire.

Ainsi, après avoir réalisé le curage (dépose des éléments non structurels), la démolition totale des parties structurelles est majoritairement réalisée par la démolition mécanique à l'aide d'engins de chantier ou la démolition à l'explosif. Il n'existe pas, à notre connaissance de statistiques permettant de connaître la répartition dans l'utilisation de chacune de ces familles de techniques. Les démolitions à l'explosif sont potentiellement rapides, efficaces et économes. Cependant, elles sont également contraignantes : elles demandent la mise en place d'un périmètre de sécurité de 200 m rendant son utilisation, dans un milieu fortement urbanisé, difficile. Le choix entre ces deux techniques reposera également sur le savoir faire de l'entreprise chargée de la démolition : une démolition à l'explosif demande plus de connaissances et d'expériences qu'une démolition mécanique. Celle-ci se caractérise notamment par une large palette quant au choix de la machine à utiliser : l'éventail des possibilités s'étend d'un équipement léger (le marteau-piqueur) à des équipements lourds (brise-roche hydraulique, cisaille...). Le boulet a été également mentionné mais il semblerait que son utilisation est aujourd'hui obsolète à cause de l'espace requis, de son instabilité et de son imprécision. Le boulet reflète plus la vision dans l'imaginaire collectif de la démolition : une technique rudimentaire et brutale.

Enfin, la technique de traction par câble peut également servir pour l'abattage des structures mais semble réservée pour des ouvrages hauts et étroits telles que des cheminées pour des sites ne possédant pas de contraintes spatiales.

Lors de cette recherche bibliographique, aucun lien évident n'est apparu entre les typologies de bâtiment et les techniques utilisées. Il n'existe pas, à notre connaissance, de démolition de structure métallique à l'aide d'explosifs où l'on privilégie davantage la démolition