

Document public

Projet ANR ASURET Analyse de flux de matière du secteur de la construction à l'échelle de l'ouvrage et du territoire (tâche 4.2)

Rapport final

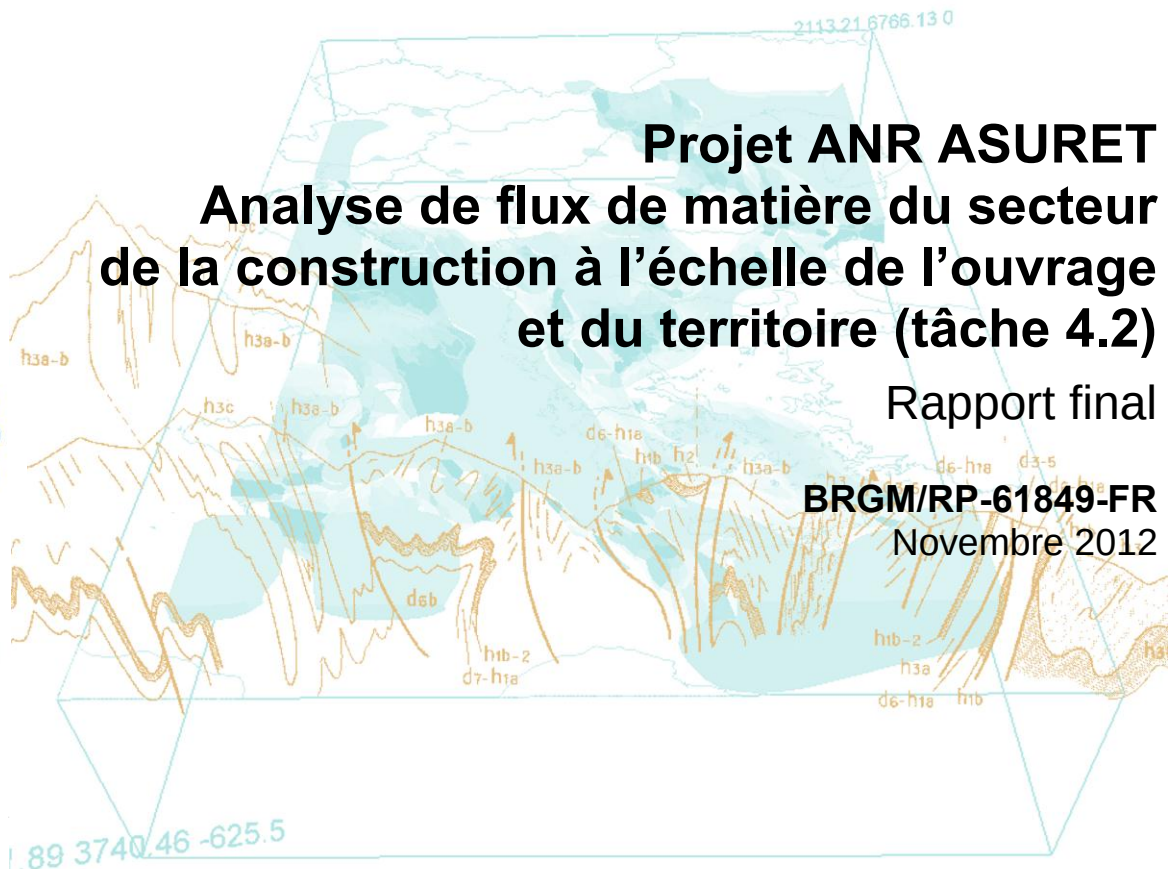
BRGM/RP-61849-FR

Novembre 2012

CSTB
le futur en construction

INSA
URLOR
Division **POLDEN**

utt
université de technologie
Troyes
Institut Charles Delaunay



13 Développement



**CONSEIL
GENERAL**
BOUCHES-DU-RHÔNE
cg13.fr



Géosciences pour une Terre durable
brgm

Projet ANR ASURET

Analyse de flux de matière du secteur de la construction à l'échelle de l'ouvrage et du territoire (tâche 4.2)

Rapport final

BRGM/RP-61849-FR

Novembre 2012

Étude réalisée dans le cadre de l'appel à projet « ECOTECH »
2009 de l'ANR avec le soutien de la ville d'ORLÉANS et du
Conseil général des BOUCHES-DU-RHÔNE

Sous la coordination de L. Rouvreau

Pascale Michel, Maud Serrand, Daniel Montfort Climent (BRGM)

E. Jayr (CSTB)

Pierre Emmanuel Papinot (13 Développement)



Vérificateur :

Nom : Philippe Wavrer

Date : 20/12/2012 Signature :

Approbateur :

Nom : Stéphane Roy

Date : 21/12/2012 Signature :

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

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



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

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

Sous la coordination de L. Rouvreau : **Michel P., Serrand M., Montfort-Climent D. (BRGM), Jayr E. (CSTB), Papinot P.E. (13 Développement)** (2012) - Projet ANR ASURET - Analyse de flux de matière du secteur de la construction à l'échelle de l'ouvrage et du territoire (tâche 4.2) - Rapport final. BRGM/RP-61849-FR, 131 p., 27 fig., 48 tabl., 1 ann.

Synthèse

Le projet ASURET (Analyse Systémique de l'Utilisation de Ressources non renouvelables de la Technosphère) s'inscrit dans le cadre du programme ECOTECH cofinancé par l'Agence Nationale de la Recherche.

ASURET vise à définir les conditions d'amélioration du bilan des activités du BTP, en réduisant le recours aux ressources naturelles et en optimisant la valorisation de matériaux recyclés. Ceci suppose de reconsidérer globalement l'activité BTP dans une approche systémique, et d'explorer les voies qui permettraient de favoriser le développement de modèles de production et de consommation plus vertueux au travers de ce changement de paradigme.

L'état des lieux présenté ici constitue une description qualitative et quantitative des flux de matières à l'échelle d'un ouvrage et d'un territoire. Il présente les données consolidées d'inventaire et de caractérisation des flux de matière aux deux échelles considérées, et une analyse critique sur la disponibilité, la fiabilité, les défauts de cohérence des données telles qu'elles ont pu être appréciées.

Le stock de matière accumulé dans le bâti et les infrastructures de la ville d'Orléans a ainsi été estimé (pour les substances et produits considérés dans le périmètre de l'étude, hors aménagements et mobiliers urbains) à 28,5 millions de tonnes, soit environ 253 tonnes par habitant). Ces données peuvent être mises en perspective avec deux exercices du même type, conduits l'un en 2007 sur la ville de Vienne (Autriche) et l'autre au niveau national au Japon (Hashimoto *et al.*, 2009), avec toutefois un périmètre d'étude un peu différent, qui ont abouti respectivement à des valeurs estimées de 350 t/hab. et 235 t/hab.

Sur la période 2004 – 2006, les entrées dans le stock sous la forme de matériaux de construction représentent 358 000 tonnes (près de 3,2 tonnes par habitant), la matière extraite pour la fabrication de ces matériaux s'élève à plus de 382 000 tonnes soit près de 3,4 tonnes par habitant. Dans le même temps, les sorties sous la forme de déchets représentent 166 000 tonnes. Le stock s'est donc accru sur cette période de 192 000 tonnes, soit 0,7% du stock (1,7 tonnes par habitant).

Le suivi des entrées et sorties mis en œuvre autour de la construction de 3 établissements scolaires des Bouches-du-Rhône a montré qu'il était possible de collecter des informations fines et précises à l'échelle du chantier.

Quelle que soit l'échelle considérée, cet exercice a montré la difficulté à disposer des données nécessaires à la quantification et la caractérisation des flux et du stock. Le format, l'accès et la pertinence des données existantes ne permettent pas la réalisation d'un inventaire systématique et détaillé. Le bouclage des flux est aujourd'hui impossible, faute d'une absence de continuité et de traçabilité de l'information (notamment aux différentes étapes de transformation des matériaux en produits).

Le rapport BRGM/RP-60666-FR (Projet ANR ASURET - Échelle spatio-temporelle de l'analyse) a montré la pertinence de l'échelon départemental ou du bassin d'activité économique pour l'observation des flux. Consolider ces flux à l'échelle régionale permettrait de boucler les besoins avec les différents gisements, de mieux appréhender la notion de bassin de consommation (qui peut dépasser les limites administratives départementales), et d'avoir une réflexion prospective.

L'échelle de l'ouvrage ou du chantier semble constituer le niveau le plus pertinent pour mettre en place une collecte de données (flux de matières entrants et sortants dans le stock), qui pourra ensuite être consolidée à une autre échelle.

L'intégration d'une approche « matériaux » dès la phase de conception de l'ouvrage, et plus spécifiquement lors de la programmation, permettrait de traduire à chaque étape l'incidence des choix ou des orientations retenues sur les conditions d'approvisionnement et les besoins en matériaux en fonction de leur disponibilité. Ceci nécessite de sensibiliser l'ensemble des acteurs, le donneur d'ordre, mais aussi ses conseils (maître d'œuvre, urbaniste, architecte), afin que chacun intègre cette approche « matériaux » (disponibilité locale de la ressource, distance d'approvisionnement) à la grille de critères qui guide sa réflexion.

Cette approche matériaux devrait ensuite être déclinée dans les échanges administratifs et techniques entre la maîtrise d'ouvrage (et ses conseils techniques) et la ou les entreprises, lors de la phase de consultation des entreprises (appels d'offres) puis lors de la réalisation de l'ouvrage.

Cette démarche permettrait de dessiner une cartographie beaucoup plus précise des flux spécifiques à l'ouvrage, d'affiner progressivement la composition du stock global, d'apporter des éléments qui pourront être consolidés à l'échelle du territoire au niveau d'un observatoire, de mettre en exergue les politiques volontaristes et les pratiques plus vertueuses en termes de recyclage et de réutilisation des matières premières secondaires (meilleure gestion du stock).

Elle nécessite bien évidemment, afin de favoriser l'implication de l'ensemble des acteurs et parties prenantes, que certains outils soient mis en place, depuis la communication amont des maîtres d'ouvrages et donneurs d'ordres autour de ces exigences, des évolutions souhaitées par rapport aux pratiques actuelles et l'intégration dans les procédures d'appel d'offre, de critères de sélection qui permettent de mieux apprécier le niveau d'engagement des entreprises et maîtres d'œuvre dans des démarches de développement durable, jusqu'à la mise en place de cette collecte de données. L'objectif est de disposer à la fin du chantier d'éléments précis sur les quantités consommées, l'origine géographique des matériaux, les lieux de transformation, les quantités de déchets produites et leur destination).

La collecte de données organisée au stade de l'ouvrage ne peut suffire au développement d'une stratégie cohérente d'organisation et de gestion des flux. Il est indispensable de s'intéresser, aux interactions de chaque ouvrage ou chantier avec son environnement proche ou plus lointain, et donc de développer une base de données harmonisée à l'échelle du territoire pour regrouper l'ensemble des flux de matériaux et de déchets qui affèrent aux activités du BTP et de la construction.

Réalisée individuellement par chaque territoire, la base de données pourrait ensuite être regroupée dans un observatoire régional ou national, et constituer un référentiel pour assoir la durabilité interne du territoire. Ces observatoires permettraient de communiquer à l'ensemble des acteurs, publics et privés, les éléments nécessaires, au développement d'une stratégie d'optimisation des flux de matières, et au soutien des démarches de durabilité engagées, d'apporter des informations aujourd'hui non disponibles pour évaluer, territoire par territoire les conditions de viabilité technique et économique de filières de recyclage et de réutilisation, d'apporter des données fiables et précises dans le cadre du volet « déchets du BTP », des plans de prévention et de gestion des déchets tels que les prévoit la nouvelle circulaire ministérielle.

Sommaire

1. Introduction.....	15
2. Collecte de données sur les deux territoires, méthodologie	17
2.1. À L'ÉCHELLE DU TERRITOIRE DE LA VILLE D'ORLÉANS	17
2.1.1. Objectif	17
2.1.2. Collecte de données pour l'évaluation du stock de matière contenu dans les bâtiments et infrastructure de la ville d'Orléans	19
2.1.3. Collecte de données pour l'évaluation des flux de matière associés aux chantiers BTP	30
2.2. À L'ÉCHELLE DES CHANTIERS EN BOUCHES-DU-RHÔNE	41
2.2.1. Objectif	41
2.2.2. Sélection des chantiers suivis	41
2.2.3. Analyse préalable des dossiers techniques.....	42
2.2.4. Création de questionnaires de collecte de données	44
3. Consolidation des données	47
3.1. STOCK DE MATIÈRE IMMOBILISÉE.....	47
3.1.1. Bâtiments.....	47
3.1.2. Réseaux.....	56
3.1.3. Voies de circulation	58
3.2. FLUX DE MATIÈRE, DES MÉTRÉS AUX MASSES DE MATÉRIAUX/PRODUITS DE CONSTRUCTION	60
3.2.1. À l'échelle du territoire pour la ville d'Orléans.....	60
3.2.2. À l'échelle des chantiers dans les Bouches-du-Rhône	71
3.2.3. Incertitudes	72
3.3. FLUX DE MATIÈRE, DES PRODUITS DE CONSTRUCTION UTILISÉS AUX MATIÈRES PREMIÈRES EXTRAITES	72
4. Analyse de la disponibilité, de la fiabilité et des défauts de cohérence des données.....	79
4.1. À L'ÉCHELLE DU TERRITOIRE DE LA VILLE D'ORLÉANS	79
4.1.1. FLUX	79
4.1.2. STOCK	81
4.2. À L'ÉCHELLE DES CHANTIERS EN BOUCHES-DU-RHÔNE	84
4.2.1. Disponibilité de la donnée	84
4.2.2. Fiabilité de la donnée	86
4.2.3. Estimation des données manquantes à partir des documents disponibles	87

5. Analyses de flux de matière consolidée, sur les deux territoires	89
5.1. À L'ÉCHELLE DU TERRITOIRE DE LA VILLE D'ORLÉANS.....	89
5.1.1. Stock de matière constitué par la ville d'Orléans.....	89
5.1.2. Flux de matière associés aux chantiers BTP de la ville d'Orléans (2004-2006) ...	91
5.1.3. Matière en circulation (flux) et matière immobilisée (stock).....	97
5.2. À L'ÉCHELLE DES CHANTIERS EN BOUCHES-DU-RHÔNE.....	101
5.2.1. Évaluation des matériaux mis en œuvre sur les chantiers	102
5.2.2. Origine des matériaux utilisés sur les chantiers de construction	104
5.2.3. Évaluation des déchets générés par les chantiers	107
5.2.4. Destination des déchets générés par les chantiers de construction et de démolition	109
6. Conclusions et préconisations	111
6.1. PRINCIPAUX RÉSULTATS.....	111
6.2. PRÉCONISATIONS	113
7. Bibliographie	117

Liste des illustrations

Figure 1 - Orléans, le centre ancien (source : Mairie d'Orléans).....	18
Figure 2 - Chantiers phares du centre-ville sur la période 2004-2006 (source : Mairie d'Orléans)....	18
Figure 3 - Centre historique d'Orléans.....	20
Figure 4 - Exemple de zone de centre-ville ou faubourgs (Orléans).....	21
Figure 5 - Exemple de lotissement (Orléans).....	21
Figure 6 - Exemple de polygone d'habitat collectif (Orléans).....	22
Figure 7 - Exemple de bâtiment à usage de bureaux (Chèques-Postaux – Orléans-La-Source).....	22
Figure 8 - Exemple de zone commerciale (Orléans).....	23
Figure 9 - Exemple de datation d'une zone d'habitat collectif à la Source (avenue Flammarion) basée sur une image datant de 1968 (source IGN).....	24
Figure 10 - Répartition de la SHOB estimée à partir de la BD Topo (IGN) par type de zone bâtie (ville d'Orléans).....	28
Figure 11 - Méthodologie d'acquisition des données.....	31
Figure 12 - Déroulement temporel d'un projet d'aménagement.....	42
Figure 13 - Vue de l'école Jules Ferry à Septèmes-les-Vallons (13).....	43
Figure 14 - Méthode pour estimer à partir des matériaux/produits de construction les matières premières extraites en conséquence.....	73
Figure 15 - Eau liée à la matière minérale sèche dans la comptabilisation des flux de matière.....	77

Figure 16 -	Le bâtiment de gauche compte 16 niveaux mais à partir de la BDTopo on en estime 15 ; pour le bâtiment de droite (deux niveaux plus combles aménagées) à partir de la BDTopo on estime deux niveaux (images extraites de GoogleStreet).	83
Figure 17 -	Schéma d'exemple de la méthodologie suivie pour l'évaluation du stock de matière dans le bâti (ville d'Orléans).	89
Figure 18 -	Répartition du stock matière de la ville d'Orléans par grand groupe de matériaux.	90
Figure 19 -	Répartition de la matière minérale stockée dans le bâti de la ville d'Orléans par nature. ...	91
Figure 20 -	Composition des produits de construction utilisés sur les chantiers par type.	92
Figure 21 -	Matériaux de construction utilisés pour les chantiers, tout confondu, sur le territoire de la ville d'Orléans et sur la période d'étude - Matériaux fabriqués à partir de pétrole.	93
Figure 22 -	Rayon d'approvisionnement en béton et en ciment de la ville d'Orléans.	94
Figure 23 -	Remblais et déblais associés aux chantiers sur le territoire de la ville d'Orléans et sur la période d'étude.	97
Figure 24 -	Bilan des flux et des stocks de matière sur le territoire de la ville d'Orléans sur la période étudiée (2004-2006).	98
Figure 25 -	Diagramme de Sankey des flux de matières des chantiers d'Orléans.	99
Figure 26 -	Schéma de la localisation des processus de production des armatures à béton du Collège « Vallon Toulouse ».	105
Figure 27 -	Schéma de la localisation des processus de production du béton utilisé au Collège « Vallon Toulouse ».	106

Liste des tableaux

Tableau 1 -	Stock de matériaux, éléments traduits en masse.	19
Tableau 2 -	Système porteur des bâtiments.	24
Tableau 3 -	Réseaux pris en compte dans l'estimation du stock.	29
Tableau 4 -	Types de voirie, linéaires et surfaces distingués par la BD Topo de l'IGN sur la ville d'Orléans.	30
Tableau 5 -	Champs de compétences de la maîtrise d'ouvrage publique.	32
Tableau 6 -	Synthèse des chantiers en cours sur la période d'étude.	34
Tableau 7 -	Détails des chantiers en cours sur la période d'étude, méthodologie utilisée pour l'estimation des quantités de matériaux utilisés et déchets générés et difficultés rencontrées.	37
Tableau 8 -	Type et nombre d'exutoires pour les déchets des chantiers BTP dans le département du Loiret (45).	39
Tableau 9 -	Exemple des lots du collège Vallon Toulouse (13).	43
Tableau 10 -	Exemple de DPGF (Décomposition du Prix Global et Forfaitaire) d'un lot de désamiantage d'un des trois chantiers suivis (Conseil général des Bouches-du-Rhône).	44
Tableau 11 -	Exemple de questionnaire de suivi des quantités par lot (chantier du collège Vallon TOULOUSE).	45

Tableau 12 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser l'habitat ancien et le petit commerce – Structure en ossature bois (centre historique de la ville d'Orléans).	47
Tableau 13 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser l'habitat ancien et le petit commerce – Structure en maçonnerie (centre historique de la ville d'Orléans).	48
Tableau 14 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser l'habitat ancien et le petit commerce – Structure mixte (centre historique de la ville d'Orléans).	49
Tableau 15 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement collectif) - Période pré-1950 – Structure poteaux porteurs en béton armé (centre ville d'Orléans).	49
Tableau 16 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement collectif - Période 1950-1970 – Structure poteaux porteurs en béton armé (ville d'Orléans).	50
Tableau 17 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement collectif récent - Structure voile béton (ville d'Orléans).	50
Tableau 18 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement individuel (lotissement) – Période pré 1950 – Structure maçonnée en pierres naturelles (ville d'Orléans).	51
Tableau 19 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement individuel (lotissement) – Période 1950-1970 – Structure mixte pierre naturelle et bloc béton (ville d'Orléans).	52
Tableau 20 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement individuel (lotissement) – Période récente – Structure bloc béton dominante (ville d'Orléans).	53
Tableau 21 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le bâtiment commercial – Structure métallique, bardage (ville d'Orléans).	54
Tableau 22 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le bâtiment industriel – Structure métallique, bardage (ville d'Orléans).	54
Tableau 23 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le bâtiment tertiaire ancien – Structure maçonnerie pierre (ville d'Orléans).	55
Tableau 24 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les bâtiment militaires début XX ^e – Structure mixte (ville d'Orléans).	56
Tableau 25 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions individuelles réalisées sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure maçonnerie bloc béton (ville d'Orléans).	61
Tableau 26 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions individuelles réalisées sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure brique (ville d'Orléans).	62
Tableau 27 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions individuelles réalisées sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure monomurs terre cuite (ville d'Orléans).	63
Tableau 28 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions individuelles réalisées sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure ossature bois (ville d'Orléans).	64
Tableau 29 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions de logements collectifs sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure voile béton (ville d'Orléans).	65
Tableau 30 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions de logements collectifs sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure brique (ville d'Orléans).	66

Tableau 31 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions de bâtiments tertiaire et de bureaux sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure voile béton (ville d'Orléans).	67
Tableau 32 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions de bâtiments industriels sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure métallique (ville d'Orléans).	68
Tableau 33 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions de complexes nautiques sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure poteaux et poutres béton (ville d'Orléans).	68
Tableau 34 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les opérations de réhabilitation et démolition sur la période 2004-2006 (sorties du stock) - (ville d'Orléans).	69
Tableau 35 - Base de données (BD n° 1) des compositions des produits utilisés pour une fabrication sur chantier (mortier, enduits...) et des compositions des produits ou éléments préfabriqués avant mises en œuvre sur chantier.	75
Tableau 36 - Base de données (BD n° 2) des compositions élémentaires basées sur les procédés de fabrication : des produits de construction aux matériaux extraits.	76
Tableau 37 - Précision planimétrique de la BD Topo en fonction de l'origine de la donnée.	82
Tableau 38 - Précision altimétrique de la BD Topo en fonction de source de la donnée.	82
Tableau 39 - Répartition des matériaux en masse (tonnes) par type de structure (bâti, voirie, réseaux et autres).	90
Tableau 40 - Répartition des matériaux utilisés en masse (tonnes) par type de chantier.	92
Tableau 41 - Matériaux de construction utilisés pour les chantiers, tout confondu, sur le territoire de la ville d'Orléans et sur la période d'étude - Matériaux fabriqués à partir de matière minérale extraite du sol et sous-sol.	93
Tableau 42 - Matière extraite pour la fabrication des matériaux de construction utilisés pour les chantiers étudiés.	100
Tableau 43 - Quantités de matériaux entrants sur le chantier du collège Arenc Bachas (hors déblais-remblais du site).	102
Tableau 44 - Quantités de matériaux entrants sur le chantier Vallon de Toulouse (hors déblais-remblais du site).	102
Tableau 45 - Quantités de matériaux entrants sur le chantier Jules Ferry (hors déblais-remblais du site).	103
Tableau 46 - Relevé des quantités de déchets générés par le chantier de l'école Jules Ferry (hors démolition).	107
Tableau 47 - Ratio par m ² de SHON de production de déchets du chantier de l'école Jules Ferry (hors démolition).	108
Tableau 48 - Relevé des quantités et destinations des déchets générés par la démolition de l'ancienne école Jules Ferry.	109

Liste des annexes

Annexe 1 - Typologie de construction de l'habitat d'Orléans (système porteur) par zone, illustrations.	119
--	-----

Glossaire

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
BBC	Bâtiment Basse Consommation
BPU	Borderau Prix Unitaire
BT	Basse Tension
BTP	Bâtiment Travaux Publics
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
CG	Conseil Général
DGD	Décompte Général et Définitif
DIB	Déchet Industriel Banal
DPGF	Décomposition du Prix Global et Forfaitaire
DQE	Détail Quantitatif Estimatif
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du Logement
FDES	Fiche de Déclaration Environnemental et Sanitaire
GO	Gros Oeuvre
HQE	Haute Qualité Environnementale
HTA	Moyenne Tension
IGN	Institut national de l'information Géographique et forestière
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économiques
MFA	Matériel Flow Analysis
OPH	Office Publique de l'Habitat
PEHD	Polyéthylène Haute Densité
PVC	Polychlorure de vinyle
SHOB	Surface Hors Œuvre Brute
SHON	Surface Hors Œuvre Nette
SEMDO	Société d'Économie Mixte pour le Développement Orléanais
UNICEM	Union Nationale des Industries de Carrières et des Matériaux de construction
VRD	Voirie et Réseaux Divers

1. Introduction

Le projet ASURET (Analyse Systémique de l'Utilisation de Ressources non renouvelables de la Technosphère) s'inscrit dans le cadre du programme ECOTECH cofinancé par l'Agence Nationale de la Recherche. Il s'intéresse à la mise en œuvre d'un changement de paradigme pour une approche systémique du territoire, tant au niveau des techniques qu'au niveau de l'organisation des échanges entre l'ensemble des acteurs impliqués dans l'acte de construire et d'aménager, depuis les maîtres d'ouvrages et les donneurs d'ordres, jusqu'aux entreprises en charge de la réalisation.

ASURET vise à définir les conditions d'amélioration du bilan des activités du BTP, en réduisant le recours aux ressources naturelles et en optimisant la valorisation de matériaux recyclés. Ceci suppose de reconsidérer globalement l'activité BTP dans une approche systémique, et d'explorer les voies qui permettraient de favoriser le développement de modèles de production et de consommation plus vertueux au travers de ce changement de paradigme.

Appliqué au secteur de la construction et de l'aménagement (construction et déconstruction de bâtiments, d'équipements, d'infrastructures), le travail présenté ici a ainsi pour finalité :

- de faire ressortir les interactions entre le territoire et son environnement proche ou plus lointain, avec notamment les contraintes liées à la localisation et la disponibilité des sources d'approvisionnement ;
- de proposer à l'ensemble de la communauté des acteurs de ce secteur des éléments d'aide à la décision dans une optique de réduction des impacts environnementaux de leur activité ;
- de leur apporter des éléments concrets pour faciliter le développement de filières de recyclage et les inciter à accompagner ce développement.

Une méthodologie systémique a été développée à cet effet. Elle se décline au travers de trois niveaux d'observation complémentaires : national, territorial et à l'échelle d'un projet (construction et/ou déconstruction d'un bâtiment ou d'une infrastructure).

Menée en parallèle, une analyse participative a intégré divers acteurs du BTP pour renforcer ces recherches tant en termes d'adéquation et de légitimité des résultats, que d'appui au changement de pratiques.

La deuxième étape s'est appuyée sur le suivi de deux échelles d'étude sur des territoires géographiques différenciés :

- à l'échelle du territoire, une analyse de la politique générale mise en place par une collectivité (ville d'Orléans) en matière de construction et d'aménagement ;
- à l'échelle de l'ouvrage, l'analyse d'un programme de construction / réhabilitation pour un type d'équipement collectif (collège), dans le cadre des actions menées par le Conseil général des Bouches-du-Rhône.

Concernant la ville d'Orléans, une analyse des flux de matières associés aux activités du BTP a été mise en œuvre afin de visualiser les ressources (entrants du système), les flux intermédiaires et les stocks, ainsi que les produits, déchets et émissions (sortants du système).

Au niveau de l'ouvrage, trois études de cas ont été suivies : la construction / réhabilitation de deux collèges par le Conseil général des Bouches-du-Rhône (CG 13) et la construction / réhabilitation d'une école primaire par la commune de Septèmes-les-Vallons (13). Là encore, un suivi des flux de matières a été conduit.

Les matériaux considérés dans le champ de cet exercice de description et de caractérisation des flux sont les minéraux à usage principal dans la construction : les bitumes, les plastiques, les métaux, les bois et fibres végétales. Il s'agit de matériaux d'intérêt au regard de l'enjeu de la préservation des ressources naturelles et d'atténuation des impacts environnementaux, notamment par rapport à leur potentiel de réutilisation / recyclage comme matières premières secondaires.

La méthodologie suivie pour la collecte de données et l'analyse des flux de matière est décrite au chapitre 2. Les lacunes concernant les données accessibles ont également été caractérisées afin d'évaluer la fiabilité et l'incertitude qui accompagnent ce type de diagnostic (cf. chapitre 4), tandis que la question de la consolidation des données est abordée au chapitre 3 ; les résultats de l'analyse de flux de matière consolidée sur les deux territoires et les éléments d'accompagnement du développement de filières de recyclage par la maîtrise d'ouvrage publique qui ont pu être développés à partir de cette analyse sont détaillés au chapitre 4.

Par souci de cohérence et de lisibilité, il est apparu nécessaire aux membres du consortium du projet ASURET de regrouper en un seul document les trois livrables suivants initialement prévus :

- « Données consolidées d'inventaire et de caractérisation des flux, des gisements de matière, des installations et infrastructures des deux territoires d'étude » ;
- « Rapport sur la disponibilité, la fiabilité, les défauts de cohérence des données » ;
- « Analyse des flux de matière sur les deux territoires ».

2. Collecte de données sur les deux territoires, méthodologie

2.1. À L'ÉCHELLE DU TERRITOIRE DE LA VILLE D'ORLÉANS

2.1.1. Objectif

La méthode de comptabilité des flux de matière, qui permet d'inventorier les ressources (ou flux entrants) d'un système, les flux intermédiaires et les stocks, ainsi que les produits, déchets et émissions (flux sortants) du système, a été utilisée à l'échelle du territoire.

Cet exercice d'analyse des flux et stock de matière à l'échelle d'une ville a pour objectifs :

- de tester et proposer une méthodologie qui apporte *in fine* à la ville un éclairage sur les enjeux liés à l'utilisation des ressources non renouvelables dans une perspective d'aménagement durable des territoires ;
- d'accompagner les maîtres d'ouvrage public dans la définition et la mise en place de mesures concrètes, afin d'améliorer l'utilisation des ressources *via* une appropriation de ces enjeux par le maître d'ouvrage public.

Pour évaluer *les flux de matière en circulation*, on s'intéresse ainsi aux flux « Entrées » et « Sorties » dans le système (ville d'Orléans) associées aux activités BTP (Bilan des flux) :

- Quels matériaux sont utilisés ? en quelle quantité ? quelle provenance pour ces matériaux ?
- Quels déchets / excédents de chantiers générés par les chantiers BTP ? Quelle quantité ? Quelle destination (localisation et mode de gestion) ?

Estimer *le stock de matière/matériaux immobilisés* dans le bâti et les infrastructures de la ville, a nécessité de développer une méthodologie spécifique à partir d'outils dédiés à l'estimation des impacts potentiels de séismes sur le patrimoine bâti.

Territoire d'étude : la ville d'Orléans

Située dans la région Centre, Orléans est une ville moyenne de 113 237 habitants, avec une densité moyenne de 4 120 habitants au kilomètre carré (INSEE, 2006). Elle constitue, avec plus de 40 % de la population, le cœur de la Communauté d'agglomération d'Orléans Val de Loire qui regroupe 22 communes limitrophes.

Le territoire de la ville présente quelques singularités qui tiennent à un découpage entre un cœur de ville organisé majoritairement au nord de la Loire (avec un centre historique ancien, des faubourgs et des quartiers reconstruits dans l'après-guerre suite aux bombardements ; cf. figure 1) et une « ville nouvelle » qui date des années 1960 (Orléans-la-Source) située plusieurs kilomètres au sud.

Le centre ancien demeure, de loin, le territoire le plus dense de l'agglomération orléanaise, avec près de 110 habitants à l'hectare, contre une moyenne de 36 pour le reste d'Orléans (AUAO, 2007)¹.

La typologie de son bâti se décompose donc en deux grands ensembles très différents.

Les zones industrielles et commerciales sont par ailleurs principalement situées hors de la zone d'étude, sur le territoire des communes voisines de l'agglomération.



Figure 1 - Orléans, le centre ancien (source : Mairie d'Orléans).

Période d'étude : 2004-2006

La période d'étude, choisie en concertation avec la Mairie d'Orléans, correspond aux années 2004, 2005 et 2006. C'est une période de grande rénovation du centre ancien. Le projet dit « centre-ville » fait suite à une démarche engagée par le Conseil Municipal en mars 2002. Il a pour objectif d'embellir et de végétaliser la ville, de faciliter l'accès au cœur de l'agglomération orléanaise, de mettre en valeur le patrimoine, d'accroître la vitalité commerciale, d'optimiser l'usage de l'espace public et d'ouvrir la ville sur la Loire.

Deux chantiers phares ont été réalisés sur cette période, le pavage des rues du secteur piétonnier (21 rues concernées pour 27 000 m² de surface en pavés de pierres de Souppes-sur-Loing - 77) et l'aménagement des ZAC des Halles-Chatelet près des quais de Loire avec la transformation et l'aménagement de places et de nouveaux espaces publics, la construction de parkings et d'un complexe de cinémas (cf. figure 2).



Figure 2 - Chantiers phares du centre-ville sur la période 2004-2006 (source : Mairie d'Orléans).

¹ Agence d'urbanisme de l'agglomération orléanaise (2007) – Orléans Centre-ville, dossier d'informations statistiques, oct. 2007

Cadre d'étude

Sur cette période 2004-2006, tous les chantiers, de construction, de réhabilitation, ou de déconstruction/démolition, les chantiers sur les bâtiments, la voirie ou les réseaux, ont été intégrés au périmètre de l'étude, que la maîtrise d'ouvrage soit privée ou publique.

Remarque : Selon la DREAL, les collectivités territoriales sont à l'origine, au niveau régional, de 70 % des commandes de chantier BTP.

2.1.2. Collecte de données pour l'évaluation du stock de matière contenu dans les bâtiments et infrastructure de la ville d'Orléans

Si les matériaux considérés dans le champ de cet exercice de description et de caractérisation des flux et des stocks sont les minéraux à usage principal dans la construction, l'estimation *du stock de matière/matériaux immobilisés* dans le bâti et les infrastructures de la ville, suppose que la liste des « objets » pris en compte soit définie.

Le Tableau 1 présente schématiquement les différents types d'objets qui ont été pris en compte dans cette évaluation du stock. La discussion sur la consolidation des données, présentée en chapitre 4 permet de revenir sur ces choix.

	Bâti	Voirie	Voies ferrées	Réseaux
Traduit en masse	Logement Bâtiments à usage scolaire, industriel et commercial	Couches de surface (roulement/liaison), couches d'assise (base/fondation), couches de forme	Voies ferrées (ballast, rail, traverses)	Remblais (granulats) Canalisations
Non traduit en masse	Bâtiments religieux, château, tour, tribune... Bâtiments de type / structure inconnue	Murs de soutènement. Ponts (sauf le pont de l'Europe) et échangeurs. Mobilier urbain	Pont.	

Tableau 1 - Stock de matériaux, éléments traduits en masse.

Calcul du stock de matière lié au bâti sur la ville d'Orléans

L'estimation du stock de matière lié au bâti sur la ville d'Orléans suit une méthodologie en plusieurs étapes :

- découpage de la ville en zones de bâti « homogènes » ;
- estimation d'un âge moyen de construction des bâtiments par zone (pour une première identification des techniques constructives) ;
- enquête de terrain pour préciser par zone la répartition des bâtiments suivant les techniques de construction (système porteur) ;
- estimation de la surface totale hors œuvre brute (SHOB) de chaque type de construction sur la base de la BD Topo de l'IGN ;
- attribution d'une SHOB totale pour chaque type de structure.

• Découpage de la ville en zone « homogènes »

La commune d'Orléans a été délimitée en plusieurs types de quartiers ou de zones bâties homogènes. Ce zonage, réalisé à partir des orthophotos (2003), des images plus récentes de

Bing Maps et des cartes IGN consiste à délimiter les secteurs où l'on considère que le bâti est constitué par :

- un seul type de bâtiments ;
- ou par plusieurs types de bâtiments, répartis d'une manière homogène, tel que l'on puisse évaluer la proportion de chaque type de bâti dans le secteur considéré.

➤ Zone « Centre historique »

Il s'agit des zones de la ville qui gardent encore une structure du tissu urbain médiéval. En général, ce sont les quartiers à l'intérieur du périmètre des anciens remparts. Dans le cas d'Orléans, cette zone est située entre la cathédrale et la Loire, avec un tissu urbain formé par des petites ruelles étroites (cf. figure 3).



Figure 3 - Centre historique d'Orléans.

➤ Zone « Centre-ville » et « faubourgs »

Dans le cas de la ville d'Orléans, les zones de centre-ville (cf. figure 4) présentent une forte densité de bâtiments, le plus souvent jointifs (îlots). Dans ces zones, l'âge des bâtiments peut varier de façon importante, même si on peut considérer qu'une grande partie du bâti est antérieure à la seconde guerre mondiale. Ces zones de centre-ville peuvent concerner aussi bien des zones intra-muros que les faubourgs.

La ville ayant subi d'importants dégâts lors de la seconde guerre mondiale, certains îlots ont été intégralement reconstruits au cours des années 1950.



Figure 4 - Exemple de zone de centre-ville ou faubourgs (Orléans).

➤ Zone « Lotissement »

Sont considérés comme zone de lotissement, les secteurs urbanisés présentant un mode d'occupation du sol similaire, avec des constructions bâties plus ou moins en même temps, et généralement par le même constructeur. Il s'agit d'habitats individuels, avec un terrain associé à chaque maison (cf. figure 5). Sur le territoire d'Orléans, ces lotissements sont essentiellement concentrés au niveau de la ville nouvelle d'Orléans-la-Source.



Figure 5 - Exemple de lotissement (Orléans).

➤ Zone de « Collectif »

L'habitat collectif est constitué de bâtiments contenant plusieurs logements. Les orthophotos permettent de délimiter les secteurs occupés par ces bâtiments, mais pas d'estimer leur

hauteur et le nombre de logements par bâtiment (cf. figure 6). Une estimation plus précise doit se faire sur le terrain.



Figure 6 - Exemple de polygone d'habitat collectif (Orléans).

➤ Zone « Bureaux – scolaire »

Ce sont des zones dans lesquelles, selon l'orthophoto, les bâtiments ne se différencient pas beaucoup des constructions à usage d'habitat collectif (cf. figure 7). Cette délimitation s'appuie sur la connaissance de terrain des principaux secteurs concernés à cet usage de la commune d'Orléans (La Source, université, etc.).



Figure 7 - Exemple de bâtiment à usage de bureaux (Chèques-Postaux – Orléans-La-Source).

➤ Zone « Industrielle – commerciale »



Figure 8 - Exemple de zone commerciale (Orléans).

• **Estimation de l'âge de construction par zone**

Il s'agit d'attribuer un âge moyen à chaque zone bâtie homogène, et d'identifier les types de bâtiment (en termes de type de système porteur et d'architecture). L'âge est en effet un paramètre corrélé à l'apparition et l'application de certaines techniques constructives et à l'utilisation de certains types de matériaux ; il a donc une influence certaine dans le calcul du stock.

L'âge de construction moyen des bâtiments a été estimé, pour chaque zone délimitée dans la ville d'Orléans, à partir de deux sources de données :

- des anciennes images aériennes de la ville, disponibles sur le site de l'IGN ;
- les données logement du recensement INSEE 2006, qui détaillent le nombre de logements principaux par période de construction (avant 1949, 1950-1974, 1975-1989 et 1990-2006) et par type de logement (maison individuelle ou habitat collectif). Ces données sont disponibles au niveau communal et par zone Iris (découpage infra-communal fait par l'INSEE) ; la commune d'Orléans est ainsi découpée en 45 zones Iris.

En croisant ces deux sources de données, un âge a été affecté à chaque zone d'habitat en fonction des quatre périodes considérées par l'INSEE.

Pour certaines zones, l'estimation de l'âge de construction peut être très précise, surtout quand il s'agit des zones d'habitat collectif. En revanche pour d'autres, surtout pour des zones d'habitat individuel, on observe à partir des images aériennes qu'à chaque période des nouvelles maisons se sont bâties. Il est donc impossible d'attribuer à ces zones un âge moyen de construction.

La Figure 9 illustre la méthodologie suivie pour dater une construction, une zone d'habitat collectif à la Source (avenue Flammarion) dans ce cas. L'image, qui date de 1968, montre des immeubles déjà construits alors que d'autres sont en construction. Pour cet exemple, l'ensemble des bâtiments à l'intérieur de ce polygone est considéré comme étant construit entre 1950 et 1974.



Figure 9 - Exemple de datation d'une zone d'habitat collectif à la Source (avenue Flammarion) basée sur une image datant de 1968 (source IGN).

- **Typologie de construction du bâti d'Orléans (système porteur) par zone**

	Système porteur des bâtiments			
	Maçonnerie	Bois	Béton	Acier
Type de zone				
Centre-historique	Pierre brute/pierre simple	Colombage		
Centre-ville	Pierre brute/pierre simple/briques en façade		Habitat collectif d'après-guerre	
Lotissement	Murs porteurs en briques/parpaings. Si ancien maçonnerie en pierre			
Faubourgs	Pierre brute/pierre simple/briques en façade.			
Collectif			HLMs. Plusieurs types : Voiles béton (coffrages tunnel), poteaux-poutres et remplissage. Récents : voiles en béton.	
Bureaux/scolaire	Ecoles anciennes		Préfabriqué (ancien) ou voiles (récent). Vitres	Eléments métalliques (rare)
Zone commerciale				Ossature métallique et tôle
Zone industrielle			Ossature	Ossature
Bâtiments particuliers				
Bâtiments historiques	Pierre de taille. Briques			
Bâtiments militaires	Hangars. Pierre brute/pierre simple/briques			
Equipeement sportif			Voiles en béton, vitres.	Ossatures métalliques.

Tableau 2 - Système porteur des bâtiments.

À partir des enquêtes de terrain, les principaux types de construction utilisés pour les bâtiments de chaque zone ont été identifiés. Cette typologie s'appuie sur le type de système porteur identifiable *a visu* : structure en bois, maçonnerie en pierre ou en aggloméré, structure en béton armé, ossature métallique (cf. Tableau 2).

Des illustrations des différents types de système porteur sont consultables en annexe.

➤ Habitat ancien

L'habitat ancien se situe dans les zones de centre-historique, centre-ville et les faubourgs. Dans le cœur historique de la ville d'Orléans (zone entre la Loire et la Cathédrale), on trouve deux grands modes constructifs : des maisons à colombage et des bâtiments entièrement construits en maçonnerie en pierre.

- maisons à colombage : Le système porteur en bois repose sur une base en pierres calcaires, avec un remplissage de l'ossature en briques de terre pleines et/ou crépis ;
- les bâtiments en maçonnerie en pierre associent des pierres appareillées en façade et en encadrements, et des moellons pour le reste des murs. Des façades ou des encadrements en briques pleines sont aussi présents. À la différence du colombage, ce type de système porteur ne se trouve pas seulement dans le cœur historique de la ville, mais aussi dans les faubourgs et les lotissements d'avant-guerre.

Dans les deux quartiers du centre-historique d'Orléans où ces deux types de construction sont présents (maçonnerie en pierre et maison en colombage), une estimation de la répartition a été faite à partir d'un échantillon d'environ cent bâtiments durant les enquêtes de terrain. Les visites de terrain ont permis de constater que généralement, les bâtiments en maçonnerie sont plus nombreux que ceux en ossature-bois.

Sans tenir compte du fait que les immeubles en poteaux-poutres en bois ont souvent un soubassement en maçonnerie (pierre calcaire), on estime à 38 % la proportion des bâtiments du centre historique en colombage pour 62 % en maçonnerie.

➤ Bâtiments à usage d'habitat collectif

La ville d'Orléans a été concernée par plusieurs vagues successives de construction d'habitat collectif.

La plus ancienne concerne une grande partie des immeubles récents, situés *intra-muros* (secteur délimité par les grands boulevards), et s'inscrit dans le cadre des travaux de reconstruction postérieurs à la deuxième guerre mondiale. La structure de ces immeubles est majoritairement constituée en béton, préfabriqué pour certains, et pour d'autres avec des murs extérieurs en maçonnerie.

À partir de la fin des années 1950 et jusqu'aux années 1970, c'est le « boom » constructif de l'habitat social collectif et le développement des grands ensembles de cités HLM. Dans le cas d'Orléans, ces ensembles sont situés soit en périphérie (quartiers Argonne et Blossières par exemple) soit au niveau de la ville nouvelle.

La structure porteuse de ces ensembles est similaire à celle d'autres grands ensembles construits durant la même période en France métropolitaine. Le système de construction est surtout basé sur l'utilisation de coffrages tunnels, les remplissages en maçonnerie, ou des systèmes mixtes poteaux-poutres et voiles. La plaque en béton préfabriqué, qui apparaît

pendant cette période, reste une technique finalement peu observée sur l'ensemble de la commune d'Orléans.

La construction d'habitat collectif s'est réduite à partir des années 1990. Pour les nouveaux immeubles, des améliorations notables se font au niveau de l'isolement thermique et sonore, avec l'apparition par exemple d'éléments décoratifs comme les bardages en bois, métal ou plastiques en façade. Ceci s'accompagne par une diminution du nombre d'étages. Les systèmes porteurs, de types voiles en béton ou les systèmes mixtes maçonnerie-béton prédominent pour les bâtiments les plus petits.

➤ Habitat pavillonnaire

En dehors de l'habitat « historique » évoqué précédemment, l'évolution temporelle de l'habitat individuel à Orléans permet de distinguer plusieurs périodes.

La première correspond au pavillon, construit avant la seconde guerre mondiale. Il comprend généralement deux niveaux, et est construit en maçonnerie (pierre calcaire de la région, fréquemment exploitée sur place, dans la périphérie immédiate de la ville). Les briques pleines sont parfois utilisées pour l'encadrement des ouvertures et les cheminées. Les planchers sont en général en bois (cf. habitat ancien déjà évoqué). Les lotissements les plus anciens de la commune ont ce système porteur.

À partir des années 1950, des pavillons d'habitat individuel apparaissent, avec un passage graduel de la maçonnerie en pierre vers une maçonnerie porteuse en blocs d'aggloméré ou en briques, tout en conservant parfois des parties en maçonnerie en pierre.

À partir des années 1970, et durant les années 1980, la construction des grands lotissements d'habitat individuel démarre. Ce sont par exemple les grandes zones d'habitat individuel d'Orléans la Source. Le système constructif reste la maçonnerie porteuse en béton aggloméré ou en briques creuses. Les planchers de ces pavillons sont réalisés soit en béton, soit en bois, avec des charpentes en bois.

À part les changements de système porteur, les évolutions sont plutôt à chercher au niveau des aménagements :

- ajout d'isollements sonores et thermiques ;
- menuiserie extérieure, passage du bois vers le PVC ;
- autres évolutions concernant l'usage de parquet, carrelage, cloisonnement, etc.

Finalement pour l'habitat individuel, trois types de structures porteuses sont considérées :

- maçonnerie en pierre ancienne ;
- maçonnerie intermédiaire, avec une disparition graduelle de la pierre comme matériau de construction, mais qui reste ponctuellement utilisée comme élément décoratif durant la période 1950-70 ;
- maçonnerie moderne.

➤ Bâtiments militaires

La ville d'Orléans a accueilli de nombreuses garnisons qui ont laissé un patrimoine immobilier important sur son territoire, même si une partie de ces constructions militaires a été démolie, notamment durant la période 2004-2006.

Ces bâtiments, dont une partie a été réhabilitée sous forme de logements collectifs ou de locaux d'activité (musée, bureaux) sont essentiellement construits en maçonnerie (pierre et briques) pour ceux qui subsistent.

➤ Bâtiments industriels

Pour les bâtiments industriels, il est très difficile de raisonner par typologie constructive car, à la différence de l'habitat, la spécificité de chaque activité industrielle impose un certain type de structure. De plus, à la différence du bâti courant, où un simple produit entre surface au sol et nombre d'étages permet une première estimation de la surface totale (SHOB), pour le bâti industriel ceci est plus compliqué.

Deux principaux types de structures ont été identifiés :

- les structures métalliques, avec ossature en acier, recouvrement en tôle ou en maçonnerie et dalle en béton. Ce type concerne aussi bien une bonne partie du bâti industriel que la globalité du bâti commercial ;
- les structures en béton, comme par exemple le château d'eau, etc. Ce type de construction, bien particulier, n'a pas été pris en compte.

➤ Bâtiments à usage de bureaux ou scolaires

Ce sont les bâtiments destinés à des bureaux mais aussi les bâtiments de l'enceinte de l'université d'Orléans et les établissements scolaires récents (après-guerre).

Le système porteur de ces bâtiments, qui ne diffère guère des immeubles d'habitat collectif, privilégie une ossature en béton armé. En revanche, le nombre d'ouvertures est ici plus important et l'ossature porteuse peut être constituée dans certains cas en acier. L'analyse par grands types de structure et par analyse d'images satellite ne permet pas d'identifier les quelques bâtiments qui sont construits selon ce système.

Ponctuellement, certains bâtiments présentent une architecture complexe, qui demanderait une analyse détaillée.

Les établissements scolaires ou sanitaires anciens sont construits avec des murs en maçonnerie en pierre, comme une grande partie des bâtiments historiques et anciens de la ville. Cet ensemble de bâtiments se rapproche des bâtiments en maçonnerie à l'ancienne.

➤ Équipements sportifs et grands établissements recevant du public

Cette catégorie comprend les gymnases, les salles de sport, le Zénith, le théâtre, les dojos ou les tribunes de stade, le parc des expositions. Ce sont toujours des cas particuliers qui demanderaient une analyse individualisée et poussée pour évaluer la quantité de matière associée à chaque construction. Le choix a été fait, dans le cadre du projet ASURET, de réaliser l'exercice détaillé sur quelques-uns de ces ouvrages, mais de mener des estimations du volume de l'ensemble de ces ouvrages à partir de données moyennes.

➤ Bâtiments historiques

La ville d'Orléans comprend un grand nombre de bâtiments historiques. En général, ces bâtiments sont construits en pierre de taille et moellons pour les murs non visibles.

Compte tenu de l'architecture particulière de ces bâtiments, de leur caractère permanent, le stock de matière associé à ces bâtiments ne sera pas calculé. Ils sont considérés comme une composante invariante du stock.

- **Estimation de la surface construite**

La BD Topo de l'IGN permet de délimiter individuellement, le contour en plan de chaque construction sur la ville d'Orléans. Les données issues de cette base les plus pertinentes dans le cadre d'ASURET sont :

- la surface en plan ;
- la hauteur du bâtiment.

Elles permettent de faire une première estimation de la SHOB totale de chaque immeuble, à partir du produit de la surface au sol et du nombre de niveaux qui est appréhendé en considérant que la hauteur moyenne de chaque niveau est égale à 3 m (CETE Normandie-Centre, 2001). Ce calcul ne prend en compte ni la possible existence de sous-sols, ni celle de mezzanines, de demi-étages et de toute autre irrégularité en toiture. Chaque bâtiment individualisé est affecté d'une forme géométrique parallélépipédique.

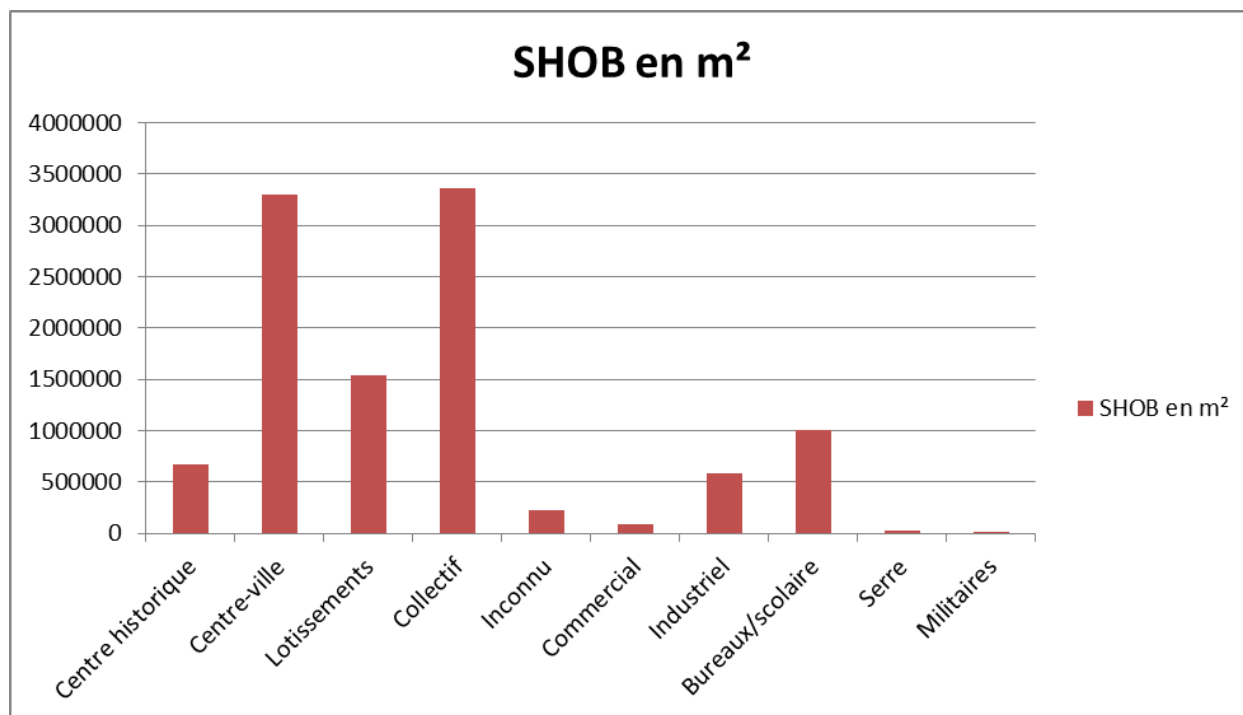


Figure 10 - Répartition de la SHOB estimée à partir de la BD Topo (IGN)
par type de zone bâtie (ville d'Orléans).

Cette même base de données distingue les bâtiments en plusieurs types :

- bâti indifférencié, contenant tous les bâtiments à usage d'habitation, bureaux, et établissements scolaires ;
- bâti industriel ou commercial ;
- bâti remarquable dont le patrimoine, les installations sportives, la mairie et la préfecture.

À partir des opérations SIG², il est possible d'attribuer à chaque entité « bâtiment » de la BD Topo le type de zone bâtie à laquelle il appartient, un âge moyen de construction et par conséquent un type de structure. À la fin de cette opération, sur l'intégralité de la ville, une surface et une SHOB par type de structure est estimée.

Autres stocks de matière de la ville d'Orléans (les réseaux et la voirie)

• Réseaux

Quatres types de réseaux coexistent sur le territoire municipal (cf. tableau 3) :

- les réseaux d'électricité ;
- les réseaux de gaz ;
- les réseaux pour l'eau potable ;
- les réseaux pour l'assainissement avec le réseau « eaux usées », le réseau « eau pluviale » et le réseau dit « unitaire » (réseau mixte eau usées/eau pluviale).

RÉSEAUX	Compétence	Délégation d'exploitation	Extension / Linéaire	Caractéristiques (Matériaux)
Électricité	Ville	ERDF	497,2 km BT	Câble BT souterrain alu
			217,3 km HTA	Câble HTA souterrain alu
Gaz	Ville	GRDF	322,1 km avec PE ³ (43 %) + acier (44 %) + autres (13 %)	
Eau potable	Ville	Lyonnaise des eaux	367 km linéaire	
Assainissement	AGGLO		Réseaux eaux usées (116,815 km linéaire) Réseau eau pluviale (117,612 km linéaire) Réseau unitaire (mixte eau usées/eau pluviale) (158,178 km linéaire)	à 80 % des tuyaux en béton armé de 2 500 mm de diamètre et le reste plutôt en PVC de 150 mm de diamètre"

Tableau 3 - Réseaux pris en compte dans l'estimation du stock.

• Voirie

Le stock de matière associé au réseau routier et à la voirie de la commune d'Orléans est proportionnel à la surface totale occupée par ce réseau. La couche de données « Routes » de la BD Topo de l'IGN, permet d'évaluer le linéaire et la largeur du réseau routier de la ville. La surface est extrapolée à partir du produit entre la largeur de chaque tronçon et sa longueur (données disponibles à partir de cette couche de la BDTopo). De cette manière, la surface totale est estimée à 2 177 164 m². La BD Topo distingue plusieurs types de voirie (cf. Tableau 4).

² SIG : Système d'Information Géographique

³ PE : Polyéthylène

	Bretelle	Chemin	Escalier	Piste cyclable	Quasi- autoroute	Route empierrée
Linéaire m	3 915	12 850	626	21 571	2 543	13 979
Surface m ²	8 696	38 549	1 878	64 713	17 800	55 917
	Route à 1 chaussée	Route à 2 chaussées	Sentier	Total		
Linéaire m	360 232	50 864	52 293	518 872		
Surface m ²	1 513 290	319 442	156 879	2 177 164		

Tableau 4 - Types de voirie, linéaires et surfaces distingués par la BD Topo de l'IGN
sur la ville d'Orléans.

À cela se rajoutent les surfaces des parkings et grandes zones de stationnement intégrées également dans la BD Topo ; ces différents éléments représentent une surface totale de 143 895 m² sur la commune d'Orléans.

- **Voie ferrée**

La commune d'Orléans est traversée par plusieurs lignes de chemin de fer : Orléans-Tours, Orléans-Paris, Les Aubrais-Malesherbes et Les Aubrais-Vierzon. Au total, toujours d'après la BD Topo de l'IGN, cet ensemble de lignes de chemin de fer représente une longueur totale de 28 671 m.

- **Ouvrages d'art**

Cinq ponts permettent le franchissement de la Loire sur la commune d'Orléans. Il faut rajouter à cette catégorie quelques échangeurs à plusieurs niveaux et des ponts au-dessus de la voie ferrée. L'estimation du volume de chaque ouvrage n'a pas été réalisée. Ces structures bien particulières diffèrent les unes des autres, tant au niveau âge qu'en termes de techniques constructives et de matériaux utilisés. Pour le pont de l'Europe, qui est le plus récent, il a été possible d'estimer le tonnage de matériaux utilisé, ces informations étant disponibles sur Wikipédia⁴.

Le territoire de la commune d'Orléans comporte également des digues (appelées « levées ») au sud de la Loire (protection contre les crues) et des murs de soutènement au niveau des passages semi-enterrés des axes routiers et de certains passages de la Loire. Au total selon la BD Topo ce sont 4 830 m linéaires de murs de soutènement et 2 738 m de digues côté sud Loire.

2.1.3. Collecte de données pour l'évaluation des flux de matière associés aux chantiers BTP

Évaluer les flux de matière en circulation nécessite de s'intéresser aux flux « Entrées » et « Sorties » dans le système (ville d'Orléans) associés aux activités BTP sur la période étudiée :

- pour les chantiers BTP : Quels matériaux sont utilisés ? En quelle quantité ? d'où viennent ces matériaux ?
- quels déchets / excédents de chantiers générés par les chantiers BTP ? Quelle quantité ? Quelle destination (localisation et mode de gestion) ?

⁴ [http://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_de_l'Europe_\(Orl%C3%A9ans\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_de_l'Europe_(Orl%C3%A9ans))

Tous les chantiers réalisés sur la période 2004-2006, qu'ils soient de maîtrise d'ouvrage privée ou publique ont été pris en compte : chantiers de construction, de réhabilitation, ou de déconstruction/démolition, chantiers sur les bâtiments, la voirie ou les réseaux.

Méthodologie d'acquisition des données

Pour la caractérisation des flux, le travail a consisté à recenser, en partenariat avec les services et directions de la ville, tous les chantiers BTP ayant eu lieu durant la période de référence. Tous les flux de matériaux, de produits entrants et sortants pour chaque chantier, ont ensuite été caractérisés (nature des matériaux, quantités utilisées, circuits de production et de distribution, etc.) par le biais de la consultation des documents administratifs conservés dans les dossiers d'archives par les acteurs concernés.

Les données spécifiques aux chantiers ont été complétées à partir d'autres sources d'informations⁵. De plus, une enquête à destination des entreprises du BTP, réalisée en partenariat avec l'UNICEM Centre qui regroupe une grande partie d'entre elles, a été menée dans l'objectif d'identifier au mieux les lieux d'extraction, de production, de distribution, et d'utilisation des matériaux de carrières consommés sur les chantiers identifiés, ainsi que les exutoires spécifiques des déchets générés (cf. figure 11).

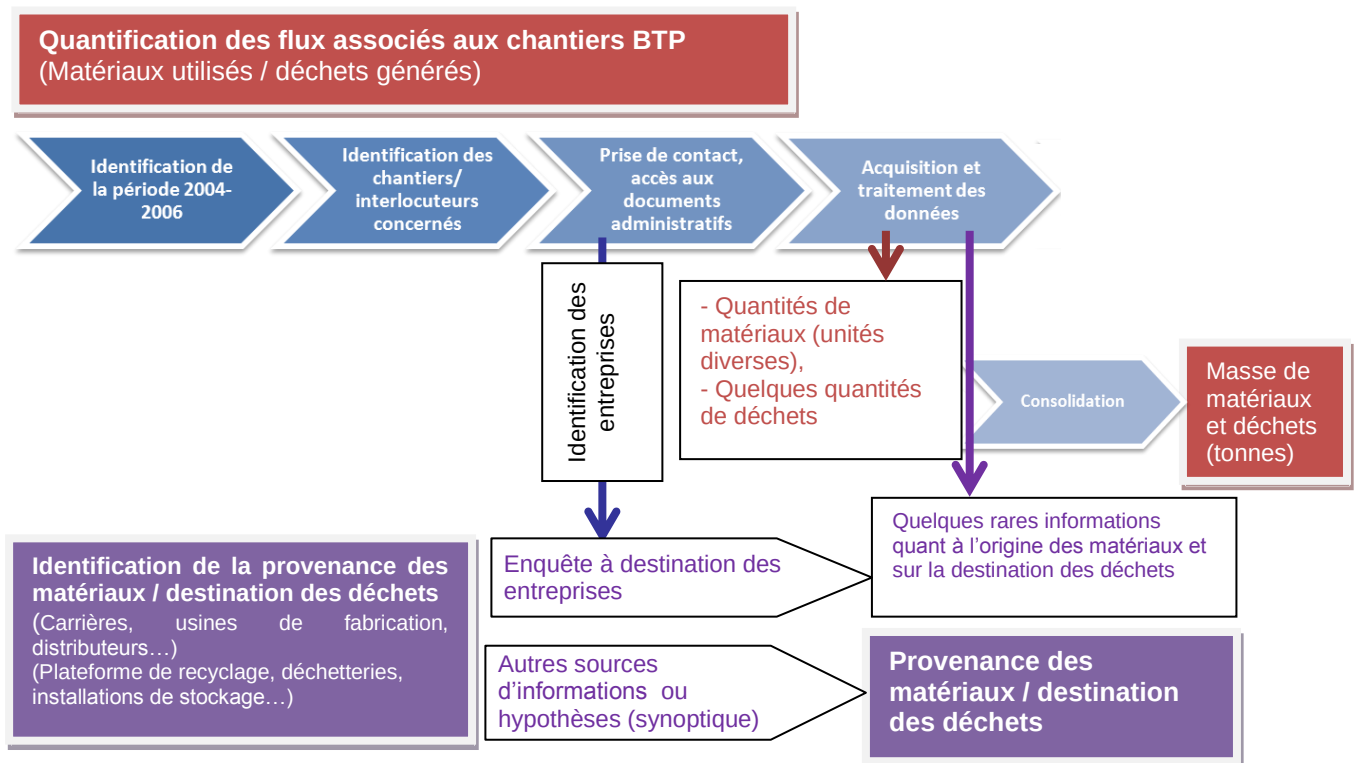


Figure 11 - Méthodologie d'acquisition des données.

⁵ CER BTP, Plan département des déchets du BTP, Observatoire des matériaux, schémas départementaux des carrières, études bibliographiques, dires d'experts, etc.

Identification des chantiers concernés

• Éléments de contexte

Sur un même territoire, les champs de compétences de la maîtrise d'ouvrage publique sont entremêlés entre la ville et l'agglomération (AGGLO) (pour les voiries), entre la ville, le Conseil général (CG), l'OPH... pour le bâti, etc. (cf. Tableau 5).

Un « chantier » se définit pour ASURET comme une opération qui provoque une « entrée » ou une « sortie » de matériaux dans le stock dans un espace bien défini qui est le territoire de la commune d'Orléans.

Certaines opérations, complexes, sont réalisées au travers de plusieurs marchés attribués chacun à une ou plusieurs entreprises. L'étude d'un chantier peut dans ce cas nécessiter le dépouillement de plusieurs dossiers de marchés.

Certains marchés de travaux ne correspondent pas à cette définition dans le sens où ils peuvent concerner plusieurs communes, ou plusieurs lieux d'une même commune (voiries, réseaux...), ou encore porter sur des opérations d'entretien courantes.

Il faut distinguer les chantiers associés à des grands projets, dont la durée est par définition limitée (même s'il peut s'agir d'opérations de grande ampleur), des opérations courantes de maintenance, d'entretien, qui sont souvent concernées par ces marchés dits « à bons de commandes ».

	Détails	Compétence	Délégation
Chantiers Bâti		Ville / AGGLO / CG / OPH / autres	SEMDO (SEM pour la maîtrise d'ouvrage déléguée de la ville)
Chantiers Voirie	Voies structurantes d'intérêt communautaire	AGGLO	
	Autres	Ville	SEMDO (SEM pour la maîtrise d'ouvrage déléguée de la ville)
Chantiers Réseaux			Délégation d'exploitation
	Canalisation assainissement	AGGLO	
	Canalisation eau potable	Ville	Lyonnaise des eaux
	Canalisation gaz	Ville	GRDF
	Réseau électrique	Ville	ERDF

Tableau 5 - Champs de compétences de la maîtrise d'ouvrage publique.

• Accès à la donnée

- Maîtrise d'ouvrage publique

Les chantiers ont été identifiés lors des entretiens avec les maîtres d'ouvrage publics.

Ont été ainsi interviewés six interlocuteurs des services techniques de la ville d'Orléans (et un interlocuteur à l'Agglo), un représentant de la SEMDO (SEM pour la maîtrise d'ouvrage déléguée) et des offices publics de l'habitat (OPH).

- *Maîtrise d'ouvrage privée*

Pour les chantiers menés par des maîtres d'ouvrage privés, la base de données de la ville d'Orléans concernant les permis de construire/démolition a été utilisée (utilisation autorisée par la ville sous réserve de préserver l'anonymat du maître d'ouvrage).

• **Documents administratifs associés aux chantiers**

Pour chaque chantier, les documents de marché font apparaître, quel que soit le mode d'attribution :

- des éléments financiers associés à la réalisation de prestations, à l'achat et à l'approvisionnement des matériaux nécessaires à la réalisation de ces travaux et prestations, ou à la gestion des déchets générés ;
- des quantités, exprimées sous diverses unités (forfait, unité mètre cube, tonne, mètre carré...).

Ces quantités et ces prix sont parfois exprimés sous des formats qui rendent difficile leur rapprochement ou leur conversion en matière ou matériau (prix forfaité par exemple).

Les documents de marché les plus accessibles et les plus fréquemment dépouillés lors de l'étude sont ceux qui ont été remis par le prestataire au stade de la consultation des entreprises. Ils correspondent par ailleurs, à une prévision antérieure à la réalisation du chantier : devis, DQE (Détail Quantitatif Estimatif) ou DPGF (Décomposition du Prix Global et Forfaitaire).

Des documents techniques de fin de chantier de type DOE (Dossier des Ouvrages Exécutés) reprenant les quantités de matières et de matériaux réellement utilisés ont rarement été consultés. Le décompte financier après travaux réalisé en fin de chantier, nommé DGD (Décompte Général Définitif), est dans certains cas accompagné d'un bilan des quantités utilisées, mais ce n'est pas systématique.

• **Chantiers identifiés sur la période d'étude**

La synthèse et l'analyse des chantiers/opérations en cours sur la période d'étude peuvent être faites entre autres par :

- type de travaux (bati/voirie...) ;
- type de chantier (construction, réhabilitation ou démolition/déconstruction) ;
- grand projet ou opération courante ;
- localisation géographique ;
- maître d'ouvrage ;
- sources d'information.

Plus de 700 chantiers (grands projets ou opérations) ont ainsi été identifiés sur la période d'étude 2004-2006, dont 17 grands projets phares impulsés par les politiques publiques (cf. tableau 6).

	Nombre de chantiers	Type de travaux voirie/bâti	Type de chantier (Construction / réhabilitation / démolition)	Localisation géographique	Sources d'information	Maitrise d'ouvrage
Grands projets	17	18 % (voirie) / 82 % (bâti)	41 % réhabilitation 33 % démolition 24 % construction	<i>Centre-ville ou quartier de la source (en sud Loire)</i>	<i>Service technique ville (directions de l'urbanisme, des grands projets)</i>	Ville d'Orléans, Agglo (6 %), SEMDO (41 %), OPH (41 %), non connue (12 %)
Opérations courantes	698	9 % (voirie) / 91 % (bâti)	38 % réhabilitation 25 % démolition 37 % construction	<i>Orléans</i>	-	Toute
dont	62	Voirie	Réhabilitation	<i>Orléans</i>	<i>Service technique de la ville (direction de l'espace public)</i>	Ville d'Orléans
dont	201	Bâti	Réhabilitation		<i>Service technique de la ville (direction du patrimoine)</i>	
dont	175		Démolition		<i>BD permis de démolir</i>	Toute
dont	260		Construction		<i>BD permis de construire</i>	

Tableau 6 - Synthèse des chantiers en cours sur la période d'étude.

Tous chantiers confondus, les travaux de démolitions représentent, en nombre, un quart des chantiers, le reste se répartissant uniformément entre construction et réhabilitation. Plus de 90 % des chantiers concernent les travaux sur le bâti.

Un bilan partiel des surfaces construites et surfaces démolies sur la période fait état d'un accroissement de la surface construite de l'ordre de 167 000 m² SHOB. Ce bilan doit être considéré avec précaution puisque il n'est pas exhaustif et se base sur les seules informations que l'on a pu reconstituer.

Ces 700 chantiers sont détaillés dans le Tableau 7. Y sont également décrits les méthodes utilisées et les documents administratifs étudiés pour l'estimation des quantités de matériaux / déchets associés à ces chantiers, ainsi que les difficultés rencontrées.

Pour les chantiers associés à des grands projets, les documents administratifs ont pour la plupart pu être recueillis et étudiés (14 chantiers sur 17), la ville d'Orléans, l'agglomération ou la SEMDO ayant mis leurs archives à disposition du BRGM. L'estimation des quantités de matériaux/déchets associés à ces chantiers a été principalement faite sur la base des devis, DQE ou DPGF pour 11 chantiers sur 14. On a donc estimé ces quantités sur la base d'évaluation *ex-ante* et non pas des quantités constatées et évaluées *a posteriori*.

Au final, sur ces 700 chantiers (710 exactement), les données de 466 chantiers (soit 66 % des dossiers) se sont avérées exploitables, c'est-à-dire convertibles en quantités de matériaux ou déchets générés. Les problèmes rencontrés relèvent tous d'un défaut d'informations : dossier administratif n'ayant pas pu être localisé dans les archives, informations manquantes ou incomplètes dans les listings des opérations courantes ne permettant pas une traduction par quelque méthode que ce soit en quantité de matériaux/déchets.

Pour estimer les flux de matériaux/déchets associés à ces 466 chantiers, 63 documents administratifs ont dû être étudiés :

- listings des opérations courantes de la ville pour les opérations de réhabilitation du bâti sur le patrimoine communal ;

Type travaux VOIRIE/BATI	Type de chantier (Construction / réhabilitation / démolition)	Grands projets / opérations courantes	Nature des travaux	SHOB concernée ⁶	Sources d'information	Critères de sélection opérations retenues dans champ de l'étude	Nombre opérations retenues dans le cadre de l'étude	Maîtrise d'ouvrage	Méthodes utilisées / documents administratifs étudiés	Problèmes rencontrés	Résultats Information recueillies pour une traduction en quantité de matériaux	Résultats Traduction en quantité (déchets ou excédents de chantiers)
VOIRIE	Réhabilitation	Opérations courantes	Identification des opérations suivant la terminologie suivante : - <i>requalification</i> - <i>reprise / réfection</i> - <i>couche de roulement</i>	-	Ville d'Orléans (Direction de l'espace public)	Part des travaux facturés sur la période 2004 à 2006 supérieure à 50 % du montant des travaux	62 opérations (Ville, SEMDO et autres maîtres d'ouvrage publics)	Tous maîtres d'ouvrage publics	Utilisation de ratio en kg/ml de voirie selon nature travaux (réfection/ requalification) ou extrapolation basée sur ratios reconstitués en kg/euros suivant nature et montant des travaux	Manque informations pour extrapolation (nature des travaux non définie)	Quantité estimées en kg pour 91 % des montants des travaux concernés par ASURET (53 opérations sur 62)	0 % Pas de données ni d'extrapolation possible
VOIRIE	Réhabilitation	Grands projets	Opération quai de Loire : aménagement (hors pavage et travaux sur l'écluse et le bassin)	-	Communauté d'agglo Orléans Val de Loire - Direction Territoires, Infrastructures et D. Durable	Période d'étude	1 (1 seul marché pour la période d'étude concerné)	AGGLO	DGD (décompte général définitif)	Informations incomplètes sur les matériaux utilisés / déchets générés (forfait...)	Quantités estimées en m ² , m ³ ...	OUI
			Requalification du centre ancien (18 000 m ² de pavés posés)	-	Ville d'Orléans (direction de l'urbanisme - opération centre- ville)	Période d'étude	1	SEMDO	-	documents administratifs non accessibles dans délai étude	Information partielle et quantités estimées en m ²	0%
VOIRIE	Construction	Grands projets	Premiers travaux de voirie permettant la création de nouvelles voies, de squares et des aménagements	-	Ville d'Orléans (Direction de l'urbanisme / mission Grand projet de ville - Orléans la Source)	Période d'étude	1	SEMDO	DPGF (Décomposition du Prix Global et Forfaitaire)	Informations incomplètes sur les matériaux utilisés / déchets générés (forfait...)	Quantités estimées en m ² , m ³ ...	OUI
BATI	Réhabilitation	Grands projets	Résidentialisation (lot VRD / maçonnerie)	-	Ville d'Orléans (Direction de l'urbanisme / mission Grand projet de ville - Orléans la Source)	Période d'étude	1 (3 marchés)	SEMDO	3 devis basés sur des bordereaux de prix unitaires	Informations incomplètes sur les matériaux utilisés / déchets générés (forfait...)	Quantités estimées en m ² , m ³ ...	NON (forfait)
			Réhabilitation par le bailleur OPH d'Orléans de 64 logements (chantier n°1), 44 logements (chantier n°2), 60 logements (chantier n°3)	-		Période d'étude	3 (9 marchés)	OPH d'Orléans	9 DPGF (Décomposition du Prix Global et Forfaitaire)			En partie (souvent au forfait pour la dépose)
			Chantier des halles NORD : restructuration et rénovation Hall Nord Chatelet	-	Ville d'Orléans (direction de l'urbanisme - opération centre- ville)	Période d'étude	1 (7 marchés)	SEMDO	Devis			En partie (souvent au forfait pour la dépose)

⁶ La Surface hors œuvre brute (SHOB) est estimée par une géolocalisation des chantiers dans un système d'information géographique et utilisation de la BD Topo IGN

Type travaux VOIRIE/BATI	Type de chantier (Construction / réhabilitation / démolition)	Grands projets / opérations courantes	Nature des travaux	SHOB concernée ⁶	Sources d'information	Critères de sélection opérations retenues dans champ de l'étude	Nombre opérations retenues dans le cadre de l'étude	Maîtrise d'ouvrage	Méthodes utilisées / documents administratifs étudiés	Problèmes rencontrés	<u>Résultats</u> Information recueillies pour une traduction en quantité de matériaux	<u>Résultats</u> Traduction en quantité (déchets ou excédents de chantiers)
		Opérations courantes	Restauration des extérieurs, menuiserie, rénovation, réfection des murs, ...	-	Ville d'Orléans (direction du patrimoine)	(i) Facturation des travaux dans la période d'étude (ii) Nature des opérations dans le champ de l'étude ⁷	201	Ville d'Orléans	Méthodologie en plusieurs étapes ⁸		Quantité estimées en kg, m ² , m ³ ... pour 50 % du montant des opérations (73 opérations sur 201) : sélection opérations significatives,	
BATI	Démolition	Grands projets	Démolition de la ZAC Sonis / Coligny	-35 700 m ²	Ville d'Orléans (direction de l'urbanisme, étude urbaine)	Période d'étude	2	-	Documents administratifs non reçus		-	100 % chantiers de démolition identifiés par type bâtiment et surface (opérations courantes de démolition)
BATI	Démolition	Opérations courantes	Démolition de bâtiments (bureaux / scolaire, collectif, habitat du centre-ville, bâti industriel ou militaire, lotissement / pavillon)	- 28 900 m ² SHOB	Ville d'Orléans (direction de l'urbanisme - droit des sols)	(i) Date de début de chantier entre 2004 et 2006 (ii) Petits chantiers non pris en compte (supposés de type aménagement)	170	Tous maîtres d'ouvrage	<u>Etape 1</u> : Exploitation BDD permis de démolir. Petites opérations non prises en compte <u>Etape 2</u> : travail (SIG) géolocalisation chantiers et délimitation du contour du bâtiment démoli sur images aériennes	Pas de données sur date fin chantier, nombre bâtiments démolis et surface, impossibilité de localiser bâtiment démoli (changement BD cadastre).	-	37 % soit 63 sur 170 chantiers de démolition identifiés par le <u>type⁹ de bâtiment</u> concerné et sa <u>surface</u> (SHOB) ¹⁰
BATI	Démolition	Grands projets	Démolition de quatre immeubles de 44, 92, 34 et 34 logements chacun	- 6 568 m ² SHOB	Ville d'Orléans (Direction de l'urbanisme / mission Grand projet de ville - Orléans la Source)	Période d'étude	3 (3 marchés)	OPH	Devis	Informations incomplètes sur les déchets générés (forfait...)	-	En partie (majoritairement au forfait)
			ZAC des halles - démolition des immeubles POMONO GRATTET	Non connu	Villes d'Orléans grands projets centre-ville	Période d'étude	1 (1 seul marché dans la période d'étude)	SEMDO	Devis	Information sur types de déchets et quantités mais sans destination précise	-	100 %
BATI	Construction	Grands projets	Construction de 25 logements (ZAC)	3 900 m ²	Ville d'Orléans (Direction de l'urbanisme / mission Grand projet de ville - Orléans la Source)	Période d'étude	1 (11 marchés)	OPH	11 devis basés sur des bordereaux de prix unitaires	Informations partielles sur matériaux utilisés et déchets générés (forfait...)	Quantités estimées en m ² , m ³ ...	NON (forfait)
			Complexe sportif La Source	3 800 m ²		Période d'étude	1 (9 marchés)	SEMDO	9 Décomposition du Prix Global et Forfaitaire		Quantités estimées en m ² , m ³ ...	NON (forfait)

⁷ Hors travaux de peinture...

⁸ Etape 1 : Sélection des opérations les plus significatives (montant minimum de 70 000 €), Etape 2 : Définition d'une typologie d'opérations (nature des opérations); les opérations très spécifiques / particulières ne sont pas prises en compte, Etape 3 : Estimation des quantités de matériaux utilisés rapportés au montant des travaux sur des opérations « type » (estimation d'après l'étude des documents administratifs disponibles), Etape 4 : Extrapolation des quantités de matériaux utilisés sur l'ensemble des opérations retenues en utilisant une répartition des opérations suivant leur nature et les ratios estimés à l'étape 3 pour chaque opération « type » identifiée et étudiée par nature d'opération.

⁹ Type de bâtiments parmi les suivants : bureaux/scolaire, collectif, habitat du centre-ville, bâti industriel ou militaire, lotissement/pavillon

¹⁰ Pour les autres chantiers, le bâtiment concerné n'a pas pu être géolocalisé sur SIG (pas d'information disponible en termes de surface ou autres permettant d'appliquer des ratios pour obtenir des flux de déchets associés aux chantiers)

Type travaux VOIRIE/BATI	Type de chantier (Construction / réhabilitation / démolition)	Grands projets / opérations courantes	Nature des travaux	SHOB concernée ⁶	Sources d'information	Critères de sélection opérations retenues dans champ de l'étude	Nombre opérations retenues dans le cadre de l'étude	Maîtrise d'ouvrage	Méthodes utilisées / documents administratifs étudiés	Problèmes rencontrés	Résultats Information recueillies pour une traduction en quantité de matériaux	Résultats Traduction en quantité (déchets ou excédents de chantiers)
BATI	Construction	Opérations courantes	Construction de bâtiments (pavillon, collectif, bureaux ou scolaire, industriel ou sportif)	+ 212 500 m ² SHOB (195 400 m ² SHON)	Ville d'Orléans (direction de l'urbanisme - droit des sols)	(i) Demande de permis faite entre 2004 et 2006 (ii) chantier achevé avant le 1er janvier 2007 (iii) permis pour construction neuve	260 (bâtiments)	Tous maitres d'ouvrage	Etape 1 : Exploitation BDD permis construire pour identifier chantiers et localiser parcelle Etape 2 : Somme des surfaces construites et nombre de bâtiments par type de bâti	Type bâti non précisé pour certains chantiers Impossibilité de localiser toutes les parcelles construites. Petites opérations exclues	100 % 252 sur 260 bâtiments identifiés par type de bâti ¹¹ + hypothèses faites sur les 8 bâtiments restants	0 % Pas de données ni d'extrapolation possible
		Grands projets	Chantier des halles EST (réalisation d'un ensemble immobilier en extension Est des halles Châtelet)	Non connu	Ville d'Orléans (direction de l'urbanisme - opération centre- ville)	Période d'étude	1 (14 marchés)	SEMDO	Décomposition du Prix Global et Forfaitaire	Informations incomplètes sur les matériaux utilisés / déchets générés (forfait...)	Quantités estimées en m ² , m ³ ...	En partie (souvent au forfait pour la démolition)

Tableau 7 - Détails des chantiers en cours sur la période d'étude, méthodologie utilisée pour l'estimation des quantités de matériaux utilisés et déchets générés et difficultés rencontrées.

¹¹ Type de bâtiments parmi les suivants : pavillon, collectif, bureaux ou scolaire, industriel ou sportif

- listing des opérations courantes de la ville pour les opérations de réhabilitation de l'espace public (voiries dont l'entretien est de la responsabilité de la ville) ;
- base de données de la ville d'Orléans concernant les permis de construire et de démolition ;
- 59 dossiers administratifs associés à des marchés de travaux (les chantiers retenus dans l'étude se décomposent, administrativement parlant, en 1 à 14 marchés (découpage par lots).

Une analyse critique de la disponibilité, de la fiabilité et des défauts de cohérence des données obtenues a été réalisée (voir chapitre 4.1.1.).

Matériaux de construction et approvisionnement

Les distances d'approvisionnement, associées au mode de transport utilisé, ont une influence sur le bilan environnemental global des opérations de BTP. Elles dépendent de la nature du besoin (caractéristiques nécessaires du matériau), de sa disponibilité plus ou moins locale, des techniques d'emploi du matériau (associées à un besoin spécifique) ainsi que des prescriptions techniques pouvant être imposées par le maître d'ouvrage ou maître d'œuvre (sur des critères esthétiques ou techniques).

Ces critères d'ordre technique ne sont toutefois pas les seuls à conditionner les distances d'approvisionnement. Le type de chantier, son mode d'attribution (par lots ou à une entreprise générale par exemple), les contraintes économiques du moment, les pratiques de « l'utilisateur » du matériau, qui ne s'approvisionne pas dans les mêmes conditions ou au même endroit selon qu'il s'agit d'un artisan, d'une PME ou d'une grande entreprise du BTP (qui pourra par ailleurs faire le choix de privilégier ou non un fournisseur appartenant au même groupe qu'elle), mais aussi les conditions de desserte du chantier par rapport aux sources d'approvisionnement sont autant de facteurs qui vont affecter l'organisation des flux.

Une liste des différents matériaux utilisés dans les chantiers de la ville d'Orléans a été établie grâce au dépouillement des dossiers. La qualité parfois imprécise de l'information n'a pas permis de détailler les quantités utilisées pour l'ensemble des matériaux. Certains matériaux sont intégrés dans des forfaits sans précision d'unité.

L'information sur la provenance des matériaux n'est jamais disponible sur ce type de document, antérieur à la réalisation du chantier (dossier d'offre de l'entreprise) ou n'a pas été conservée dans les dossiers d'archives.

Une enquête a été réalisée auprès des entreprises attributaires de ces travaux, pour recueillir *a posteriori* des informations supplémentaires, notamment sur la provenance des matériaux et la distance d'approvisionnement par rapport au chantier. Une liste de 19 entreprises a été identifiée à partir des dossiers de chantiers dépouillés et le questionnaire a été adressé à 15 d'entre elles. Trois entreprises ont retourné le questionnaire complété (taux de retour : 20 %).

Les données récoltées par le questionnaire permettent de dessiner un rayon d'approvisionnement qui est principalement contenu à l'échelle du département et de la région. Il est noté également que l'ensemble de ces matériaux a été acheminé par camions.

Les déchets ont été pour partie envoyés vers des plateformes locales (< 20 km) et pour partie transformés sur le chantier (notamment, des déchets végétaux broyés sur chantier pour produire des granulés de chauffage).

Malgré le soutien de l'UNICEM et de la Fédération du Bâtiment, qui se sont impliquées avec leurs adhérents pour essayer de retrouver les informations nécessaires, il a été difficile aux entreprises de fournir des informations précises en raison de l'ancienneté des chantiers (6 à 8 ans avant l'envoi du questionnaire). L'information sur la provenance des matériaux des chantiers BTP de la ville d'Orléans n'est donc pas complète.

Afin d'émettre néanmoins des hypothèses sur la provenance des matériaux, des synoptiques ont été réalisés pour chaque famille de matériaux (béton, plastique, métaux, etc.). Basés sur des informations générales, ces synoptiques proposent des chemins d'approvisionnements possibles pour chaque famille de matériaux.

Gestion des déchets de chantiers et destination

Dans le plan départemental du BTP du Loiret (juin 2007), il est fait constat que globalement, 80 % des déchets du bâtiment échappent aux déchetteries et aux installations de stockages. Ce chiffre très élevé ne tient cependant pas compte :

- de la réutilisation des inertes ;
- des filières dédiées ;
- et des déchets qui sont :
 - amenés en déchetteries, mais non comptabilisés en tant que déchets des professionnels (en particulier déposés dans les bennes de « tout venant »),
 - déposés en décharges brutes communales, décharges sauvages,
 - brûlés sur chantier ou sur autres lieux non identifiés,
 - éliminés avec les ordures ménagères (collecte en porte à porte),
 - déversés dans les égouts (produits liquides...).

La plupart de ces modes d'élimination sont non conformes à la réglementation.

Déchetteries publiques à vocation communale ou intercommunale ouvertes au BTP	4 (proches des chantiers BTP)
Centres de recyclage inertes	7
Centres de stockage de classe 2 (déchets non dangereux)	4
Centres de stockage de déchets inertes (classe 3)	3
Plateformes de regroupement et de tri	7
Plateformes de regroupement métaux / plastiques	6
Carrières ¹²	25
Autres types de centres	3
Incinérateurs d'ordures ménagères	3

Tableau 8 - Type et nombre d'exutoires pour les déchets des chantiers BTP dans le département du Loiret (45).

¹² Environ 25 carrières acceptent en remblaiement des matériaux de type inerte, conformément aux prescriptions de leur arrêté préfectoral d'exploitation (et refusent les gravats de démolition mélangés contenant du plâtre, le bois, les plastiques, la moquette et les déchets verts et les souches).

D'autres documents traitent de la gestion des déchets BTP dans la région, mais il s'agit de documents anciens¹³, comme le plan déchets, qui ne reflètent pas de la situation actuelle.

Les exutoires possibles sur la période considérée pour les déchets de chantier BTP ont pu être identifiés et localisés en compilant différentes sources d'informations (cf. tableau 8). On s'est intéressé aux déchetteries potentiellement les plus proches des chantiers étudiés (quatre déchetteries retenues) et aux exutoires possibles à l'échelle du département dans le Loiret.

Les sources d'information consultées ont été les suivantes :

- base de données de la Fédération Française du Bâtiment : identification de tous centres publics /privés hors déchetteries publiques dans le Loiret (<http://www.dechets-chantier.ffbatiment.fr/>) ;
- base de données SINOE de l'ADEME (<http://www.sinoe.org/>) ;
- plan déchets du BTP du Loiret ;
- service technique de l'agglomération orléanaise pour les déchetteries publiques.

L'objectif est d'estimer la quantité de déchets de chantier générée par les chantiers BTP de la ville d'Orléans sur la période 2004-2006 et leur destination (mode de gestion et localisation des exutoires concernés) puis de confronter ces données aux quantités de matériaux utilisés pour les chantiers BTP de la ville sur la même période.

Pour cela, nous avons cherché à estimer, parmi le gisement de déchets réceptionnés par chaque exutoire (estimés annuellement généralement), la part des déchets qui proviendraient des chantiers BTP d'Orléans.

L'exercice n'a pu être réalisé que pour les déchets réceptionnés dans les déchetteries de l'agglomération (déchetteries publiques à vocation intercommunale ouvertes au BTP), sur la base d'une estimation faite sur l'année 2006.

Six déchetteries sont gérées par l'agglomération et accessibles aux particuliers et aux professionnels. Depuis 2006, tout usager professionnel est identifié par sa carte d'accès à chaque dépôt de déchets. 387 professionnels ont été ainsi identifiés par leur apport de déchets dans les six déchetteries publiques de l'agglomération dont les activités se réfèrent à la construction de bâtiment, génie civil ou travaux de construction spécialisés.

Selon l'Agglo qui nous a donné accès à sa base de données des apports de déchets des professionnels, quatre déchetteries sur les six de l'agglomération recevraient (en raison de leur localisation géographique) les déchets des professionnels du BTP issus des chantiers réalisés sur le territoire d'Orléans.

À partir de cette base de données des apports de déchets en déchetterie et des hypothèses retenues (quatre déchetteries concernées sur six, dépôts pour les années 2004 et 2005 considérés comme identiques à ceux enregistrés en 2006), il a pu être estimé que près de 7 000 tonnes de déchets issus de chantiers BTP réalisés sur le territoire de la ville entre 2004-2006 auraient pu être déposés en déchetteries, avec en termes de composition pondérale, 2 % de déchets ferreux, 41 % de déchets inertes (valorisables en remblai par exemple) et 57 % de

¹³ DREAL (2004) Déchets BTP en région Centre, DREAL, DRE Centre (2004) SYNTHÈSE DES PLANS DÉPARTEMENTAUX DE GESTION DES DÉCHETS DU BTP EN RÉGION CENTRE, novembre 2004

tout-venants destinés à être enfouis en installation de stockage. À titre comparatif, les déchets totaux estimés sur la période s'élèveraient à 147 000 tonnes.

2.2. À L'ÉCHELLE DES CHANTIERS EN BOUCHES-DU-RHÔNE

2.2.1. Objectif

Il s'agit de suivre les flux de matières associés aux travaux de construction et de démolition de trois ouvrages :

- école Jules Ferry : démolition des bâtiments existants et construction neuve ;
- collège Vallon Toulouse à Marseille : démolition et reconstruction ;
- collège Arenc Bachas à Marseille : construction neuve.

Les objectifs recherchés au travers de cette étude de cas sont de plusieurs ordres :

- déterminer la nature et la disponibilité des données relatives à un chantier à l'échelle d'un ouvrage ;
- dresser un bilan des entrées / sorties « réelles » à l'échelle de l'ouvrage, en termes quantitatifs, mais aussi qualitatifs ;
- comparer le bilan des entrées / sorties « réelles » avec les prévisions initiales sur lesquelles le projet a été défini et le marché de travaux attribué ;
- tracer l'origine et la destination des matériaux utilisés ou produits (déchets, excédents) depuis leur lieu d'origine (production et / ou transformation) jusqu'aux exutoires éventuels ;
- évaluer l'augmentation du stock de matière associée à la réalisation de l'ouvrage, dans le patrimoine du Maître d'ouvrage (CG13¹⁴) ;
- procéder à un retour d'expérience sur l'exercice, afin de voir dans quelles conditions une collecte des données pertinente pourrait être organisée et systématisée dès la conception du projet et la passation des marchés de travaux dans le cadre de chantiers.

2.2.2. Sélection des chantiers suivis

Les projets « observés » ont été sélectionnés en tenant compte des plannings d'exécution compatibles avec le calendrier du projet de Recherche d'ASURET.

Comme le montre la Figure 12, les délais de conception/réalisation de ce type d'ouvrage sont très longs. Il n'était pas possible, dans la durée du projet ASURET (36 mois), d'accompagner un projet depuis la demande initiale formulée par le Maître d'ouvrage jusqu'à l'achèvement complet de l'ouvrage.

La collecte des données a donc été organisée à partir de l'analyse des pièces de marchés telles que les DPGF¹⁵ et les DQE¹⁶ dont certaines données peuvent permettre d'estimer les quantités de matières *a priori* nécessaires à la réalisation de l'ouvrage.

¹⁴ CG13 : Conseil Général des Bouches-du-Rhône

¹⁵ DPGF : Décomposition du Prix Global et Forfaitaire.

¹⁶ DQE : Détail Quantitatif Estimatif.

Toutes les phases antérieures au chantier, notamment celles qui ont conduit à l'élaboration du projet, n'ont pas été prises en compte. Le processus qui a conduit à la transformation de la demande initiale du Maître d'ouvrage en quantités de matériaux n'est ainsi pas décrit.

Ainsi, il n'est pas possible d'évaluer en quoi les choix architecturaux et techniques et les critères retenus aux différentes étapes de maturation du projet, voire au moment de l'attribution du marché, ont pu influencer la composition de ces flux.

À titre d'exemple, le choix d'un ouvrage privilégiant une structure métallique, bois ou béton aura nécessairement influencé le flux de matériaux et sa composition ; il en sera de même par l'intégration de contraintes de type HQE¹⁷ ou BBC¹⁸ au cahier des charges.



Figure 12 - Déroulement temporel d'un projet d'aménagement.

2.2.3. Analyse préalable des dossiers techniques

Dans un premier temps, les dossiers techniques (DCE et DPGF), décrivant les travaux de chaque lot (cf. tableau 9), ont été consultés et analysés.

¹⁷ HQE: Haute Qualité Environnementale. BBC: Bâtiment Basse Consommation.

¹⁸ BBC : Bâtiment Basse Consommation



Figure 13 - Vue de l'école Jules Ferry à Septèmes-les-Vallons (13).

<i>Lot</i>	<i>Désignation</i>
1	Démolitions - Désamiantage
2	G. Oeuvre - Etanchéité - Cloisons doublages - Menuiserie Intérieure - Serrurerie - Peinture
3	Charpente Métallique
4	Menuiseries Extérieures et occultations
5	Revêtements sols et muraux et faux plafonds
6	Electricité - CVC - Plomberie
7	Equipements de cuisine
8	Ascenseurs
9	Voiries - Réseaux Divers
10	Espaces Verts
11	Equipements sportifs
12	Mur d'Escalade

Tableau 9 - Exemple des lots du collège Vallon Toulouse (13).

L'analyse des DPGF (cf. tableau 10) et des DQE montre que les quantités sont identifiables et exprimées en m³, m², ml, kg ou encore en unité. La classification en unité, qui concerne souvent des équipements préfabriqués (menuiseries, ascenseurs...), ne permet pas de connaître même de façon approximative, les quantités de matière en jeu.

De même, certains postes peuvent également être agrégés en forfait, ce qui en limite la précision. C'est très souvent le cas des déchets dans les marchés de travaux.

Il n'a donc pas été possible de se restreindre à la seule utilisation de ces documents pour recueillir l'ensemble des données de flux nécessaires.

	LOT N° 01 - DESAMANTAGE - DEMOLITIONS				Phase 2 : Collège	
N° art.	Désignation des ouvrages	U	Qtés	P.Unit	Montant	S/total
1.3.2	Désamiantage					
1.3.2.1	Prescriptions particulières au désamiantage	PM				
1.3.2.2	Visite et diagnostic complémentaire avant démolition	Ff	1,00			
1.3.2.3	Traitement des déchets	Ff	1,00			
1.3.2.4	Evacuation et transport des déchets vers CET1	Ff	1,00			
1.3.2.12	Traitement et évacuation des allèges en façade	m²	768,00			
2.3.2	Démolitions proprement dites					
2.3.2.1	Déconstruction	Ff	1,00			
2.3.2.2	Démolitions	Ff	1,00			
2.3.2.3	Remise en état des emprises foncières	Ff	1,00			

Tableau 10 - Exemple de DPGF (Décomposition du Prix Global et Forfaitaire) d'un lot de désamiantage d'un des trois chantiers suivis (Conseil général des Bouches-du-Rhône).

2.2.4. Création de questionnaires de collecte de données

Afin d'affiner la connaissance des quantités réellement mises en œuvre par ouvrage, Treize Développement a effectué un suivi de chaque lot sur la durée des chantiers. Un questionnaire reprenant la désignation des travaux et des matériaux nécessaires à chaque corps d'état a été conçu et remis au chef de chantier du mandataire du lot de travaux (cf. tableau 11).

Une fréquence de renseignement mensuelle du questionnaire a été demandée pour maintenir une dynamique et identifier d'éventuels pics de consommation de matière. Ce questionnaire a été adapté à chaque chantier, de façon à s'adapter aux pratiques sémantiques des entreprises. Le travail de synthèse et de recollement a été effectué en s'appuyant sur les compétences des membres du consortium ASURET.

Ce questionnaire reprend, outre les éléments du DPGF, un certain nombre d'informations complémentaires comme le mode de livraison des matériaux sur site (nature du fournisseur et type de véhicule) ainsi que la destination des excédents.

Par ailleurs, pour estimer le rayon d'influence de la construction de l'ouvrage en termes de transport, une analyse de la provenance des principaux constituants de base des ouvrages du bâtiment, à savoir le béton armé (granulats, ciments, aciers) a été menée.

Chantier : COLLEGE Vaillon TOULOUSE											
Lot : 9 VRD											
Période :											
matériaux	informations	Quantités livrées	Unité de quantités	Fiche Produit oui/non	Si achat par distributeur : dénomination distributeur	Si achat par distributeur : commune du distributeur	Si achat par distributeur : référence produit	Si achat direct fabricant : dénomination fabricant	Si achat direct fabricant : commune fabricant	Véhicule utilisé pour livraison matériaux	destination des excédants
Remblais et Déblais											
Déblais réutilisés			m3								
galets roulés 30/100			m3								
grave ciment	Norme NFP 11 300		m3								
grave naturelle non traitée 0/80	Norme NFP 11 259		m2								
grave naturelle non traitée 0/31,5	Norme NFP 11 300		m3								
granulats			m3								
graviers			m3								
sable			m3								
Terre végétale			m3								
Tout-venant 0/40			m3								
Ballast 20/40			m3								
Ballast 40/60			m4								
Autre remblais apport extérieurs			m3								

Tableau 11 - Exemple de questionnaire de suivi des quantités par lot (chantier du collège Vallon TOULOUSE).

3. Consolidation des données

3.1. STOCK DE MATIÈRE IMMOBILISÉE

L'évaluation du stock de matériaux est basée, pour la ville d'Orléans, sur une modélisation des différents ouvrages dans lesquels la matière et les matériaux sont accumulés.

3.1.1. Bâtiments

La consolidation des données et la modélisation des bâtiments ont été effectuées à partir des informations recueillies par le BRGM et présentées dans le chapitre 2.1.2 : zone, typologie des ouvrages, période de construction, système constructif, surface hors d'œuvre brute.

Pour chaque type d'ouvrage, la modélisation a permis de déterminer des ratios des quantités de matériaux et de produits de construction consommées (stockées) par m² de SHOB, et ce pour les éléments de structure (fondation, planchers, éléments verticaux), de charpente et couverture, de menuiserie extérieure et intérieure, d'isolation et de cloisonnement (cf. tableaux 12 à 24).

L'incertitude sur les données calculées provient à la fois de l'estimation des métrés et à la fois du choix des produits associés. L'incertitude moyenne relative associée aux métrés est estimée à 20 %, celle associée aux produits, à 10 %.

Habitat ancien/petit commerce (centre historique) : R+2, ossature bois, remplissage brique, fondation pierre et charpentes en bois.

Functionalité	Famille de produit/Produit	Masse en kg/m ² SHOB	Nature des matériaux
Structure	Fondations	416,67	pierres
Structure	Ossature bois	28,89	bois
Structure	Mur de refend : ossature bois	14,44	bois
structure	Remplissage facade : brique de terre ou torchi	277,78	terre, terre/paille
structure	Remplissage mur refend : brique de terre	138,89	terre, terre/paille
Isolation	Mur et toiture	2,00	laine minérale
Cloison	Brique de cloison en terre cuite	30,00	terre cuite
Revêtement mural et décoration rapportée	Enduit de plâtre	14,40	plâtre
Structure	Plancher	48,53	bois
Toiture	Couverture tuile	22,50	terre cuite
Toiture	Charpente	21,13	bois
Menuiserie extérieure	Verre : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,40	verre
Menuiserie extérieure	Bois : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,68	bois
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Portes palières bois	1,00	bois
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure bois	2,40	bois
Porte d'entrée d'immeuble	Porte d'entrée bois	0,18	bois

Tableau 12 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser l'habitat ancien et le petit commerce – Structure en ossature bois (centre historique de la ville d'Orléans).

Habitat ancien/petit commerce (centre historique, centre-ville) : R+2, Maçonnerie en pierre, planchers et charpentes en bois.

Fonctionnalité	Famille de produit/Produit	Masse en kg/m ² SHOB	Nature des matériaux
Structure	Fondation	442,31	pierre
Structure	Murs porteurs en pierres maçonneries	943,59	pierre
Structure	Murs en briques maçonneries	98,61	terre cuite
Structure	Murs porteur en blocs béton pleins	368,59	bloc béton
Isolation	Isolant laine de verre 50 mm	1,08	laine minérale
Cloison	Briques de cloison	30,00	brique
Revêtement mural et décoration rapportée	Enduit de plâtre	14,40	plâtre
Structure	Plancher	48,53	bois
Toiture	Couverture tuiles	22,50	terre cuite
Toiture	Charpente	21,13	bois
Isolation comble perdues	Isolant laine de verre 200 mm	1,33	laine minérale
Menuiserie extérieure	Vitrage : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,40	verre
Menuiserie extérieure	Menuiserie : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,68	bois
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Portes palières bois	1,00	bois
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Portes intérieures bois	2,40	bois
Porte d'entrée d'immeuble	Portes d'entrée bois	0,18	bois

Tableau 13 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser l'habitat ancien et le petit commerce – Structure en maçonnerie (centre historique de la ville d'Orléans).

Habitat/petit commerce (centre-ville) : R+1, Maçonnerie mixte, planchers et charpentes en bois.

Fonction	Famille de produit/Produit	Masse en kg/m ² SHOB	Nature des matériaux
Structure	Fondations	312,50	pierre
Structure	Murs porteurs en pierres maçonnes	1200,00	pierre
Structure	Murs porteurs brique pleine maçonnes	125,40	terre cuite
Isolation des murs	Isolant laine de verre 50 mm	1,08	laine minérale
Cloison	Brique de cloison	30,00	terre cuite
Revêtement mural et décoration rapportée	Enduit de plâtre	14,40	plâtre
Structure	Plancher	54,60	bois
Toiture	Couverture tuile	33,75	terre cuite
Toiture	Charpente	31,69	bois
Isolation comble perdues	Isolant laine de verre 200 mm	2,00	laine minérale
Menuiserie extérieure	Vitrage : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,40	verre
Menuiserie extérieure	Menuiserie : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,68	bois
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	portes palières bois	1,13	bois
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure bois	2,55	bois
Porte d'entrée d'immeuble	Porte d'entrée bois	0,60	bois

Tableau 14 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser l'habitat ancien et le petit commerce – Structure mixte (centre historique de la ville d'Orléans).

Logement collectif (centre-ville, collectif) : période pré-1950. R+3, structure points porteurs en béton armé, remplissage maçonnerie, toiture tuile et charpente bois.

	Quantité en kg/m ² SHOB	Matériaux
Béton	1232,50	béton
Acier ferailage ou structure	21,25	acier
Escaliers béton	29,75	béton
Charpente bois	16,58	bois
Couverture tuile	14,45	terre cuite
Brique pleine	450,50	terre cuite
Plâtre	29,75	plâtre
Isolant de mur	1,02	laine minérale
Isolant de toiture	0,64	laine minérale
Brique de cloison	63,75	terre cuite
vitrage	1,70	verre
Menuiserie bois	2,13	bois
Portes bois	5,95	bois

Tableau 15 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement collectif) - Période pré-1950 – Structure poteaux porteurs en béton armé (centre ville d'Orléans).

Logement collectif (collectif) : période 1950-1970. R+5, structure points porteurs en béton armé
- remplissage extérieur en maçonnerie, toiture terrasse.

	Quantité en kg/m ² SHOB	Matériaux
Béton	1381,25	béton
Acier ferailage ou structure	29,75	acier
Etanchéité toiture : Revêtement d'étanchéité	5,83	asphalte sablé
Escaliers béton	35,90	béton/béton préfabriqué
Blocs béton	178,50	béton préfabriqué
Plâtre	29,75	plâtre
Isolant murs	1,75	laine minérale
Isolant toiture	0,50	polystyrène
Isolant plancher bas	0,50	polystyrène
Brique de cloison	63,75	terre cuite
vitrage	2,55	verre
Menuiserie pvc	1,70	pvc
Portes bois	5,95	bois

*Tableau 16 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement collectif -
Période 1950-1970 – Structure poteaux porteurs en béton armé (ville d'Orléans).*

Logement collectif (collectif) : période récente. R+3 sur 1 niveau de sous-sol, structure voile en
béton, toiture terrasse.

	Quantité en kg/m ² SHOB	Matériaux
Béton	1487,50	béton
Acier ferailage ou structure	38,25	acier
Bois de structure	17,85	bois
Etanchéité: Revêtement d'étanchéité	17,00	asphalte sablé
Escaliers béton	38,25	béton
Isolant de mur : doublage 100+13	4,93	plâtre
Isolant de mur : doublage 100+13	1,28	polystyrène
Isolant toiture	1,53	polyuréthane
Isolant plancher bas	1,02	polyuréthane
Cloison type placostyl	23,56	plâtre
Cloison type placostyl	1,96	acier
Cloison type placostyl	1,57	laine minérale
Vitrage	3,19	verre
Menuiserie pvc	2,13	pvc
Portes bois	4,25	bois

*Tableau 17 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement collectif récent -
Structure voile béton (ville d'Orléans).*

Logement individuel (lotissements) : période pré-1950. Maison individuelle, R+1 maçonnée en pierres naturelles, charpente bois, couverture en tuile.

Fonction	Famille de produit/Produit	Masse en kg/m ² SHOB	Nature des matériaux
Structure	Fondation pierre	227,68	pierre
Structure	Murs porteurs en pierres maçonnes	1457,14	pierre
Isolation	Isolant laine de verre 50 mm	1,40	laine minérale
Cloison	Brique de cloison	30,00	terre cuite
Revêtement mural et décoration rapportée	Enduit de plâtre	14,40	plâtre
Structure	Plancher	54,60	bois
Toiture	Couverture tuile	33,75	terre cuite
Toiture	Charpente	31,69	bois
Isolation comble perdues	Isolant laine de verre 200 mm	2,00	laine minérale
Menuiserie extérieure	Vitrage : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,40	verre
Menuiserie extérieure	Menuiserie : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,68	bois
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure bois	2,14	bois
Porte d'entrée d'immeuble	Porte d'entrée bois	0,86	bois

Tableau 18 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement individuel (lotissement) – Période pré-1950 – Structure maçonnée en pierres naturelles (ville d'Orléans).

Logement individuel (lotissements) : période 1950-1970. Maison individuelle, R+1, maçonnerie mixte pierre naturelle et bloc béton, charpente bois, couverture en tuile.

Fonction	Famille de produit/Produit	Masse en kg/m ² SHOB	Nature des matériaux
Structure	Fondations	227,68	béton
Structure	Murs porteurs en pierres maçonnées	546,43	pierre
Structure	Murs porteurs en blocs béton	145,71	bloc béton
Isolation	Isolant laine de verre 50 mm	1,40	laine minérale
Cloison	Brique de cloison	30,00	terre cuite
Revêtement mural et décoration rapportée	Enduit de plâtre	14,40	plâtre
Structure	Plancher	54,60	bois
Toiture	Couverture tuile	33,75	terre cuite
Toiture	Charpente	31,69	bois
Isolation comble perdues	Isolant laine de verre 200 mm	2,00	laine minérale
Menuiserie extérieure	Menuiserie : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,68	bois
Menuiserie extérieure	Vitrage : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,40	verre
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure bois	2,24	bois
Porte d'entrée d'immeuble	Porte d'entrée bois	0,90	bois

Tableau 19 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement individuel (lotissement) – Période 1950-1970 – Structure mixte pierre naturelle et bloc béton (ville d'Orléans).

Logement individuel (lotissements) : période récente. Maison individuelle, plain-pied maçonnerie bloc ou brique creuse, charpente bois, couverture en tuile.

Hypothèse de base : Maçonnerie blocs béton représente 80 % des constructions, maçonnerie briques creuses représente 20 %.

Fonction	Famille de produit/Produit	Masse en kg/m ² SHOB	Nature des matériaux
Structure	Fondation béton armé	199,29	béton
Structure	Fondation béton armé	1,77	acier
Structure	Murs porteurs en brique creuse	35,29	brique
Structure	Murs porteurs en blocs béton	260,57	bloc béton
Structure	Plancher bas béton armé	300,00	béton
Structure	Plancher bas béton armé	6,00	acier
Isolation des murs	Isolant laine de verre 100 mm	3,18	laine minérale
doublage	Plaque de plâtre	10,99	plâtre
Cloison	Plaque de plâtre	10,80	plâtre
Cloison	Plaque de plâtre	0,60	acier
Structure	Plancher haut	36,40	bois
Plafond	Plaque de plâtre	8,10	plâtre
Plafond	Plaque de plâtre	0,90	acier
Toiture	Couverture tuile	67,50	terre cuite
Toiture	Charpente	63,38	bois
Isolation combles perdues	Isolant laine de verre 200 mm	4,00	laine minérale
Menuiserie extérieure	Menuiserie : Fenêtres et portes-fenêtres en pvc	1,40	pvc
Menuiserie extérieure	Vitrage : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	2,10	verre
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure bois	2,14	bois
Porte d'entrée d'immeuble	Porte d'entrée bois	0,86	bois

Tableau 20 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le logement individuel (lotissement) – Période récente – Structure bloc béton dominante (ville d'Orléans).

Bâtiment commercial : Structure métallique, bardage et couverture acier laqué.

	Quantité en kg/m ² SHOB	Matériaux
Béton	400,00	béton
Acier de structure	37,00	acier
Acier armature	2,30	acier
Acier bardage couverture	36,50	acier
Isolant	4,00	laine minérale
Vitrage	2,00	verre
Cloison	1,80	plâtre
Cloison	0,15	acier

*Tableau 21 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le bâtiment commercial –
Structure métallique, bardage (ville d'Orléans).*

Bâtiment industriel : Structure métallique, bardage acier, toiture terrasse.

	Quantité en kg/m ² SHOB	Matériaux
Béton	400,00	béton
Acier de structure	40,00	acier
Acier armature	2,30	acier
Acier bardage couverture	41,00	acier
Isolation	4,00	laine minérale
Vitrage	0,60	verre
Etancheite	33,00	asphalte sablé
Cloisons	1,10	plâtre
Cloisons	0,09	acier

*Tableau 22 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le bâtiment industriel –
Structure métallique, bardage (ville d'Orléans).*

Bâtiment tertiaire ancien, bureaux : Maçonnerie en pierre (ou mixte pierre et briques/blocs béton), planchers et charpentes en bois.

Fonction	Famille de produit/Produit	Masse en kg/m ² SHOB	Nature des matériaux
Structure	Fondation	218,46	pierre
Structure	Murs porteurs en pierres maçonneries	1223,35	pierre
Isolation	Isolant laine de verre 50 mm	1,20	laine minérale
Cloison	Brique de cloison	30,00	terre cuite
Revêtement mural et décoration rapportée	Enduit de plâtre	14,40	plâtre
Structure	Plancher	48,26	bois
Toiture	Couverture tuile	22,37	terre cuite
Toiture	Charpente	21,01	bois
Isolation combles perdues	Isolant laine de verre 200 mm	1,33	laine minérale
Menuiserie extérieure	Menuiserie : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,68	bois
Menuiserie extérieure	Vitrage : Fenêtres et portes-fenêtres en bois	1,40	verre
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure bois	2,25	bois
Porte d'entrée d'immeuble	Porte d'entrée bois	0,24	bois

Tableau 23 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser le bâtiment tertiaire ancien – Structure maçonnerie pierre (ville d'Orléans).

Bâtiments militaires : Hangars, structure mixte, façade maçonnerie (début XX^{ème}).

	Quantité en kg/m2 SHOB	Matériaux
Béton	500,0	béton
Acier de structure	50,0	acier
Acier armature	2,8	acier
Acier couverture	13,0	acier
Façade maçonnerie	100,0	brique terre cuite
Façade maçonnerie	200,0	pierre
Vitrage	0,5	verre
Cloison	1,2	brique
Parement	0,5	plâtre

Tableau 24 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les bâtiments militaires début XX^e – Structure mixte (ville d'Orléans).

3.1.2. Réseaux

La consolidation des données et la modélisation des différents types de réseaux ont été effectuées à partir des informations recueillies par le BRGM et présentées dans le chapitre 2.1.2. : réseaux d'électricité, réseaux de gaz, réseaux pour l'eau potable et réseaux d'assainissement.

Pour chaque type d'ouvrage, la modélisation a permis de déterminer des ratios de quantités de matériaux et produits de construction par mètre linéaire de réseau.

Les apports en matériaux nécessaires au remblaiement des tranchées ont été évalués en considérant des géométries classiques pour chaque type et diamètre de réseau. L'expérience montre que la réutilisation des matériaux excavés est rarement privilégiée lors de la pose des réseaux, au profit d'apports de matériaux extérieurs (sablons, tout venant, béton...).

- **Réseau électrique :**

Pour les réseaux « haute tension » et « basse tension », la modélisation considère des lignes enterrées.

Pour le réseau haute tension, le câble est de type HTA 3x240+95 en aluminium, de masse linéaire 4,15 kg/ml.

Pour le réseau basse tension, le câble est de type BT 3x240 en aluminium, de masse linéaire 3,76 kg/ml.

La modélisation comprend également 1,8 kg/ml de fourreaux et environ 875 kg de matériau de remplissage granulaire par ml de tranchée.

- **Réseau de gaz naturel :**

Pour le réseau de gaz naturel, la modélisation est basée sur l'utilisation de quatre types de matériaux pour les canalisations :

- les canalisations en polyéthylène haute densité (PEHD) :
 - diamètre 160 : 50 % des canalisations en PEHD, masse linéaire : 6,75 kg/ml ;
 - diamètre 125 : 30 % des canalisations en PEHD, masse linéaire : 4,13 kg/ml ;
 - diamètre 63 : 20 % des canalisations en PEHD, masse linéaire : 1,75 kg/ml ;
- les canalisations en acier :
 - diamètre 350 : 50 % des canalisations en acier, masse linéaire : 70 kg/ml ;
 - diamètre 150 : 50 % des canalisations en acier, masse linéaire : 20 kg/ml ;
- les canalisations en fonte :
 - diamètre 350 : 50 % des canalisations « autres », masse linéaire : 83 kg/ml ;
- les canalisations en PVC :
 - diamètre 160 : 50 % des canalisations « autres », masse linéaire : 7,5 kg/ml.

Les quantités de matériaux utilisées en remblaiement de tranchée ont également été prises en compte sous la forme de granulats en considérant des géométries (profondeur et largeur) courantes pour ce type d'ouvrage et en supposant que la tranchée a été remblayée avec des matériaux d'apport externes (ce qui est fréquemment le cas) :

- pour les canalisations d'un diamètre compris entre 63 et 160 mm : environ 940 kg granulats/ml de tranchée ;
- pour les canalisations d'un diamètre de 350 mm : environ 1 620 kg granulats/ml de tranchée.

- **Réseau d'eau potable :**

Pour le réseau d'eau potable, la modélisation distingue le réseau de transport et le réseau de distribution.

Le réseau de transport est composé de conduites d'adduction en acier et fonte :

- 25 % du linéaire du parc sont supposés être des canalisations en acier d'un diamètre de 300 mm et d'une masse linéaire de 55 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 1 510 kg/ml de tranchée ;
- 50 % du linéaire sont supposés être des canalisations en acier d'un diamètre de 500 mm et d'une masse linéaire de 135 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 2 160 kg/ml de tranchée ;
- 25 % du linéaire sont supposés être des canalisations en fonte d'un diamètre de 300 mm et d'une masse linéaire de 81 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 1 510 kg/ml de tranchée.

Le réseau de distribution est composé de conduites en fonte, PVC et PEHD :

- 10 % du linéaire sont supposés être des canalisations en fonte d'un diamètre de 300 mm et d'une masse linéaire de 81 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 1 510 kg/ml de tranchée ;
- 10 % du linéaire sont supposés être des canalisations en fonte d'un diamètre de 150 mm et d'une masse linéaire de 33,5 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 940 kg/ml de tranchée ;

- 25 % du linéaire sont supposés être des canalisations en PVC d'un diamètre de 150 mm et d'une masse linéaire de 6,35 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 940 kg/ml de tranchée ;
- 25 % du linéaire sont supposés être des canalisations en PEHD d'un diamètre de 150 mm et d'une masse linéaire de 6,75 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 940 kg/ml de tranchée ;
- 30 % du linéaire sont supposés être des canalisations en PEHD d'un diamètre de 80 mm et d'une masse linéaire de 2,15 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 940 kg/ml de tranchée.

- **Réseau d'assainissement :**

Le réseau d'assainissement est composé de canalisations en béton, fonte, grès, PVC et PEHD :

- 70 % des canalisations sont en béton, d'un diamètre de 2 500 mm et d'une masse linéaire de 5 270 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 10 800 kg/ml de tranchée ;
- 10 % des canalisations sont en béton, d'un diamètre de 1 200 mm et d'une masse linéaire de 1 650 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 4 900 kg/ml de tranchée ;
- 6 % des canalisations en fonte d'un diamètre de 1 200 mm et d'une masse linéaire de 500 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 4 900 kg/ml de tranchée ;
- 3 % des canalisations sont en PVC d'un diamètre de 150 mm et d'une masse linéaire de 6,4 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 940 kg/ml de tranchée ;
- 1 % sont des canalisations en grès d'un diamètre de 600 mm et d'une masse linéaire de 225 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 2 300 kg/ml de tranchée ;
- 1 % sont des canalisations en grès d'un diamètre de 300 mm et d'une masse linéaire de 70 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 1 500 kg/ml de tranchée ;
- 1 % des canalisations sont en PEHD d'un diamètre de 315 mm et d'une masse linéaire de 25 kg. La quantité de granulats utilisée en remblai est estimée à 1 500 kg/ml de tranchée.

Le réseau comprend également des caniveaux en pierre (plus de 5 % du linéaire du réseau) d'une masse linéaire de 250 kg/ml.

3.1.3. Voies de circulation

La consolidation des données et la modélisation des voies de circulation ont été effectuées à partir des informations recueillies par le BRGM et présentées dans le chapitre 2.1.2 : voirie, voie ferrée, ouvrages d'art.

Pour chaque type d'ouvrage, la modélisation a permis de déterminer des ratios des quantités de matériaux et produits de construction/ml ou m² de voies.

- **Escaliers**

La modélisation suppose un escalier avec contre-marche, d'une largeur de 1,5 m. Elle prend en compte 0,2 m³ de béton ou de pierre par m² d'escalier ou 0,3 m³ de béton ou de pierre par ml d'escalier, soit environ 500 kg de matériau/m² ou 750 kg/m².

- **Sentiers**

Ce type de voie n'immobilise pas de matériau autre que le sol en place.

- **Chemins et routes empierrées**

Ces voies sont formées de deux couches :

- une couche de fondation d'une épaisseur de 30 à 40 cm, après compactage. Le matériau utilisé est une grave 0-100 ou 0-63 mm ;
- une couche de base d'environ 10 cm d'épaisseur après compactage. Le matériau utilisé est une grave 0-20 ou 0-31,5 mm.

La modélisation est basée sur une épaisseur totale de 50 cm de granulat, après compactage soit environ 1 000 kg de granulats/ m² de voie

- **Chaussées routières (piste cyclable, route, voie rapide, bretelle d'accès, parking)**

Le type de voie modélisée est une structure à chaussée mixte comportant une couche de forme, une couche d'assise, une couche de liaison et une couche de roulement :

- couche de forme : couche de 30 à 50 cm grave 0/31,5 ou 0/20 mm, traitée ou non aux liants hydrauliques (à raison de 5 % de liant : ciment hydraulique routier, liant spécial, laitier/chaux, cendre volante/chaux) ;
- couche d'assise : grave bitume, couche de 15 cm - Composition : 5 % de bitume 35/50 mm et 95 % de granulat 0/20 ;
- couche de liaison : Béton bitumineux de liaison, épaisseur de 8 cm. Composition : 5 % bitume 35/50 mm et 95 % granulat 0/14 mm ;
- couche de roulement : Béton bitumineux mince, couche de 5 cm – Composition : 6 % bitume 20/30 mm et 94 % granulat 0/14 mm ;

soit, environ 35 kg de bitume et 1 370 kg de granulat par m² de voie ou de parking et éventuellement 40 kg de liant hydraulique.

Pour chaque mètre linéaire de chaussée, la modélisation prend également en compte deux bordures de chaussées en béton préfabriqué soit environ 150 kg/ml.

- **Voies ferrées**

La voie modélisée comprend :

- du ballast : l'épaisseur du ballast est fonction de la charge et de l'intensité du trafic, 30 cm sur ligne classique, 40 cm sur LGV. On utilise généralement de la pierre concassée, de granulométrie comprise entre 31,5 mm et 50 mm, de type plutonique (diorite, granite...). La largeur de ballast mise en œuvre est supposée être environ de 2,50 m soit 0,75 m³/ml soit environ 1 350 kg de granulats/ml ;
- deux rails : la masse du rail est de 60 kg/ml, soit 120 kg/ml d'acier pour deux rails ;
- des traverses : on compte 1 666 traverses par km de voie. Les traverses sont en bois dur (chêne ou plus rarement en hêtre). La masse unitaire est de 80 kg/U soit environ 135 kg/ml.

3.2. FLUX DE MATIÈRE, DES MÉTRÉS AUX MASSES DE MATÉRIAUX/PRODUITS DE CONSTRUCTION

3.2.1. À l'échelle du territoire pour la ville d'Orléans

Les données de flux collectées pour la ville d'Orléans et présentées dans le chapitre 2.1.3 concernent des chantiers de construction neuve, de réhabilitation et de démolition de bâtiment, de voirie et de réseaux.

Bâtiments

- **Construction neuve**

Pour la construction neuve de bâtiment, les données collectées concernent essentiellement des surfaces construites par typologie d'ouvrage (maison individuelle, logement collectif, bâtiment de bureaux...). Pour chaque type d'ouvrage, une modélisation a permis de déterminer des ratios des quantités de matériaux et produits de construction/m² de SHON (cf. tableaux 25 à 33).

Maison individuelle : maçonnerie en blocs béton, charpente bois, couverture tuiles terre cuite

Par hypothèse, ce mode constructif est représentatif de 70 % des constructions neuves de maisons individuelles.

Partie ouvrage	Produit	Unité	Quantité/m2 SHON	Hypothèse
Fondation	Fouilles laissées sur place	m³	0,820	deblai remblai
Fondation	Fouilles enlevées	m³	0,073	Terre d=1,45
Structure	Béton BPE à 300 kg de ciment	m³	0,103	pour 1 m³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Structure	Béton BAP à 300 kg de ciment	m³	0,036	pour 1 m³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Structure	Acier Pour béton	kg	3,781	
Structure	Mur en maçonnerie de bloc en béton	m²	1,546	bloc de 20 cm= 182 kg/m² et 55 kg mortier
Maçonnerie	Mortier à 500 kg	m³	0,025	pour 1 m³ : 500 kg de ciment CEM II, 1760 kg de sable 0/5. d=2,25
Structure	Plancher entrevous Isoleader 35	m²	0,725	Pour 1 m² de plancher : poutrelle préfabriquée en béton précontraint = 30 kg/m², entrevous PSE = 3 kg/m² - BPE : 0,06 m³/m² - acier : 4 kg/m²
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 23 Plancher	m²	0,460	PSE=0,45 kg/m²
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 40 Plancher	m²	0,221	PSE=0,9 kg/m²
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 31 Plancher	m²	0,502	PSE=0,6 kg/m³
Isolation	Isolant Doublissimo platre+PSE 13+100	m²	0,857	Platre=9,5 kg/m², PSE=2,3 kg/m²
Isolation	Fibra Xtherma 100	m²	0,221	composite laine de bois/PSE = 4,2 kg/m²
Cloison	Plaque de plâtre BA13 Pregyplac Standard BA13	m²	2,399	Platre = 9,5 kg/m²
Cloison	Acier galvanisé	kg	0,521	
Facade	Mortier d'enduit minéral	m²	1,093	24 kg/m²
Structure	Plancher poutrelles et hourdis béton	m²	0,723	Pour 1 m² de plancher : poutrelle préfabriquée en béton précontraint = 30 kg/m², entrevous préfabriqués beton = 100 kg/m² - BPE : 0,06 m³/m² - acier : 4 kg/m²
Toiture et terrasse	Tuile terre cuite	m²	1,095	tuile mécanique grand moules. 45 kg/m²
Toiture et terrasse	Bois de Charpente	m³	0,071	d=0,65
Cloison	OSB 15 mm	m²	1,095	OSB 15 mm, 620 kg/m³
Isolation toiture	Isolant laine de verre Isoconfort 35 220 mm	m²	1,095	3,72 kg/m²
Etanchéité	Pare-vapeur	m²	1,095	membrane 120 g/m²
Menuiserie extérieure	Fenêtres et portes-fenêtres en PVC	m²	0,116	pour 1 m² de fermeture : PVC=10,4 kg, verre=15 kg, acier=2 kg
Cloison	Mortier-colle à base de plâtre	m²	0,144	Map : 2 kg/m²
Cloison	Enduit plâtre	m²	0,469	enduit de plafond : 10 mm, 8 kg/m²
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure bois	u	0,093	bloc porte bois 30 kg/u

Tableau 25 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions individuelles réalisées sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure maçonnerie bloc béton (ville d'Orléans).

Maison individuelle : maçonnerie en briques de structure en terre cuite, charpente bois, couverture tuiles terre cuite

Par hypothèse, ce mode constructif est représentatif de 10 % des constructions neuves de maisons individuelles.

Partie ouvrage	Produit	Unité	Quantité/m ² SHON	Hypothèse
Fondation	Fouilles laissées sur place	m ³	0,820	deblai remblai
Fondation	Fouilles enlevées	m ³	0,073	Terre d=1,45
Structure	Béton BPE à 300 kg de ciment	m ³	0,106	pour 1 m ³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Structure	Béton BAP à 300 kg de ciment	m ³	0,059	pour 1 m ³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Structure	Acier Pour béton	kg	4,994	
Structure	Mur en maçonnerie de bloc en béton	m ²	0,221	bloc de 20 cm= 182 kg/m ² et 55 kg mortier
Structure	Brique de 20 rectifiée collée à joint mince	m ²	1,324	brique de 20 rectifiée : 123 kg/m ² et 1,5 kg mortier colle (0,6 kg ciment et 0,6 kg sable)
Maçonnerie	Mortier à 500 kg	m ³	0,002	pour 1 m ³ : 500 kg de ciment CEM II, 1760 kg de sable 0/5. d=2,25
Structure	Plancher entrevous Isoleader 35	m ²	0,725	Pour 1 m ² de plancher : poutrelle préfabriquée en béton précontraint = 30 kg/m ² , entrevous PSE = 3 kg/m ² - BPE : 0,06 m ³ /m ² - acier : 4 kg/m ²
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 23 Plancher	m ²	0,460	PSE=0,45 kg/m ²
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 40 Plancher	m ²	0,221	PSE=0,9 kg/m ²
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 31 Plancher	m ²	0,502	PSE=0,6 kg/m ³
Isolation	Isolant Doublissimo plâtre+PSE 13+80	m ²	0,857	Plâtre=9,5 kg/m ² , PSE=2,3 kg/m ²
Isolation	Fibra Xtherma 100	m ²	0,221	composite laine de bois/PSE = 4,2 kg/m ²
Cloison	Plaque de plâtre BA13 Pregyplac Standard BA13	m ²	0,867	Plâtre = 9,5 kg/m ²
Cloison	Acier galvanisé	kg	0,253	
Facade	Mortier d'enduit minéral	m ²	1,093	24 kg/m ²
Structure	Plancher poutrelles et hourdis béton	m ²	0,723	Pour 1 m ² de plancher : poutrelle préfabriquée en béton précontraint = 30 kg/m ² , entrevous préfabriqués béton = 100 kg/m ² - BPE : 0,06 m ³ /m ² - acier : 4 kg/m ²
Toiture et terrasse	Tuile béton	m ²	1,095	tuiles préfabriquées béton : 42 kg/m ²
Toiture et terrasse	Bois de Charpente	m ³	0,071	d=0,65
Cloison	OSB 15 mm	m ²	1,095	OSB 15 mm, 620 kg/m ³
Isolation	Isolant laine de verre Isoconfort 35 220 mm	m ²	1,095	3,72 kg/m ²
Etanchéité	Pare-vapeur	m ²	1,095	membrane 120 g/m ²
Menuiserie extérieure	Fenêtres et portes-fenêtres en bois	m ²	0,116	pour 1 m ² de fermeture : bois=12 kg, verre=13 kg, acier=1 kg
Cloison	Mortier-colle à base de plâtre	m ²	0,143	Map : 2 kg/m ²
Cloison	Enduit plâtre	m ²	2,001	enduit de plafond et enduit sur brique de cloison : 10 mm, 8 kg/m ² .
Maçonnerie	Brique de cloison	m ²	0,766	Brique de cloison grand format : 45 kg/m ²
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure	u	0,093	bloc porte bois 30 kg/u

Tableau 26 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions individuelles réalisées sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure brique (ville d'Orléans).

Maison individuelle : maçonnerie en mono murs terre cuite, charpente bois, couverture tuiles terre cuite

Par hypothèse, ce mode constructif est représentatif de 15 % des constructions neuves de maisons individuelles.

Partie ouvrage	Produit	Unité	Quantité/m² SHON	Hypothèse
Fondation	Fouilles laissées sur place	m³	0,847	deblai remblai
Fondation	Fouilles enlevées	m³	0,073	Terre d=1,45
Structure	Béton BPE à 300 kg de ciment	m³	0,111	pour 1 m³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Structure	Béton BAP à 300 kg de ciment	m³	0,055	pour 1 m³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Structure	Acier Pour béton	kg	5,126	
Structure	Mur en maçonnerie de bloc en béton 25 cm	m²	0,222	bloc de 20 cm= 182 kg/m² et 55 kg mortier
Structure	MONOMUR Terre Cuite 37,5 cm	m²	1,405	Monomur 37,5 rectifié : 303 kg/m² et 2,5 kg mortier colle (1 kg ciment et 1 kg sable)
Structure	Brique de 20 rectifiée collée à joint mince	m²	0,073	brique de 20 rectifiée : 123 kg/m² et 1,5 kg mortier colle (0,6 kg ciment et 0,6 kg sable)
Maçonnerie	Mortier à 500 kg	m³	0,004	pour 1 m³ : 500 kg de ciment CEM II, 1760 kg de sable 0/5. d=2,25
Structure	Plancher entrevous Isoleader 35	m²	0,753	Pour 1 m² de plancher : poutrelle préfabriquée en béton précontraint = 30 kg/m², entrevous PSE = 3 kg/m² - BPE : 0,06 m³/m² - acier : 4 kg/m²
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 61 plancher	m²	0,443	PSE=1,5 kg/m³
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 53 Plancher	m²	0,235	PSE=1,2 kg/m³
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 31 Plancher	m²	0,525	PSE=0,6 kg/m³
Isolation	Fibra Xtherma 100	m²	0,235	composite laine de bois/PSE = 4,2 kg/m²
Cloison	Plaque de plâtre BA13 Pregyplac Standard BA13	m²	0,714	Platre = 9,5 kg/m²
Cloison	Acier galvanisé	kg	0,250	
Facade	Mortier d'enduit minéral	m²	1,245	24 kg/m²
Structure	Plancher poutrelles et hourdis béton	m²	0,761	Pour 1 m² de plancher : poutrelle préfabriquée en béton précontraint = 30 kg/m², entrevous préfabriqués beton = 100 kg/m² - BPE : 0,06 m³/m² - acier : 4 kg/m²
Toiture et terrasse	Tuile terre cuite	m²	1,116	tuile mécanique grand moules. 45 kg/m²
Toiture et terrasse	Bois de Charpente	m³	0,073	d=0,65
Cloison	OSB 15 mm	m²	1,116	OSB 15 mm, 620 kg/m³
Isolation	Isolant laine de verre Isoconfort 35 220 mm	m²	1,116	3,72 kg/m²
Etanchéité	Pare-vapeur	m²	1,116	membrane 120 g/m²
Menuiserie extérieure	Fenêtres et portes-fenêtres en alu	m²	0,116	pour 1 m² de fermeture : alu=6,4 kg, verre=17 kg
Cloison	Enduit plâtre	m²	3,009	enduit de plafond, enduit sur brique de cloison : 10 mm, 8 kg/m². Sur monomur : 20 mm, 16 kg/m².
Maçonnerie	Brique de cloison	m²	0,766	Brique de cloison grand format : 45 kg/m²
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure	u	0,093	bloc porte bois 30 kg/u

Tableau 27 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions individuelles réalisées sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure monomurs terre cuite (ville d'Orléans).

Maison individuelle : ossature bois, charpente bois, couverture tuiles terre cuite

Par hypothèse, ce mode constructif est représentatif de 5 % des constructions neuves de maisons individuelles.

Partie ouvrage	Produit	Unité	Quantité/m ² SHON	Hypothèse
Fondation	Fouilles laissées sur place	m ³	0,787	deblai remblai
Fondation	Fouilles enlevées	m ³	0,071	Terre d=1,45
Structure	Béton BPE à 300 kg de ciment	m ³	0,059	pour 1 m ³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Structure	Béton BAP à 300 kg de ciment	m ³	0,056	pour 1 m ³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Structure	Acier Pour béton	kg	3,370	
Structure	Mur en maçonnerie de blocs en béton 25 cm	m ²	0,216	bloc de 20 cm= 182 kg/m ² et 55 kg mortier
Maçonnerie	Mortier à 500 kg	m ³	0,001	pour 1 m ³ : 500 kg de ciment CEM II, 1760 kg de sable 0/5. d=2,25
Structure	Plancher entrevous Isoleader 40	m ²	0,683	Pour 1 m ² de plancher : poutrelle préfabriquée en béton précontraint = 30 kg/m ² , entrevous PSE = 3 kg/m ² - BPE : 0,06 m ³ /m ² - acier : 4 kg/m ²
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 23 Plancher	m ²	0,442	PSE=0,45 kg/m ²
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 31 Plancher	m ²	0,475	PSE=0,6 kg/m ²
Isolation	Isolant panneau PSE Maxissimo 40 Plancher	m ²	0,204	PSE=0,9 kg/m ³
Structure	Ossature bois	m ³	0,056	sapin du nord. d=0,700
Cloison	OSB 10 mm	m ²	1,217	OSB 10 mm, 620 kg/m ³
Cloison	OSB 15 mm	m ²	1,068	OSB 15 mm, 620 kg/m ³
Cloison	OSB 24 mm	m ²	0,679	OSB 24 mm, 620 kg/m ³
Isolation	Isolant laine de verre Isoconfort 32 100	m ²	1,144	laine de verre : 2,8 kg/m ²
Isolation	Film pare-vapeur (MOB)	m ²	1,144	membrane 120 g
Etanchéité	Pare-vapeur	m ²	1,068	membrane 120 g
Façade	Bardage Bois pour MOB	m ²	1,016	douglas 21 mm, d=0,6
Etanchéité	Film pare-pluie	m ²	1,016	membrane 210 g
Toiture et terrasse	Bois de Charpente	m ³	0,091	d=0,65
Isolation	Isolant laine de verre IBR contact 100	m ²	0,204	laine de verre : 2,8 kg/m ²
Cloison	Plaque de plâtre BA13 Pregyplac Standard BA13	m ²	3,943	Platre = 9,5 kg/m ²
Cloison	Acier galvanisé	kg	1,380	
Toiture et terrasse	Tuile terre cuite	m ²	1,068	tuile mécanique grand moules. 45 kg/m ²
Isolation	Isolant laine de verre Isoconfort 35 220 mm	m ²	1,068	3,72 kg/m ²
Menuiserie extérieure	Fenêtres et portes-fenêtres en bois	m ²	0,116	pour 1 m ² de fermeture : bois=12 kg, verre=13 kg, acier=1 kg
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure	u	0,093	bloc porte bois 30 kg/u

Tableau 28 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions individuelles réalisées sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure ossature bois (ville d'Orléans).

Logement collectif : voile béton, toiture terrasse

Par hypothèse, ce mode constructif est représentatif de 50 % des constructions neuves de logement collectifs.

Partie ouvrage	Produit	Unité	Quantité/m ² SHON	Hypothèse
Fondation	Fouilles enlevées	m ³	1,298	Terre d=1,45
Structure	Béton BPE à 300 kg de ciment	m ³	0,642	pour 1 m ³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Structure	Acier Pour béton	kg	14,901	
Isolation thermique sous dalle	Isolant Fibra XThermClarté 15FC 125 mm	m ²	0,281	composite laine de bois/PSE = 5,5 kg/m ²
Isolation thermique mur	Isolant Doublissimo plâtre+PSE 13+90	m ²	0,634	Plâtre=9,5 kg/m ² , PSE=2,1 kg/m ²
Structure	sable tout venant	m ³	0,022	d=1,6
Cloison	Plaque de plâtre BA13 sur rail	m ²	1,850	Plâtre = 9,5 kg/m ²
Cloison	Acier galvanisé	kg	0,550	
Facade	Mortier d'enduit minéral	m ²	0,884	24 kg/m ²
Maçonnerie	Mortier à 500 kg	m ³	0,001	pour 1 m ³ : ciment CEM I 52,5 = 500 kg, sable 0/4=1760 kg
Isolation de toiture	Isolant EFIGREEN DUO 100 mm	m ²	0,251	panneau rigide en polyuréthane : 3,8 kg/m ²
Etanchéité	Revêtement d'étanchéité bicouche	m ²	0,251	revêtement d'étanchéité à base d'asphalte 5 mm asphalte (bitume+filler)=12 kg/m ² et 15 mm asphalte sable (bitume+filler+sable) = 35 kg/m ²
Menuiserie extérieure	Fenêtres et portes-fenêtres en PVC	m ²	0,130	pour 1 m ² de fermeture : PVC=10,4 kg, verre=15 kg, acier=2 kg
Menuiserie intérieure	Porte intérieure	u	0,090	bloc porte bois 30 kg/u
Cloison	Mortier-colle à base de plâtre	m ²	1,275	Map : 2 kg/m ²
Plafond et sous-face de plancher	Enduit GS en plafonds	m ²	0,828	enduit de plafond : 10 mm, 8 kg/m ²
Plafond et sous-face de plancher	dalle fibre minérale	m ²	0,063	dalle en laine de roche = 2,25 kg/m ²
Porte d'entrée d'immeuble ext et int	Porte d'entrée d'immeuble ossature alu 2,20*2,25	u	0,002	pour 1 m ² de fermeture : alu=6,4 kg, verre=17 kg
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte métallique	u	0,001	acier = 25 kg, bois = 15 kg

Tableau 29 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions de logements collectifs sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure voile béton (ville d'Orléans).

Logement collectif : brique de structure, toiture terrasse

Par hypothèse, ce mode constructif est représentatif de 50 % des constructions neuves de logement collectifs.

Partie ouvrage	Produit	Unité	Quantité/m ² SHON	Hypothèse
Fondation	Fouilles enlevées	m ³	1,298	Terre d=1,45
Structure	Béton BPE à 300 kg de ciment	m ³	0,591	pour 1 m ³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Structure	Acier Pour béton	kg	12,146	
Isolation thermique sous dalle	Isolant Domisol 180 mm	m ²	0,281	Laine de roche dense : 24 kg/m ²
Fondation	Sable tout-venant	m ³	0,022	d=1,6
Structure	Brique de 20 rectifiée collée à joint mince	m ²	0,336	brique de 20 rectifiée : 123 kg/m ² et 1,5 kg mortier colle (0,6 kg ciment et 0,6 kg sable)
Isolation	Isolant laine de verre Calibel 10 + 100	m ²	0,634	Platre=8,5 kg/m ² , laine roche 4,6 kg/m ²
Cloison	Plaque de plâtre BA13 sur rail	m ²	0,640	Platre = 9,5 kg/m ²
Cloison	Acier galvanisé	kg	0,127	
Facade	Mortier d'enduit minéral	m ²	0,884	24 kg/m ²
Maçonnerie	Mortier à 500 kg	m ³	0,001	pour 1 m ³ : ciment CEM I 52,5 = 500 kg, sable 0/4=1760 kg
Isolation de toiture	Isolant EFIGREEN DUO 100 mm	m ²	0,251	panneau rigide en polyuréthane : 3,8 kg/m ²
Etanchéité	Revêtement d'étanchéité bicouche	m ²	0,251	revêtement d'étanchéité à base d'asphalte 5 mm asphalte (bitume+filler)=12 kg/m ² et 15 mm asphalte sable (bitume+filler+sable) = 35 kg/m ²
Cloison	Mortier-colle à base de plâtre	m ²	0,640	Map : 2 kg/m ²
Revêtement mural et décoration rapportée	Enduit GS plafond	m ²	0,828	enduit de plafond : 10 mm, 8 kg/m ²
Plafond et sous-face de plancher	Dalle fibre minérale	m ²	0,063	dalle en laine de roche = 2,25 kg/m ²
Maçonnerie	Brique de cloison	m ²	0,605	Brique de cloison grand format : 45 kg/m ²
Cloison	Enduit plâtre	m ²	1,209	enduit sur brique de cloison : 10 mm, 8 kg/m ² .
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte en métal	u	0,001	acier = 25 kg, bois = 15 kg
Menuiserie extérieure	Fenêtres et portes-fenêtres en PVC	m ²	0,130	pour 1 m ² de fermeture : PVC=10,4 kg, verre=15 kg, acier=2 kg
Menuiserie intérieure - Serrurerie - Quincaillerie	Porte intérieure	u	0,090	bloc porte bois 30 kg/u
Porte d'entrée d'immeuble ext et int	Porte d'entrée d'immeuble ossature alu 2,20*2,25	u	0,002	pour 1 m ² de fermeture : alu=6,4 kg, verre=17 kg

Tableau 30 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions de logements collectifs sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure brique (ville d'Orléans).

Bâtiment tertiaire, bureaux : voile béton, toiture terrasse

Par hypothèse, ce mode constructif est représentatif de l'ensemble des constructions neuves de bâtiments tertiaires.

Partie ouvrage/Produit	Unité	Quantité/m ² SHON	Hypothèse
Béton	m ³	0,581	pour 1 m ³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Acier	kg	42,600	
Blocs béton	m ²	0,016	bloc de 20 cm= 182 kg/m ² et 55 kg mortier
Plaque de doublage PSE 13+100	m ²	0,073	Platre=9,5 kg/m ² , PSE=2,1 kg/m ²
Isolant laines minérales + parement BA13 100+13	m ²	0,035	Platre=9,5 kg/m ² , laine de verre : 2,8 kg/m ²
MAP	kg	0,107	Map : 2 kg/m ²
Cloisons BA13	m ²	0,061	Platre = 2*9,5 kg/m ²
Rail Acier	kg	0,092	
Etanchéité	m ²	0,181	revêtement d'étanchéité à base d'asphalte 5 mm asphalte (bitume+filler)=12 kg/m ² et 15 mm asphalte sable (bitume+filler+sable) = 35 kg/m ²
Carrelage	m ²	0,173	17 kg/m ²
Menuiseries (PVC)	m ²	0,011	pour 1 m ² de fermeture : PVC=10,4 kg, verre=15 kg, acier=2 kg
Menuiseries (Alu)	m ²	0,014	pour 1 m ² de fermeture : alu=6,4 kg, verre=17 kg
faux plafond	m ²	0,173	dalle en laine de roche = 2,25 kg/m ²
Ossature acier	kg	0,347	
Facade, Mortier d'enduit minéral	m ²	0,110	24 kg/m ²
Porte d'entrée d'immeuble ossature alu 2,20*2,25	u	0,002	pour 1 m ² de fermeture : alu=6,4 kg, verre=17 kg

Tableau 31 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions de bâtiments tertiaire et de bureaux sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure voile béton (ville d'Orléans).

Bâtiment industriel : structure métallique

Par hypothèse, ce mode constructif est représentatif de l'ensemble des constructions neuves de bâtiments industriels.

Partie ouvrage/Produit	Unité	Quantité/m ² SHON	Hypothèse
Béton	m ³	0,196	pour 1 m ³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Acier	kg	48,222	
Acier armature	kg	2,667	
Acier bardage couverture	m ²	3,880	13 kg/m ²
Isolant laines minérales	m ²	1,940	laine de verre : 2,8 kg/m ²
Verre plat	kg	0,444	
Cloisons	m ²	0,023	Platre = 2*9,5 kg/m ²
rail acier	kg	0,035	

Tableau 32 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions de bâtiments industriels sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure métallique (ville d'Orléans).

Bâtiment sportif - complexe nautique : structure poteaux poutres en béton

Partie ouvrage/Produit	Unité	Quantité/m ² SHON	Hypothèse
Béton	m ³	0,500	pour 1 m ³ : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1100 kg de graviers 5/20. d=2,5
Acier	kg	46,667	
Blocs béton	m ²	0,133	bloc de 20 cm= 182 kg/m ² et 55 kg mortier
Doublage 13+100	m ²	0,667	Platre=9,5 kg/m ² , PSE=2,1 kg/m ²
PVC	kg	1,167	
Cuivre hors câbles	kg	2,500	
Cloisons	m ²	0,417	Platre = 2*9,5 kg/m ²
rail acier	kg	0,625	
Gaine acier	kg	3,333	
Etanchéité	m ²	0,583	revêtement d'étanchéité à base d'asphalte 5 mm asphalte (bitume+filler)=12 kg/m ² et 15 mm asphalte sable (bitume+filler+sable) = 35 kg/m ²
Carrelage	m ²	0,717	17 kg/m ²
Menuiseries (Alu)	m ²	0,250	pour 1 m ² de fermeture : alu=6,4 kg, verre=17 kg
Graves	tonnes	0,083	
Enrobés	tonnes	0,150	Composition 96 % granulats 0/4 et 6 % bitume 20/30

Tableau 33 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les constructions de complexes nautiques sur la période 2004-2006 (entrées dans le stock) – Structure poteaux et poutres béton (ville d'Orléans).

• Réhabilitation

Les données obtenues pour les chantiers de réhabilitations sont de types métrés (linéaire, surface, volume) ou monétaires (forfait) en regard de partie d'ouvrage.

Le travail de consolidation a consisté à identifier le type de produit déposé (phase de dépose des produits de l'opération de réhabilitation) ou mis en œuvre (phase de pose des produits de l'opération de réhabilitation), à convertir des quantités en masse et à décomposer certains produits en composants ou matériaux : par exemple convertir des volumes de béton en masse de granulats (gravillons et sable) et ciment ou bien des surfaces de fenêtres bois en masse de verre, bois et acier.

Ce travail a été réalisé à l'aide de données issues des fiches techniques de produits de construction (disponibles sur les sites Web des fabricants) et/ou des fiches de déclaration environnementale et sanitaire des produits (FDES¹⁹, disponibles sur la base INIES²⁰).

• Démolition

Produits	Unité	Quantité/m2 SHON	Remarques
Béton	kg	1350,00	dechets inertes
Enduit facade	kg	7,00	dechets inertes
Acier	kg	45,00	métaux ferreux
Escaliers béton 16 marches	kg	45,00	dechets inertes
Blocs béton, parpaings	kg	4,00	dechets inertes
plâtre	kg	35,00	DND
Isolant de synthèse	kg	1,00	DND
Isolant laines minérales	kg	0,50	DND
brique de cloison	kg	45,00	dechets inertes
Acier Ascenseur	kg	1,00	métaux ferreux
Asphalte, bitume, complexe d'étanchéité	kg	8,00	
Revêtement de sol PVC	kg	2,50	DND
Carrelage	kg	2,00	dechets inertes
vitrage	kg	1,30	verre
Menuiseries bois	kg	0,75	bois
Menuiseries PVC	kg	0,50	PVC
Volets roulant pvc	kg	0,08	PVC
Plinthes en bois	kg	14,00	bois
Portes bois	kg	2,00	bois
profilés alu	kg	0,15	métaux non ferreux
Portes métalliques	kg	0,60	métaux ferreux

Tableau 34 - Ratios de quantité de matière utilisés pour modéliser les opérations de réhabilitation et démolition sur la période 2004-2006 (sorties du stock) - (ville d'Orléans).

¹⁹ FDES : Fiches de déclaration environnementales et sanitaires

²⁰ INIES : base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des produits de construction (www.inies.fr)

Les données obtenues pour les chantiers de démolition sont de types métrés (linéaire, surface, volume) ou monétaires (forfait) en regard de partie d'ouvrage.

Dans certains cas, la seule indication d'un forfait en regard d'une prestation de démolition d'une partie d'ouvrage ou de la gestion d'un volume de déchets n'a pas permis de déterminer la masse et la nature (quels matériaux) des déchets.

Pour trois chantiers concernant la démolition complète de quatre bâtiments de logements collectifs, une modélisation de ces ouvrages a permis de proposer des ratios pour les déchets générés (cf. tableau 34).

Dans les autres cas, le travail de consolidation a consisté à identifier le type de produit déposé, à convertir les métrés en masse par type de matériaux.

Ce travail a été réalisé à l'aide de données issues de la littérature et/ou de fiches techniques de produits de construction et/ou de fiches de déclaration environnementale et sanitaire des produits (FDES, disponibles sur la base INIES).

Voirie

Les chantiers de voirie identifiés concernent des opérations d'aménagement, de requalification, de reprise, de réfection de chaussées... Ces chantiers sont décrits dans le chapitre 2.1.3. Une typologie des différentes opérations a été définie par le BRGM.

Pour tous ces chantiers, le montant des travaux est disponible, et pour une partie d'entre eux, le linéaire concerné est également connu. Le travail de consolidation a consisté à définir, pour chacune des typologies identifiées, la nature des travaux effectués et à estimer les flux massiques concernés par type de matériaux.

À partir de ces données, des ratios ont été déterminés par le BRGM en fonction des montants de travaux, puis appliqués aux chantiers pour lesquels seul le montant des travaux était connu.

Aménagement

Création de rue : le type de voie considérée est une chaussée de 6 m de largeur, comportant :

- couche de forme : couche de 50 cm de grave 0/31,5 non traitée ou de 30 cm de grave 0/20 traitée aux liants hydrauliques (à raison de 5 % de liant : ciment hydraulique routier, liant spécial, laitier/chaux, cendre volante/chaux) ;
- couche d'assise : Grave bitume, couche de 15 cm- Composition : 5 % de bitume 35/50 mm et 95 % de granulats 0/20 mm ;
- couche de liaison : Béton bitumineux de liaison, épaisseur de 8 cm. Composition : 5 % bitume 35/50 et 95 % granulats 0/14 mm ;
- couche de roulement : Béton bitumineux mince, couche de 5 cm – Composition : 6 % bitume 20/30 et 94 % granulats 0/14 mm ;

Soit, environ 210 kg de bitume et 8 200 kg de granulats/ml de chaussée et éventuellement 240 kg de liant hydraulique.

Pour chaque mètre linéaire de chaussée, la modélisation prend également en compte deux bordures de chaussées en béton préfabriqué soit environ 150 kg/ml.

Création d'un giratoire : giratoire de rayon extérieur 20 m soit 150 m de voies (y compris entrées et sorties), d'une largeur de 6 m. La chaussée retenue est la même que celle décrite ci-dessus.

Requalification

Les travaux concernent :

- la couche de liaison (béton bitumineux de liaison, épaisseur de 8 cm. Composition : 5 % bitume 35/50 mm et 95 % granulat 0/14) soit environ 10 kg de bitume et 180 kg de granulats/m² de chaussée ;
- la couche de roulement (béton bitumineux mince, couche de 5 cm – composition : 6 % bitume 20/30 mm et 94 % granulat 0/14 mm) soit environ 7 kg de bitume et 110 kg de granulats/m² de chaussée ;
- les bordures de chaussées en béton préfabriqué soit environ 150 kg/ml.

Réfection/couche de roulement

Le type de voie considérée est une chaussée de 6 m de largeur. Les travaux concernent la couche de roulement (béton bitumineux mince, couche de 5 cm – composition : 6 % bitume 20/30 et 94 % granulat 0/14) soit environ 7 kg de bitume et 110 kg de granulats/m² de chaussée.

Réseaux

Les données obtenues concernent les chantiers de création ou de réfection de réseaux. Ces données sont de types métrés (linéaire, surface, volume) en regard de partie d'ouvrage.

Le travail de consolidation a consisté à identifier les travaux effectués (ouverture de tranchées, réfection de voirie...) et les produits mis en œuvre puis à estimer les quantités de matériaux excavés (déblais) et de produits de construction (remblais de tranchées, canalisations, câbles, fourreaux, chambres de tirage...).

Ce travail a été réalisé à l'aide de données issues des fiches techniques de produits de construction (disponibles sur les sites Web des fabricants) et/ou des fiches de déclaration environnementale et sanitaire des produits (FDES, disponibles sur la base INIES).

3.2.2. A l'échelle des chantiers dans les Bouches-du-Rhône

Les données collectées concernent les flux de matières associés aux travaux de construction de trois ouvrages (voir chapitre 2.2) :

- école Jules Ferry ;
- collège Vallon Toulouse à Marseille ;
- collège Arenc Bachas à Marseille.

Les données obtenues sont de types métrés (linéaire, surface, volume) en regard de partie d'ouvrage. Le travail de consolidation a consisté à identifier la nature des travaux effectués, le type de produit mis en œuvre et à convertir en masse.

Ce travail a été réalisé à l'aide de données issues des fiches techniques de produits de construction (disponibles sur les sites Web des fabricants) et/ou des fiches de déclaration environnementale et sanitaire des produits (FDES, disponibles sur la base INIES).

3.2.3. Incertitudes

Bâtiments

- Construction neuve : l'incertitude sur les données calculées provient à la fois de l'estimation des métrés et du choix des produits associés aux différents ratios. L'estimation moyenne relative associée aux métrés est de 20 %, celle associée aux produits, à 10 %.
- Réhabilitation : l'incertitude relative associée aux produits est estimée à 10 %.
- Démolition :
 - Pour trois chantiers concernant la démolition complète de quatre bâtiments de logements collectifs, une modélisation des ouvrages a permis de proposer des ratios pour les déchets générés. L'incertitude sur les données calculées provient à la fois de l'estimation des métrés et à la fois du choix des produits associés aux différents ratios. L'incertitude moyenne relative associée aux métrés est estimée à 20 %, celle associée aux produits, à 10 %.
 - Dans les autres cas, le travail de consolidation a consisté à identifier le type de produit déposé, à convertir les métrés en masse par type de matériaux. Ce travail a été réalisé à l'aide de données issues de la littérature et/ou de fiches techniques de produits de construction et/ou de fiches de déclaration environnementale et sanitaire des produits (FDES, disponibles sur la base INIES). L'incertitude relative associée est estimée à 20 %.

Voirie et réseaux

L'incertitude sur les données calculées provient à la fois de l'estimation des métrés (estimée à 20 %) et à la fois du choix des produits associés aux différents ratios (estimée à 10 %).

3.3. FLUX DE MATIÈRE, DES PRODUITS DE CONSTRUCTION UTILISÉS AUX MATIÈRES PREMIÈRES EXTRAITES

La consolidation des données permet de traduire des métrés en masse de matériaux ou produits de construction utilisés. Un des objectifs de du projet ASURET est de s'intéresser aux filières d'approvisionnement, et de remonter la chaîne de fabrication de ces matériaux ou produits jusqu'aux matières premières extraites.

Les résultats de ce travail peuvent être consolidés et visualisés sous la forme d'un diagramme de SANKEY tel que celui présenté au paragraphe 5.1.3. (cf. Figure 25), dans lequel la largeur des flèches est proportionnelle au flux représenté).

Méthodologie

Pour prendre en compte l'extraction de matières premières (argile, gypse, calcaire...) nécessaires à la fabrication/production des produits de construction utilisés pour les chantiers étudiés, deux bases de données ont été constituées et utilisées (cf. figure 14) :

- base de données des compositions des produits de construction utilisés sur chantier (BD n° 1). Elles permettent à partir des quantités de mortiers fabriqués sur les chantiers ou des

quantités de béton prêt à l'emploi par exemple utilisés sur les chantiers, d'estimer les quantités de ciment, chaux, plâtre, granulat nécessaires (cf. tableau 35) ;

- base de données de compositions élémentaires (BD n° 2) : pour estimer les quantités de gypse, calcaire, craie etc...extraites en carrière pour la fabrication du ciment, de la chaux etc (cf. tableau 36). Ces données sont à considérer comme des ordres de grandeurs, Elles sont extraites de l'inventaire du cycle de vie présentés dans les fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) des différents produits, en suivant les principes de l'analyse de cycle de vie (NF P 01-010).

L'exercice s'est focalisé sur la fabrication de matériaux/produits à partir de matières minérales au vu des masses en jeu pour la construction.

Pour ce qui concerne les matériaux ou produits de construction métalliques, issus du pétrole ou fabriqués à partir de bois, les procédés de fabrication n'ont pas été étudiés et intégrés dans cette analyse de l'approvisionnement et des filières de fabrication/production des matériaux.

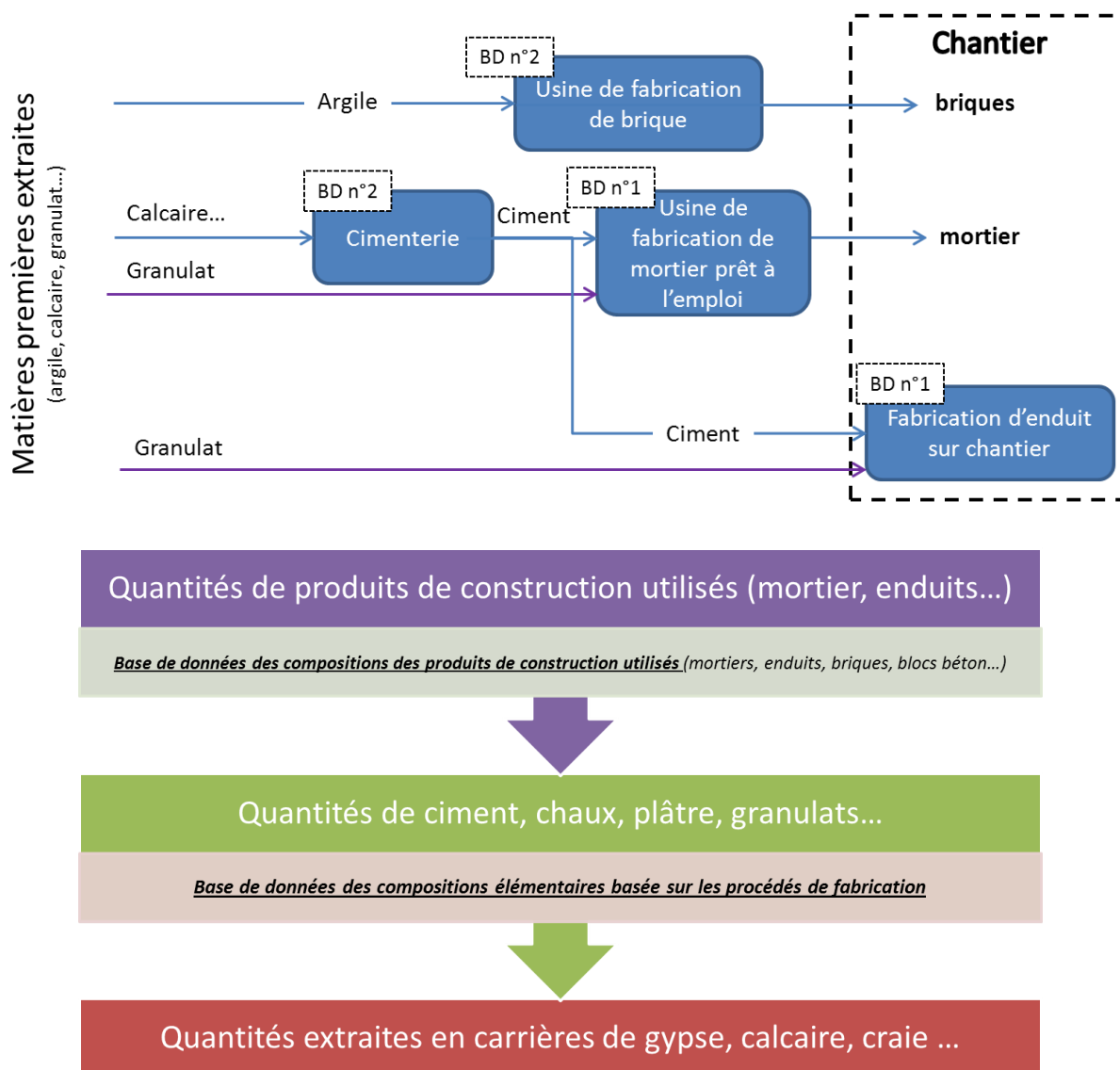


Figure 14 - Méthode pour estimer à partir des matériaux/produits de construction les matières premières extraites en conséquence.

Bases de données utilisées

			% eau ajoutée (eau/matière sèche) en masse	Répartition de la matière sèche (en masse)				
				Granulat (sable, gravier)	Ciment	Chaux	Plâtre	autres
Mortier de chaux	450 kg chaux, 1 760 kg de sable pour 1 m ³ . d=2,25	Mélange fait sur le chantier	18,1 %	79,6 %	0,0 %	20,4 %	0,0 %	0,0 %
Mortier de ciment à 500 kg	pour 1 m3 : 500 kg de ciment CEM II, 1760 kg de sable 0/5. d=2,25	Mélange fait sur le chantier	11,1 %	77,9 %	22,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Mortier de ciment	mortier de ciment : 450 kg ciment, 1760 kg de sable pour 1 m ³ . d=2,25	Mélange fait sur le chantier	10,2 %	79,6 %	20,4 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Enduit de plâtre chaux	5 volumes plâtre et 1 volume de chaux. Soit pour 1 000 kg enduit = 550 kg de plâtre, 120 kg chaux et 340 kg eau	Mélange fait sur le chantier	51,5 %	0,0 %	0,0 %	18,2 %	81,8 %	0,0 %
Enduit de plâtre (plafond, brique de cloison)	0,8 volume d'eau pour 1 volume de plâtre	Mélange fait sur le chantier	80,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
Mortier colle	Mortier colle à base de plâtre (MAP) 1,5 kg mortier colle (0,6 kg ciment et 0,6 kg sable)	Poudre, pate prête à l'emploi	56,0 %	50,0 %	50,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Mortier d'enduit minéral à base de liant hydraulique	14.6 kg calcaire (2/3 ciment +1/3 chaux) + 10.6 kg sable / 24 kg mortier Pour isolation extérieure / enduit de façade / revêtement de mur	Poudre, pate prête à l'emploi	40,0 %	42,1 %	38,6 %	19,3 %	0,0 %	0,0 %
Mortier organique	1.4 kg ciment + 0.77 kg sable + résine pour 3kg mortier	Poudre, pate prête à l'emploi	0,0 %	26,7 %	46,7 %	0,0 %	0,0 %	26,7 %
Coulis de chaux	1 volume de chaux pour 1 volume d'eau.		100,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %

			% eau ajoutée (eau/matière sèche) en masse	Répartition de la matière sèche (en masse)				
				Granulat (sable, gravier)	Ciment	Chaux	Plâtre	autres
Béton prêt à l'emploi (BPE)	Pour 1 m ³ de béton : 300 kg de ciment CEM II, 800 kg de sable 0/5 et 1 100 kg de graviers 5/20. d=2,5 Acier d'armature = 60 kg/m de béton		7,3 %	86,4 %	13,6 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Béton de fondation	Pour 1 m de béton: 150 kg de ciment CEM III, 800 kg de sable 0/5 et 1 100 kg de graviers 5/20. Acier d'armature = 20 kg/m de béton		3,9 %	92,7 %	7,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Éléments préfabriqués en béton Bloc béton	Bloc béton	ciment CEM I 52.5 = 7 %, eau = 6 %, Granulats 0/12 = 87 %	6,4 %	92,6 %	7,4 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
	hourdis	ciment CEM I 52.5 = 7 %, eau = 6 %, Granulats 0/12 = 87 %	6,4 %	92,6 %	7,4 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
	Dalle, plancher préfabriqué	ciment CEM I 52.5 = 12 %, eau = 5 %, Granulats 0/12 = 83 %	5,3 %	87,4 %	12,6 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
	Pavé, bordure, tube	ciment CEM I 52.5 = 18 %, eau = 7 %, Granulats 0/12 = 75 %	7,5 %	80,6 %	19,4 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Tableau 35 - Base de données (BD n° 1) des compositions des produits utilisés pour une fabrication sur chantier (mortier, enduits...) et des compositions des produits ou éléments préfabriqués avant mises en œuvre sur chantier.

		Extraction de matière première minérale									Matériaux issus du pétrole		VERRE RECYCLE	Produits inter-médiaire		AUTRES	Source
		GRANULAT (sable, gravier)	CALCAIRE (ou dolomie)	GYPSE	CRAIE	ARGILE	FELDSPATH (roche volcanique)	BASALTE (roche volcanique)	SEL (marais / mines) NaCl	BAUXITE				CHAUX	SOUDE		
Ciment	Ciment (CEM II/A-I)	4 %	110 %	5 %	15 %	19 %				1 %		5 %		4 %	110 %	5 %	CSTB (FDES)
Ciment	Ciment (CEM III)	1 %	27 %	5 %	5 %	5 %				0 %			72 %	1 %	27 %	5 %	CSTB (FDES)
Plâtre	Plaque de plâtre		2 %	98 %													CSTB (FDES)
Brique / tuile	Tuiles	30 %	13 %			109 %											CSTB (FDES)
Brique / tuile	Brique	1 %	3 %			128 %											CSTB (FDES)
Carrelage	Carrelage	35 %				41 %	43 %										CSTB (FDES)
Laine minérale	Laine de verre	54 %	16 %				11 %						19 %				CSTB (FDES)
Laine minérale	Laine de roche ²¹	3 %	4 %			1 %	79 %										CSTB (FDES)
Ardoise fibre-ciment	Ardoise fibre-ciment		96 %			24 %			0.2 %								CSTB (FDES)
Bitume	Bitume										154 %						CSTB (FDES)
Verre	Verre	71 %												10 %	14 %	5 %	Web
Chaux	Chaux hydraulique		100 %														Coumoul A (2002) BRGM
Soude	Soude Na ₂ CO ₃		46 %														Procédé SOLVAY (web)

Tableau 36 - Base de données (BD n° 2) des compositions élémentaires basées sur les procédés de fabrication : des produits de construction aux matériaux extraits.

²¹ Option la plus impactante à base de basalte (sinon des laitiers peuvent être également utilisés)

Question de l'eau liée à la matière minérale sèche dans la comptabilisation des flux de matière

Le principe suivi pour l'évaluation et la prise en compte de l'eau utilisée pour la mise en œuvre des matériaux sur chantier ou dans les procédés/usines de fabrication de produits de construction est illustré dans la figure 15 suivante :

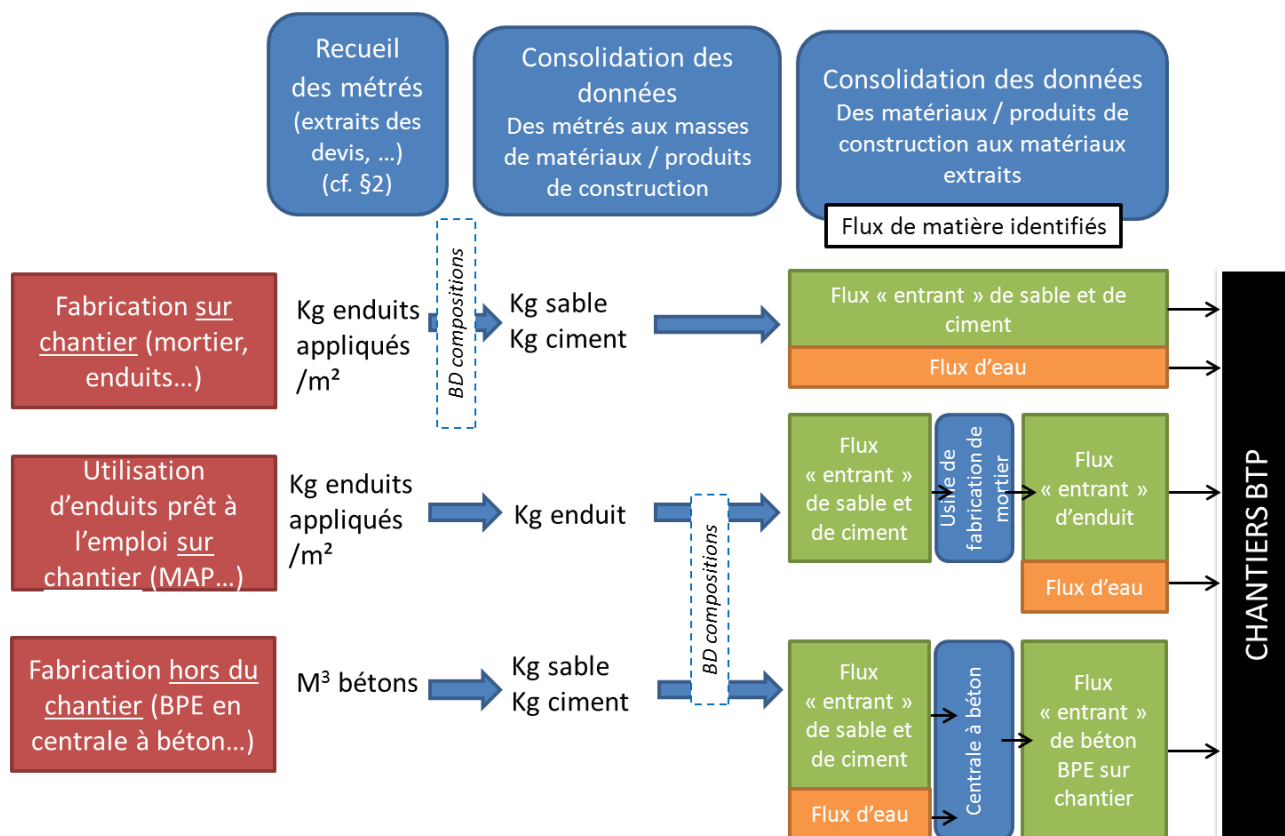


Figure 15 - Eau liée à la matière minérale sèche dans la comptabilisation des flux de matière.

4. Analyse de la disponibilité, de la fiabilité et des défauts de cohérence des données

4.1. À L'ÉCHELLE DU TERRITOIRE DE LA VILLE D'ORLÉANS

4.1.1. FLUX

Collecte et disponibilité de la donnée recherchée

La recherche (l'identification) des chantiers concernés par l'étude dans la limite géographique et temporelle choisie constitue un préalable.

Une fois les chantiers identifiés, on a cherché à quantifier les flux de matériaux utilisés pour ces derniers et leur origine d'une part, et les quantités de déchets générés et leurs destinations d'autre part. Les difficultés méthodologiques déjà en partie mentionnées au § 3.2.1. sont reprises succinctement ci-dessous.

Bien que la plupart des organismes et personnes contactées pour fournir les informations nécessaires au calcul des flux et du stock de matériaux se soient montrées tout à fait coopératives, la collecte des données s'est avérée être un exercice long et difficile du fait du nombre très important d'acteurs à solliciter et de documents d'archives à consulter.

L'antériorité de la période considérée, combinée au fait qu'une telle analyse n'était pas prévue au moment de la conduite des travaux et de l'archivage des documents afférents, constitue un important facteur de perte d'information.

Fiabilité de la donnée

L'estimation des quantités de matériaux/déchets associés à ces chantiers a été faite principalement sur la base des devis, DQE ou DPGF (évaluation antérieure à la réalisation du chantier) pour 11 chantiers sur 14 gros projets.

On a donc estimé ces quantités sur la base d'évaluation *ex-ante* et non pas des quantités constatées et évaluées *a posteriori*. Aucun excédent de chantier n'a donc pu être pris en compte.

Pour les opérations courantes, l'estimation s'est basée sur des ratios de matériaux utilisés au mètre linéaire de voirie ou par m² de SHOB et par type de construction (phase de consolidation des données), seules méthode d'approximation des quantités en jeu possibles.

De plus, les informations collectées ont dû être complétées par de nombreuses estimations pour compenser des données lacunaires ou parce que certains flux de matériaux (et en particuliers de déchets) sont exprimés en forfaits et non en volumes ou tonnages (étape de consolidation des données).

L'estimation des distances parcourues par les matériaux entrants et sortants est un des points les plus difficiles de l'exercice. L'enquête mise en place auprès des entreprises, pour laquelle

un soutien des fédérations professionnelles ainsi que de la ville d'Orléans a été mis en avant, n'a permis d'obtenir que très peu d'informations en retour. En dehors de quelques flux majeurs, comme celui de la pierre d'ornement systématiquement utilisée pour la rénovation et l'embellissement du centre ancien d'Orléans (et provenant d'une carrière distante d'une centaine de kilomètres), et des précisions obtenues sur l'origine des matériaux de quelques chantiers, l'origine de la plupart des flux entrants ne peut être que supposée.

- **Remblais / déblais**

Les remblais/déblais sont des matériaux très intéressants d'un point de vue écologie industrielle puisque des synergies entre différents chantiers dans une même zone géographique semblent être facilement envisageables. On s'intéresse ici à la réutilisation dite « en circuit court » des matériaux évacués d'un chantier dit « déblais » vers un autre chantier pour répondre à un besoin d'apport en matériaux en tant que « remblai ».

La terminologie utilisée dans les documents administratifs associés aux chantiers (devis, bordereau de prix unitaire, décompte des travaux...) ne permet pas forcément de faire le distinguo (pour un volume de matière associé à un montant en €/m³) entre des travaux de terrassement ou une évacuation des déblais excédentaires ou un apport de matériaux (de type granulat ou du tout-venant) Des hypothèses ont donc dû être prises au vu de la terminologie utilisée et des montants unitaires associés.

- **Déchets**

À l'échelle du territoire de la ville d'Orléans et sur la période considérée, l'essentiel des déchets générés provient des chantiers de démolition.

Les données obtenues sur les déchets sont, dans le meilleur des cas, de types métrés (linéaire, surface, volume) mais on est souvent confronté à des informations relatives aux déchets de type monétaires (forfait). La seule indication d'un forfait en regard d'une prestation de démolition d'une partie d'ouvrage ou de la gestion d'un volume de déchets ne permet pas de déterminer la masse et la nature des déchets. À titre indicatif, pour les gros chantiers menés sur le territoire de la ville, des informations utilisables ont pu être recueillies seulement dans 35 % des cas ; pour les autres chantiers, soit l'information n'était que partielle (gestion des déchets au forfait) ou inexistante (aucune référence à des déchets).

L'évaluation des quantités utilisées, majoritairement basée sur des évaluations *ex-ante*, n'a permis d'estimer, ni des excédents de chantier, ni des déchets d'emballage. Dans les rares cas où une analyse des flux a pu être réalisée sur la base des quantités constatées (deux gros chantiers de construction de bâti menés par la SEMDO et un chantier de réhabilitation de la voirie menée par l'Agglo), aucun flux de déchets de ce type n'a été identifié dans les décomptes associés à ces chantiers. Pour les deux chantiers sur le bâti, aucun déchet n'a été identifié dans le premier cas, et dans le second, seuls des déchets associés à la démolition d'éléments maçonnés ont été évalués. La traçabilité de ces déchets n'est donc pas assurée, même dans le cas d'évaluation *a posteriori*. Le faible montant vraisemblablement associé à la gestion de ces déchets peut expliquer le fait qu'aucun prix spécifique n'apparaisse dans les décomptes de travaux.

Au final, on peut supposer que l'évaluation quantitative des déchets qui a pu être menée aboutit à une sous-estimation des déchets générés (gestion des déchets au forfait non traduit en masse, pas d'évaluation d'excédents de chantiers ni de déchets d'emballage). À noter également que les déchets dangereux générés par ces chantiers (amiante...) n'ont été ni comptabilisés ni recensés dans cette analyse (hors champs d'étude).

L'évaluation qualitative de ces déchets n'est qu'approximative, puisque pour les petits chantiers de démolition identifiés par la base de données des permis de construire, ainsi que pour les trois chantiers concernant la démolition complète de quatre bâtiments de logements collectifs, l'évaluation des déchets associés à la démolition de ces ouvrages a été réalisée par le biais d'une modélisation basée sur l'utilisation de ratios pour estimer les déchets générés (kg de déchets par m² démolis). On obtient donc des informations de type : masse de menuiserie déposée, quantités de blocs bétons démolis, etc. Ces masses en jeu ne correspondent pas à des flux réels de déchets gérés de manière individuelle avec leur destination propre. Il est tout à fait possible que l'ensemble des déchets générés par ces démolitions soit intégralement destiné à l'enfouissement. D'une manière générale, la destination des déchets de chantier n'est quasiment jamais mentionnée. Il a donc été nécessaire de prendre des hypothèses quant au mode de gestion et à la destination de ces flux de déchets (cf. 5.1.2.).

Synthèse

Au final, sur les 66 % des chantiers identifiés pour lesquels une estimation des matériaux/déchets en jeu a pu être réalisée, 87 % seulement du montant des travaux a pu être traduit en quantités.

L'exercice plaide ainsi pour la mise en place par le maître d'ouvrage d'une exigence de traçabilité des flux de matériaux entrants et sortants en amont/aval de tout chantier BTP.

4.1.2. STOCK

L'estimation d'une surface par type de bâtiment à l'échelle de la commune est basée sur des données existantes et/ou accessibles (données INSEE, images aériennes, BD Topo de l'IGN, visites de terrain) et fiables.

En revanche, l'estimation du stock à l'échelle d'une ville, est établie à un moment donné (le système ville est en permanente évolution), à partir de la méthodologie proposée. Elle est donc caractérisée par une série d'incertitudes, qui ont été regroupées par source.

Incertitudes liées à la modélisation géométrique des bâtiments

Une grande partie de l'analyse et de la collecte de données repose sur les données SIG fournies par l'IGN à travers le produit BD Topo. Le document explicatif de la BD Topo (http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDTopo_2_1.pdf) caractérise la précision géométrique des éléments.

La modélisation géométrique des bâtiments peut avoir deux origines dans la BD Topo :

- milieu bâti sans le cadastre intégré. L'emprise au sol des bâtiments dans la BD Topo correspondra à la surface du toit. Les bâtiments contigus ou agrégés ne sont pas distingués, sauf si entre eux il existe une grande différence de hauteur (> 10 m) ;
- milieu bâti avec le cadastre intégré. L'emprise au sol de chaque entité correspond à un seul bâtiment du cadastre. Le contour du bâtiment ne correspond plus à la vue aérienne.

Dans le cas de la commune d'Orléans, pour la majorité des bâtiments, l'emprise au sol est définie à partir du cadastre.

Pour une grande partie des bâtiments d'Orléans, la précision planimétrique (cf. tableau 37) correspond à une photogrammétrie des PVA longue focale ou une levée terrain (1,5 à 2,5 m) et pour l'altimétrie (cf. tableau 38) à une interpolation à partir du MNT²² (précision > 2,5 m).

Source des données	Précision	Valeurs de l'attribut
Levé GPS de précision	Inférieure à 0,5 m	0.5
Photogrammétrie, plan ou fichier métrique	0,5 à 1,5 m	1.5
Photogrammétrie des PVA longue focale, levé GPS dynamique, levé terrain	1,5 à 2,5 m	2.5
Orthophotographie, plan ou fichier non métrique, BD TOPO® version antérieure	2,5 à 5 m	5
Carte 1/25000	5 m à 10 m	10
BD CARTO®	Supérieure à 10 m	30

Tableau 37 - Précision planimétrique de la BD Topo en fonction de l'origine de la donnée.

Source des données	Précision	Valeurs de l'attribut
Photogrammétrie	Inférieure à 1 m	1
GPS	1 m < précision < 2,5 m	2.5
Interpolation MNT	2,5 m < précision	20
Sans Z		9999

Tableau 38 - Précision altimétrique de la BD Topo en fonction de source de la donnée.

L'estimation des surfaces totales de chaque entité bâtiment (SHOB $\approx$ surface au sol x nombre de niveaux), se base sur l'hypothèse selon laquelle un étage équivaut à 3 m de hauteur bâtie (CETE Normandie-Centre 2001).

En général, pour les bâtiments bas (un étage au maximum), la modélisation géométrique correspond relativement bien à la réalité.

Pour les immeubles hauts, il peut y avoir des différences d'un ou plusieurs niveaux entre la réalité et l'estimation qui est faite.

La présence de combles aménagées, niveaux demi-enterrés ou caves n'est pas considérée non plus par la BDTopo.

En ce qui concerne les caves et les sous-sols, des hypothèses ont été prises en fonction des visites de terrain et des caractéristiques de la ville, en considérant :

- la présence de caves dans les bâtiments anciens et l'habitat collectif du côté Nord-Loire (le sous-sol de la ville, calcaire, a fréquemment été utilisé comme carrière) ;
- l'absence de sous-sols ou caves côté sud Loire (rive gauche), car c'est une zone inondable (lit majeur de la Loire) ;

²² MNT : Modèle Numérique de Terrain

- un pourcentage de 20 % de sous-sols pour les bâtiments collectifs de la ville Nouvelle d'Orléans-la-Source (implantée également au sud de la ville ancienne, mais hors zone inondable).



Figure 16 - Le bâtiment de gauche compte 16 niveaux mais à partir de la BDTopo on en estime 15 ; pour le bâtiment de droite (deux niveaux plus combles aménagés) à partir de la BDTopo on estime deux niveaux (images extraites de GoogleStreet).

Identification des matériaux de construction et de l'aménagement

Les méthodes constructives et les principaux types de bâtiment ont été distingués à partir des visites de certains quartiers de la ville. Assigner à chaque entité bâtiment un type de structure porteuse et un âge moyen est forcément source d'incertitudes :

- des méthodes constructives peuvent n'avoir pas été prises en considération dans la typologie des principaux types d'habitat, comme par exemple le fait que quelques bâtiments d'habitat individuel ont pu être construits avec des murs entièrement en béton armé ;
- l'affectation à chaque bâtiment d'un mode constructif à partir d'une « simple » visite de terrains suppose une bonne connaissance des différents modes constructifs, et donc une expérience certaine de l'opérateur dans le domaine.

La BD Majic II (base de données des fichiers fonciers) aurait pu constituer une source de données supplémentaire sur certains aspects, ou permettre de croiser les sources d'informations. Cette base de données contient, parmi beaucoup d'autres caractéristiques, la nature des gros-murs des bâtiments (pierre, briques, béton, bois, aggloméré), mais ne distingue pas le système porteur. Par exemple, pour les immeubles en béton, elle ne permet pas de distinguer les systèmes poteaux-poutres des systèmes en voiles béton.

La BD Majic II ne donne pas plus de précisions spatiales que le cadastre.

En raison de son caractère (données d'accès restreint et confidentiel), le travail ici présenté s'est basé sur des produits plus standards et plus accessibles, aussi bien en SIG (images aériennes et BD Topo de l'IGN) qu'en données statistiques de l'INSEE.

La méthode n'est pas capable de prendre en compte le renouvellement des bâtiments d'une façon individuelle. Un pavillon des années 1950, dont les menuiseries extérieures originales en bois et simple vitrage, ont été remplacées à la suite des travaux par des menuiseries en PVC et double vitrage ne sera pas distingué d'un pavillon resté « dans son jus ».

Une utilisation des données statistiques nationales, avec une information du taux de renouvellement du bâti ancien, pourrait être appliquée de façon forfaitaire sur l'ensemble du logement de la commune afin de corriger ce biais. Cet exercice n'a pas été réalisé ici.

Éléments non considérés

Une série d'éléments n'a pas été prise en compte dans l'analyse du stock en raison de leur complexité, faute de moyen de les cartographier et de les quantifier. Parmi ces éléments, on peut citer :

- les petites constructions (moins de 20 m²), les constructions légères²³ ;
- les bâtiments dits historiques, pour lesquels il n'est pas possible de calculer une SHOB et d'appliquer des ratios (ils sont considérés comme des composantes invariables du stock, leur durée de vie pouvant être considérée comme indéterminée) ;
- les murs de soutènement, les digues du canal d'Orléans et les levées de la Loire ;
- les ponts sur la Loire et sur la voie ferrée et les échangeurs, exception faite du pont de l'Europe, pour lequel les informations du moment de la construction étaient disponibles.

A contrario, un test de sensibilité réalisé en considérant la quantité de matière stockée dans le pont de l'Europe était pratiquement négligeable, lorsqu'elle était ramenée en m³/hab. de la ville.

Il est raisonnable de considérer que les approximations liées à la non prise en compte de certains équipements particuliers (ponts, murs de soutènement...) ou des ouvrages « historiques » (cathédrale, digues) n'affectait pas de façon significative les quantités et ratios calculés dans cette étude.

4.2. À L'ÉCHELLE DES CHANTIERS EN BOUCHES-DU-RHÔNE

4.2.1. Disponibilité de la donnée

Lors de l'élaboration du questionnaire, une participation d'un ingénieur Environnement de Treize Développement à certaines des réunions hebdomadaires de suivi des chantiers avait été envisagée. Cette participation, bimensuelle pour chacun des trois chantiers, avait pour objectifs d'une part de connaître régulièrement l'évolution des travaux et des éventuelles modifications, et, d'autre part, de conserver un contact proche auprès des chefs de chantiers, qui sont les référents en matière de données sur les matériaux et les déchets à recueillir.

Les trois chantiers retenus dans le cadre d'ASURET étaient sous la responsabilité de la Direction de la Maîtrise d'Ouvrage Publique de Treize Développement via un mandat du Conseil général des Bouches-du-Rhône et de la Mairie de Septèmes-les-Vallons.

Dans ce cadre les chargés d'opérations de Treize Développement ont assuré le suivi de chacun des chantiers et ont participé aux réunions hebdomadaires. La collaboration entre les

²³ Le mobilier urbain, qui n'entre pas dans le champ d'ASURET est également exclu.

ingénieurs environnement et les chargés d'opération de Treize Développement a permis de mettre en place un suivi régulier et de proximité des chantiers.

Les ingénieurs environnement ont participé à une dizaine de réunions pour chacun des chantiers. À cela s'ajoute plus d'une vingtaine de relances des différents corps de métiers, réalisée par email et par téléphone pour chacun des chantiers.

Malgré cette présence régulière et active sur site, auprès des différents corps de métier, la sollicitation des acteurs n'a pas abouti au recueil complet des données recherchées.

Les matériaux entrants

Les deux premiers mois des chantiers, qui concernent exclusivement les lots « gros œuvre » et « VRD », ont pu être détaillés. Toutefois, la fréquence mensuelle envisagée au démarrage pour le recueil de ces données n'a pas pu être maintenue dans le temps.

L'augmentation progressive de la cadence des travaux a limité la disponibilité des acteurs pour assurer la fréquence mensuelle initiale. Ceci est encore plus marqué pour les corps de second œuvre, qui interviennent vers la fin du chantier et ont pour objectif de limiter le retard souvent pris en amont lors des phases antérieures du chantier.

Il a donc été convenu, en concertation avec les acteurs, de réaliser une compilation globale des données en fin de chantier pour chacun des corps de métier.

Pour deux lots (électricité et plomberie) du chantier Arenc Bachas, un ingénieur de Treize Développement s'est déplacé directement dans l'entreprise pour extraire les données quantitatives « matériaux » des logiciels de suivi des commandes. Cette approche n'a pas pu être mise en œuvre pour les autres lots, pour des raisons de confidentialité des prix réels des matériaux.

Malgré les efforts de suivi et les nombreuses relances, les entreprises titulaires de plusieurs lots n'ont jamais répondu aux questionnaires envoyés. Plusieurs raisons ont été données :

- un manque de disponibilité des chefs de chantiers pour compiler les données nécessaires ;
- une collecte des données non prévue contractuellement au démarrage du projet et donc non obligatoire ;
- le non suivi des quantités / matériaux mis en œuvre par certaines entreprises (essentiellement des sous-traitants).

Ainsi les taux de recueil des données par chantier est de :

- collège Arenc Bachas : six lots sur huit concernés (lots non répondus ; cloisons et menuiseries extérieures) ;
- collège Vallon de Toulouse : deux lots sur huit concernés (attention : chantier non terminé) (réponse partielles des lots VRD et Gros Œuvre) ;
- école Jules Ferry : six lots sur huit concernés (lots non répondus ; électricité-plomberie et menuiseries extérieures).

Les déchets de chantier et de démolition

Le suivi des déchets d'un chantier est majoritairement assuré par l'une des entreprises de travaux. Généralement, il s'agit de celle réalisant le gros œuvre, car elle est présente du début à la fin du chantier et pèse souvent fortement sur le plan financier.

La fréquence mensuelle de collecte de données envisagée au démarrage, n'a pas pu être assurée dans le temps par les entreprises. Les raisons sont identiques à celles qui ont été observées pour l'enquête matériaux.

Une compilation globale des données en fin de chantier a donc été effectuée.

Pour les chantiers des collèges, la collecte de ces informations, qui a nécessité de nombreuses relances, n'a pas permis un recueil suffisant des données. Les centres de tri de déchets ont pu être identifiés, sans toutefois accepter de fournir les tonnages, les destinations et les taux de valorisation des déchets traités.

Pour l'école Jules Ferry, le recueil a été facilité par le fait que l'entreprise générale en charge de l'ensemble de la construction et de la gestion des déchets a entamé depuis plusieurs années une démarche de développement durable. Dans le cadre de cette démarche, elle a réalisé le suivi des déchets de plusieurs de ses chantiers dont celui de l'école Jules Ferry.

L'entreprise a donc pu fournir des données mensuelles complètes quantitativement mais surtout qualitativement. Le centre de tri, vers lequel les déchets du chantier ont été transférés, a été identifié avec précision, ainsi que leurs destinations finales et leurs taux de valorisation.

4.2.2. Fiabilité de la donnée

À partir des éléments fournis par les lots ayant répondu à l'enquête, il a été observé que les quantités mises en œuvre sur le chantier sont exprimées dans des unités utilisées habituellement par les corps d'état et non en unité massique comme cela avait été demandé. Certains lots comme le « gros œuvre » expriment couramment leurs matériaux (bétons) en masse voire en m³, et d'autres emploient préférentiellement les mètres linéaires ou les « unités » qui correspondent à des « pièces ».

De ce fait, les données collectées ont été harmonisées et ont nécessité une consolidation via des conversions massiques.

Le chantier du collège Arenc Bachas est le premier des deux chantiers « collège » à avoir été achevé au cours du projet ASURET. Pour ce chantier, 223 références de produits différents ont été identifiées à partir des données recueillies.

Concernant le chantier Jules Ferry, 48 références qui ont été identifiées.

La différence avec le collège Arenc Bachas réside dans le fait que les « lots électricité » et « plomberie » de l'école n'ont pas répondu à l'enquête. Or ce sont ces lots qui comprennent le plus de références (câbles, canalisations, chemins de câbles...). Une première estimation massique a été réalisée à partir de ces données via des facteurs de conversion (sources bibliographiques publiques ; FDES, rapports CSTB, données fabricants). Cette estimation a été ensuite affinée par le CSTB à l'aide de facteurs complémentaires en leur possession.

Les lots « cloisons et menuiseries extérieures » n'ont pas répondu à l'enquête, leurs matériaux ne sont donc pas pris en compte pour le collège Arenc Bachas. Il en est de même pour les lots électricité – plomberie et menuiseries extérieures de l'école Jules Ferry.

4.2.3. Estimation des données manquantes à partir des documents disponibles

Pour les lots n'ayant pas répondu à l'enquête, une estimation a été réalisée sur la base des données mentionnées dans les documents de réponse aux appels d'offre (DPGF, CCTP).

Ces données ont été compilées en utilisant les unités dans lesquelles elles ont été exprimées dans ces documents.

Elles ont ensuite été converties et consolidées par le CSTB lorsque cela était possible (voir chapitre 3), en particulier pour les matériaux exprimés dans les unités « forfait » et « ensemble ».

Les unités « forfait » et « ensemble » ont été observées sur un nombre restreint de cas (une quinzaine de cas sur l'ensemble des trois chantiers). Elles concernent essentiellement les lots « VRD » et « Gros Œuvre », mais dans le cas le plus complexe les lots « plomberies ». Pour ce dernier, la problématique réside dans le fait que l'ensemble des canalisations froides et chaudes a été exprimé sous la forme d'un forfait global. Or, c'est cette composante du second œuvre qui comprend le plus de références différentes de produits.

Les lots « menuiseries extérieures » sont un cas particulier. Les menuiseries représentent plus de 70 références différentes pour un collège et sont réalisées sur-mesure par des vitriers-assembleurs. Ces vitriers n'ayant pas répondu à l'enquête, une approche spécifique a été mise en œuvre.

Les surfaces vitrées et les surface de châssis ont été mesurées pour chaque référence d'après les plans d'architecte fournis dans le cadre des appels d'offre. Les surfaces totales pour le chantier ont été déduites de ces mesures et du nombre d'unités par référence envisagées par le maître d'œuvre.

Ces surfaces permettront au CSTB d'estimer les masses de verre et d'aluminium employées, à partir des prescriptions techniques du maître d'œuvre décrites dans les CCTP (format double vitrage, épaisseur et largeur des châssis...).

5. Analyses de flux de matière consolidée, sur les deux territoires

5.1. À L'ÉCHELLE DU TERRITOIRE DE LA VILLE D'ORLÉANS

5.1.1. Stock de matière constitué par la ville d'Orléans

Le calcul du stock de matière à l'échelle de la ville d'Orléans se fait à partir des données surfaciques ou linéaires des différents types de bâtiment, voirie et réseaux et les ratios par types de matériaux en fonction de cette classification.

La Figure 17 montre un exemple de la méthodologie suivie pour la modélisation géométrique d'un bâtiment, l'identification du type de structure et le calcul de tonnage par nature de matériau.

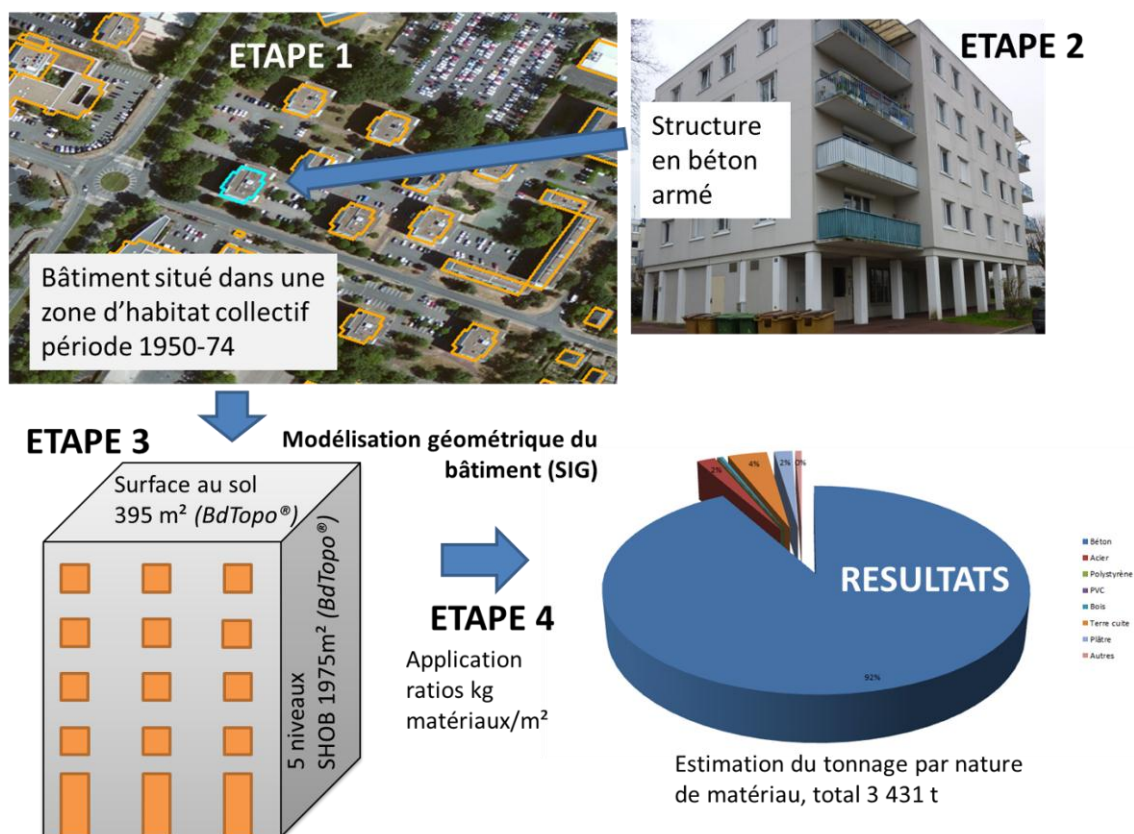


Figure 17 - Schéma d'exemple de la méthodologie suivie pour l'évaluation du stock de matière dans le bâti (ville d'Orléans).

La quantité de matière accumulée dans le bâti et les infrastructures de la ville d'Orléans a ainsi été estimée (pour les substances et produits considérés dans le périmètre de l'étude, hors aménagements et mobiliers urbains) à 28,5 millions de tonnes, soit environ 253 t par habitant (159 t/hab. pour le bâti, 32 t/hab. pour les voiries et 62 t/hab. pour les réseaux enterrés et tranchées en remblai associées).

Deux exercices du même ordre, conduits l'un en 2007 sur la ville de Vienne (Autriche) et l'autre au niveau national au Japon (et donc à une autre échelle et sur une autre typologie de bâti) (Hashimoto *et al.*, 2009) ont abouti respectivement à des valeurs estimées de 350 t/hab. (Vienne) et 235t/hab. (Japon).

Des différences au niveau du spectre de substances retenu, les caractéristiques des trois territoires, et bien évidemment les incertitudes inhérentes à ces exercices expliquent ces écarts.

La fraction issue de la matière minérale, largement prépondérante, représente 97 % en poids du total du stock (cf. Figure 18 et tableau 39). Au niveau du bâti lui-même, la pierre calcaire (39 %), matériaux historique de la ville, et les bétons (53 %) sont majoritaires (cf. figure 19). Mis à part les briques et les tuiles (5 %), les autres matériaux ne représentent qu'une fraction à peine mesurable (2 % au total pour le cumul plâtre, chaux, enduit, laine minérale, verre).

Type ouvrage	Matière minérale	Matériaux issus de la plasturgie	Matériaux issus de la métallurgie	Bois
BATI	17 183 000	94 000	231 000	514 000
VOIRIE (dont parking)	3 539 000	69 000	0	0
RESEAUX	6 877 000	4 000	30 000	0
AUTRES (voies ferrées, pont)	52 000	0	15 000	4 000
STOCK TOTAL (tonnes)	27 651 000	167 000	276 000	518 000

Tableau 39 - Répartition des matériaux en masse (tonnes) par type de structure (bâti, voirie, réseaux et autres).

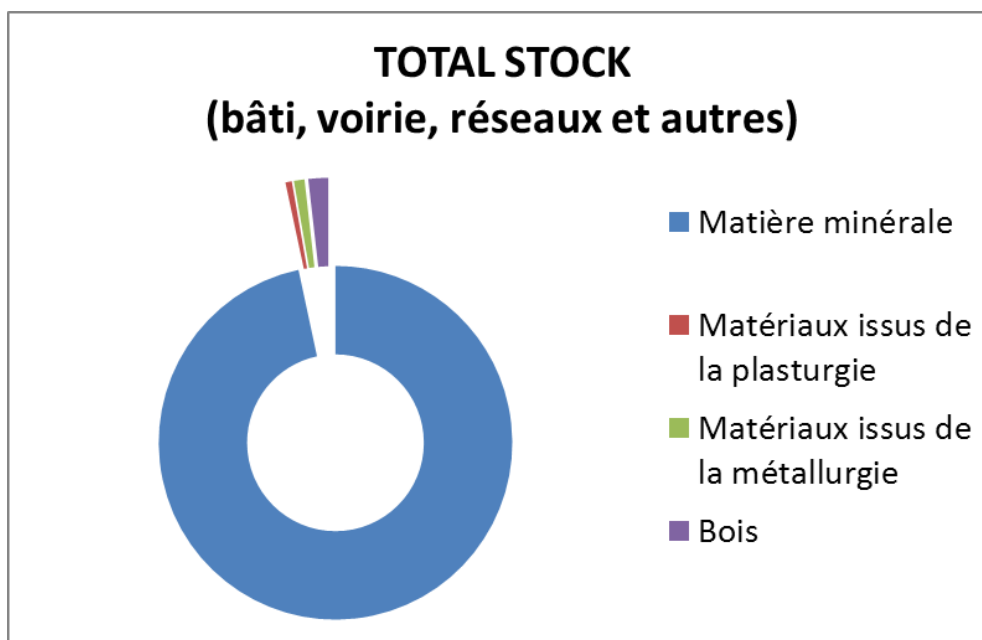


Figure 18 - Répartition du stock matière de la ville d'Orléans par grand groupe de matériaux.

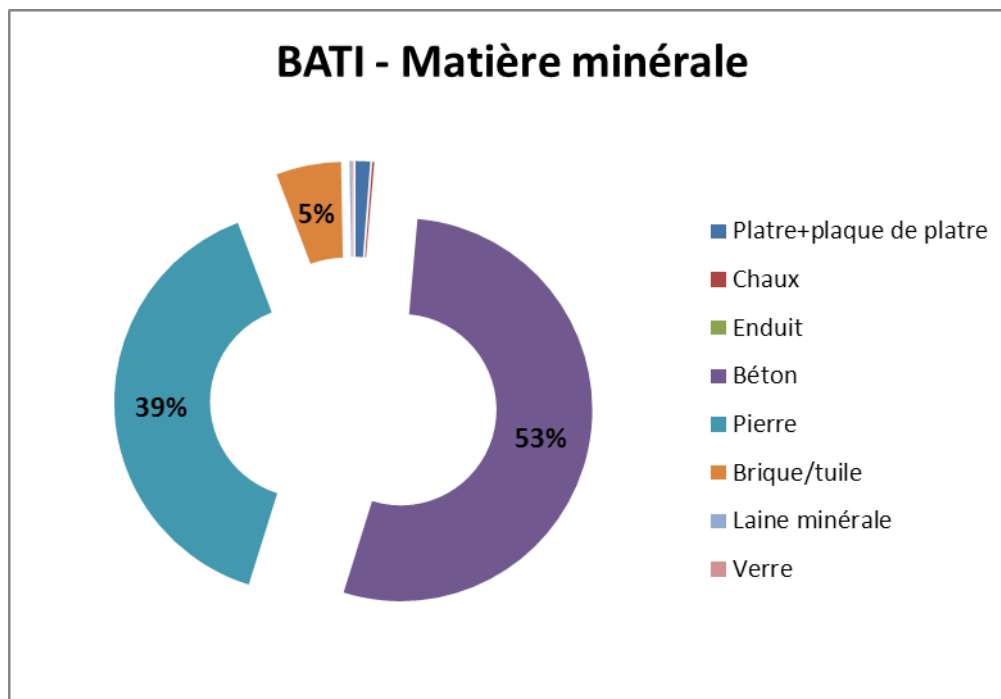


Figure 19 - Répartition de la matière minérale stockée dans le bâti de la ville d'Orléans par nature.

5.1.2. Flux de matière associés aux chantiers BTP de la ville d'Orléans (2004-2006)

Matériaux mis en œuvre sur les chantiers BTP

- **Quantité et nature**

Les matériaux ou produits de construction utilisés et mis en œuvre sur les chantiers ont été recensés pour chaque chantier. Ils sont regroupés suivant la nature de la matière qui les constitue (cf. figure 20).

En termes de composition, quel que soit le type de chantier voirie / bâti, en construction, réhabilitation, démolition, les matériaux utilisés sont constitués à plus de 95 % par de la matière minérale²⁴.

Pour les chantiers de voirie, le reste est presque intégralement constitué de matériaux fabriqués à partir de pétrole (asphalte) pour une fabrication d'enrobé.

En compléments des matières minérales, on retrouve également pour la réhabilitation du bâti, les matériaux issus du pétrole (à hauteur de 2 %) avec tous les produits utilisés en étanchéité tels que les complexes d'étanchéité à base d'asphalte ou les matériaux associés aux travaux de VRD (voirie / réseau / divers).

Les granulats utilisés en remblais pour le nivellement des sols constituent l'intégralité des matériaux identifiés pour les chantiers de démolition.

²⁴ Sont inclus dans les matériaux comptabilisés dans la catégorie « matière minérale » les granulats utilisés en remblais définis comme tels.

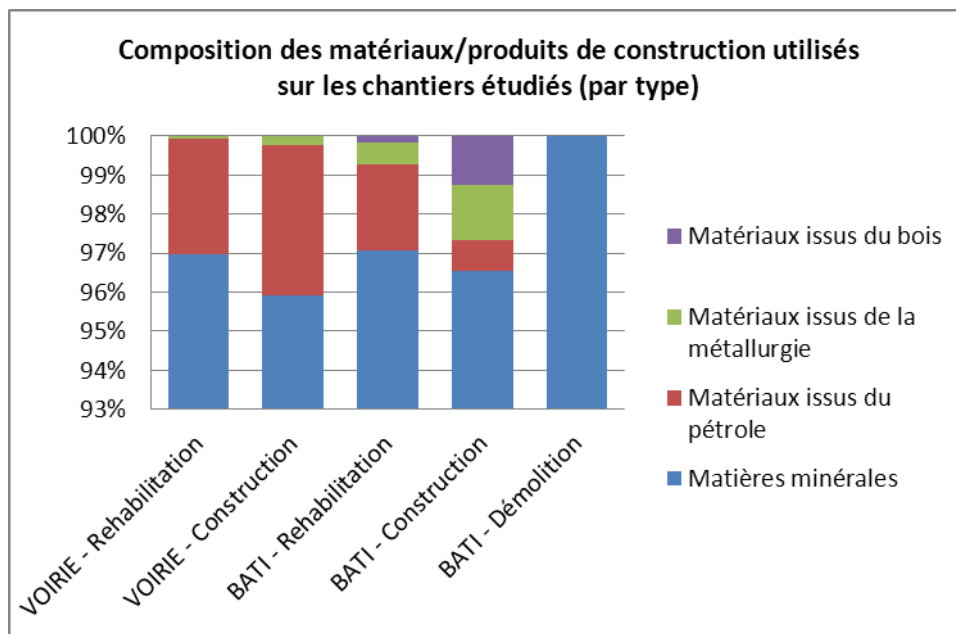


Figure 20 - Composition des produits de construction utilisés sur les chantiers par type.

La masse totale des matériaux utilisés pour réaliser l'ensemble des chantiers sur le territoire de la ville d'Orléans sur une période de trois ans (2004 à 2006) s'élève à plus de 358 000 tonnes (cf. tableau 40).

Ouvrage	Matière minérale (dont remblai en granulat)	Matériaux issus du pétrole	Matériaux issus de la métallurgie	Matériaux issus du bois	Masse totale
VOIRIE - Réhabilitation	24 600	700	0	0	25 400
VOIRIE - Construction	5 700	200	0	0	5 900
BATI - Réhabilitation	11 900	300	100	0	12 300
BATI - Construction	300 500	2 500	4 300	4 000	313 300
BATI - Démolition	3 200	0	0	0	3 200
Masse totale (tonnes)	346 000	3 700	4 400	4 000	358 100
	96,6 %	1,0 %	1,2 %	1,1 %	100 %

Tableau 40 - Répartition des matériaux utilisés en masse (tonnes) par type de chantier.

Ce besoin en matériaux est principalement à mettre en lien avec les chantiers de constructions qui ont eu lieu sur cette période (87 % des besoins).

Les matériaux fabriqués à partir de matière minérale extraite du sol et sous-sol représentent à eux seuls plus de 96 % des besoins en matériaux identifiés, les granulats utilisés en remblai représentant 2 % de ce total.

Si l'on s'intéresse aux matériaux de construction utilisés issus de la matière minérale (hors granulat pour remblai), tout chantier confondu sur la période d'étude les trois quarts de la masse en jeu sont constitués par du béton prêt à l'emploi utilisé pour les fondations et les éléments structurels (cf. tableau 41) :

Enrobés...	Fabrication d'enduit / mortier sur chantier					Enduits/mortiers prêts à l'emploi	Bétons BPE	Eléments en béton préfabriqués	Eléments en pierre, granit...	Carrelage	Plaque de plâtre technique, carreau de plâtre	Briques	Ardoise fibre-ciment	Laine minérale	Verre (menuiserie)
Autre granulat	Eau liée à la matière minérale	Granulat	Plâtre	ciment	Chaux										
7,2 %	1,1 %	1,1 %	0,5 %	0,3 %	0,0 %	1,3 %	75,3 %	5,6 %	3,4 %	0,1 %	1,0 %	2,8 %	0,0 %	0,2 %	0,1 %

Tableau 41 - Matériaux de construction utilisés pour les chantiers, tout confondu, sur le territoire de la ville d'Orléans et sur la période d'étude - Matériaux fabriqués à partir de matière minérale extraite du sol et sous-sol.

Les matériaux de construction fabriqués à partir de pétrole (cf. figure 21), sont constitués pour la moitié par des complexes d'étanchéité (à base d'asphalte ou autres), pour 30 % par du bitume utilisé pour la fabrication d'enrobé et le reste regroupant les matériaux utilisés en isolation (13 %), les éléments en PVC sous toutes ses formes (8 %) et autres divers matériaux.

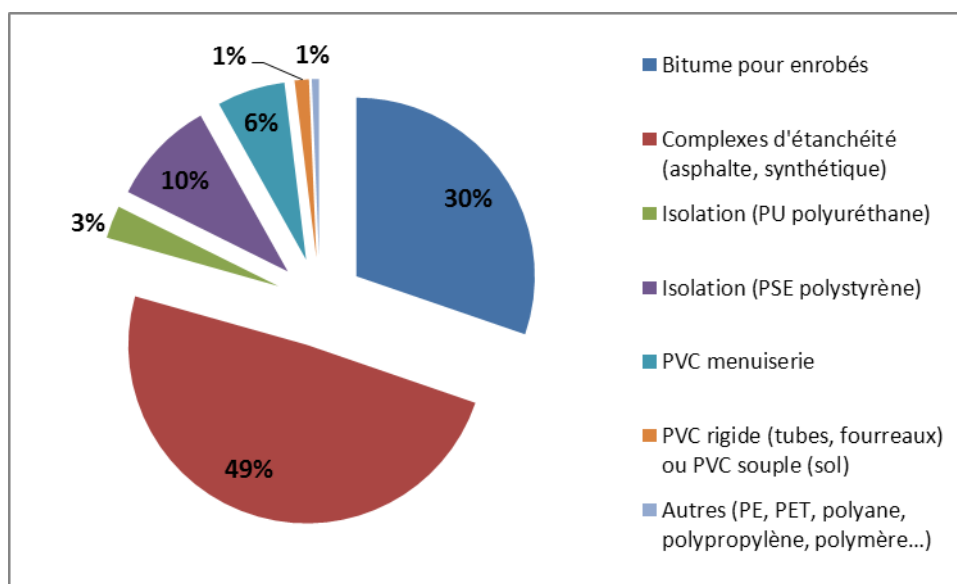


Figure 21 - Matériaux de construction utilisés pour les chantiers, tout confondu, sur le territoire de la ville d'Orléans et sur la période d'étude - Matériaux fabriqués à partir de pétrole.

Les éléments métalliques concernés sont principalement des éléments en acier (91 %) ; les autres métaux rencontrés sont par ordre décroissant d'utilisation pour les chantiers concernés : l'aluminium (7,5 %) pour la menuiserie ou le câblage, la fonte (bouches d'égout...), puis le cuivre et l'inox (0,2 % chacun), le zinc et le plomb (0,1 % chacun) et enfin, de manière anecdotique, l'étain et le laiton.

- **Origine des matériaux**

En raison du manque d'informations, l'identification de l'origine des matériaux des chantiers de la ville d'Orléans a été limitée à l'analyse des synoptiques décrits dans le chapitre 2 et des quelques informations récoltées avec le questionnaire auprès des entreprises.

L'appui cartographique utilisé pour déterminer l'approvisionnement des chantiers de la ville d'Orléans est détaillé dans le livrable 4.3²⁵ du projet.

L'origine des matériaux pondéreux tels que le béton prêt à l'emploi et les granulats est identifiable à l'échelle du territoire, c'est-à-dire à moins de 50 kilomètres.

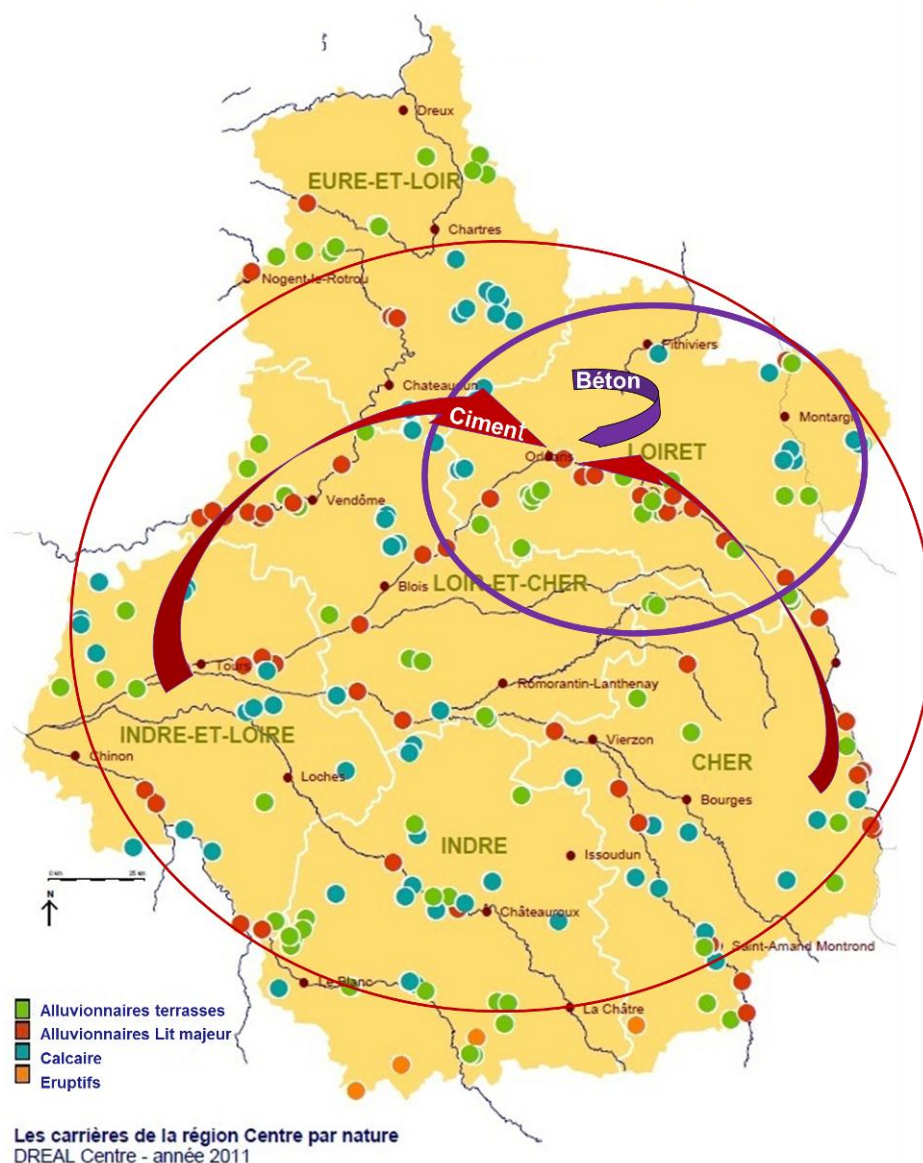


Figure 22 - Rayon d'approvisionnement en béton et en ciment de la ville d'Orléans.

²⁵ Représentation cartographique de l'approvisionnement des matériaux des chantiers de la ville d'Orléans

En revanche, en analysant la répartition des carrières sur l'ensemble de la région (cf. figure 22), il apparaît que le ciment, matériau indispensable du BTP, n'est disponible à l'échelle de la région, qu'en provenance des départements d'Indre-et-Loire et du Cher (Alizert L. *et al.*, 2009).

Déchets générés

L'analyse de la disponibilité, de la fiabilité et des défauts de cohérence des données (cf. § 4.1.1.) a mis en lumière la sous-estimation potentielle de l'évaluation quantitative des déchets qui a pu être menée : forfait non traduit en masse, pas d'évaluation des excédents de chantiers ni des déchets d'emballage, déchets dangereux non inclus dans l'analyse (hors champs du projet).

De plus, l'évaluation qualitative des déchets est partielle et imprécise (rares informations ou informations sur la composition de déchets établies par modélisation indépendamment des flux réels de déchets). Les informations recueillies et synthétisées ci-après sont donc à considérer avec précaution.

Les déchets générés par les chantiers étudiés s'élèveraient à plus de 166 000 tonnes. 91 % de ces déchets proviennent des chantiers de démolitions, alors qu'ils représentent seulement 33 % des gros chantiers et 25 % des petites opérations. Les déchets inertes représentent 86 % des déchets estimés, les autres déchets sont des déchets non dangereux (6 %) ou des déchets en mélange non identifiés (gravois) (1 %) auxquels s'ajoutent les déchets d'enrobés (7 %).

À part un ordre de grandeur de la quantité de déchets réceptionnés en déchetterie (cf. § 2.1.3.), la destination de ces déchets et leurs filières de traitement sont inconnues. Il a donc fallu prendre les hypothèses les plus représentatives possibles de la situation en matière de gestion des déchets en 2004-2006. Elles sont basées sur des documents de référence (livre blanc de l'UNPG sur les carrières et granulats à l'horizon 2030, statistiques 2008 extraites du document du CGDD (CGDD, 2010)).

On privilégie un recours à l'utilisation des déchetteries comme exutoires pour les déchets générés lors des chantiers de construction / réhabilitation plutôt que ceux issus des chantiers de démolition conformément aux pratiques courantes des entreprises concernées.

Les autres hypothèses prises sont les suivantes :

- **Déchets inertes en mélange :**

- 20 % des déchets inertes issus de chantiers de démolition sont envoyés en installations de stockage (IFEN, 2007) ;
- 6 % envoyés vers des plateformes de recyclage de granulat (UNPG, 2011), 26 % réutilisés ou recyclés sous une autre forme, 30 % envoyés en centre de tri, 17 % supposés être « valorisé » en remblaiement de carrière (CGDD, 2010). Environ 25 carrières du Loiret acceptent en remblaiement des matériaux de type inerte, conformément aux prescriptions de leur arrêté préfectoral d'exploitation (refus des gravats de démolition mélangés contenant du plâtre, du bois, des plastiques, de la moquette, des déchets verts et des souches) ;
- les déchets inertes issus des chantiers de construction et de réhabilitation seraient intégralement déposés en déchetteries par les entreprises concernées.

- **Déchets non dangereux en mélange :**

- les déchets non dangereux en mélange issus des chantiers de construction et de réhabilitation seraient intégralement déposés en déchetteries ;

- pour les déchets issus des chantiers de construction, 67 % de ces déchets sont supposés être déposés en déchetterie, 15 % en centre de tri, 15 % envoyés en installations de stockage de déchets non dangereux (IFEN, 2007) et enfin; 3 % seraient réutilisés / recyclés directement ;
- les déchets ferreux seraient intégralement recyclés après un passage par déchetterie ou centre de tri ou repris.

- **Déchets d'enrobés :**

ils seraient réutilisés pour la fabrication de nouveau enrobé à raison d'un taux de réutilisation de 65 %, 30 % seraient envoyés en centre de regroupement / centre de tri ; le reste (5 %) enfouis.

Au final, 14 % des déchets seraient « valorisés » en remblaiement de carrière, 18 % enfouis directement, 4 % déposés en déchetteries, 29 % envoyés en centre de tri, 29 % réutilisés / recyclés et 5 % envoyés vers des plateformes de fabrication de granulats recyclés.

On suppose également que :

- sont valorisées en centre de tri des ferrailles uniquement contenues dans les déchets en mélange, le refus de tri étant transféré en installation de stockage (pour déchets inertes ou pour déchets non dangereux selon le cas) ;
- les déchetteries permettent le recyclage des ferrailles, les déchets inertes étant envoyés en installations de stockage pour déchets inertes et le tout-venant en installations de stockage pour déchets non dangereux.

Au final, 35 % des déchets tous confondus pourraient être réutilisés / recyclés (en granulats, enrobé, ferraille et autres), 14 % valorisés en remblaiement de carrière pour 18 % des déchets enfouis. Ces estimations sont à prendre avec précaution puisqu'elles ne sont pas basées sur la situation réelle locale mais principalement sur des statistiques nationales de 2008 sachant également que d'une source de données à l'autre, les chiffres mentionnés peuvent être très disparates.

Déblais / remblais

La réutilisation dite « en circuit court » concerne des matériaux évacués comme « déblais » d'un chantier vers un autre chantier pour répondre à un besoin d'apport en matériaux en tant que « remblai » par exemple. Aucune synergie entre chantier n'a pu être identifiée à l'époque à l'échelle du territoire de la ville. Au vu des quantités de déblais et remblais estimées, déblais excédentaires évacués évalués à 22 600 tonnes pour un besoin en remblai de type tout venant estimé à 4 500 tonnes, une marge de progrès certaine existe (cf. figure 23). Des granulats sont également utilisés en remblai pour des questions de contraintes géotechniques.

Ces questions de transfert entre chantiers sont à aborder en prenant en compte les travaux actuels sur la problématique des terres excavées.

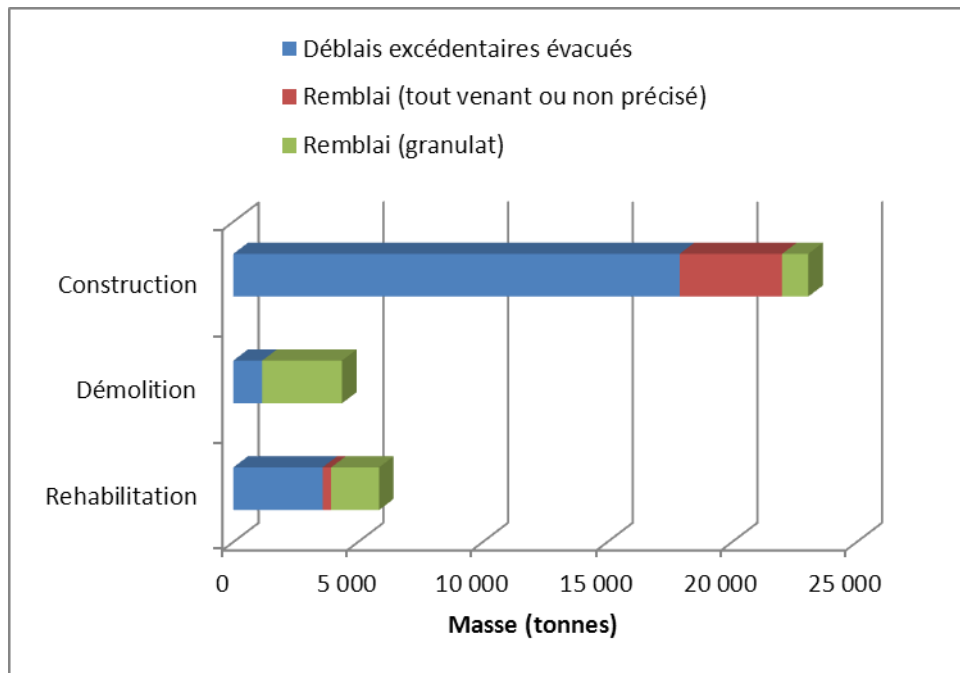


Figure 23 - Remblais et déblais associés aux chantiers sur le territoire de la ville d'Orléans et sur la période d'étude.

5.1.3. Matière en circulation (flux) et matière immobilisée (stock)

Analyse des flux et stocks de matière sur le territoire d'Orléans sur la période 2004-2006

Le projet ASURET vise à définir les conditions d'amélioration du bilan des activités du BTP, en réduisant le recours aux ressources naturelles et en optimisant la valorisation de matériaux recyclés. Ceci suppose de reconsidérer globalement l'activité BTP dans une approche systémique. Une analyse des flux de matières a donc été menée à l'échelle du territoire de la ville d'Orléans sur une période donnée de grande activité en matière de travaux.

Les méthodes d'analyse des flux de matières « *Material flow analysis (MFA)* » permettent de décrire et d'analyser des systèmes complexes et de, par exemple, « mesurer la performance écologique de ces territoires ». Plusieurs approches se distinguent en ce qui concerne la définition des flux, la façon de les quantifier et les limites du système étudié.

Parmi celles-ci, la méthode MFA, initiée par Peter Baccini et Paul H. Brunner semble particulièrement aboutie. Cette méthode est basée sur un inventaire qualitatif et quantitatif à l'échelle d'un territoire pendant une période de temps donnée :

- des flux de matière avec les flux entrants dans le territoire étudié (imports), les flux sortants (export) et les flux de matière circulant à l'intérieur de ce territoire ;
- des « process » définis comme toutes activités ou services qui génèrent une modification du stock de matière c'est-à-dire du gisement de matière constitué par tous les bâtiments et infrastructures de la zone d'étude par exemple. Ces « process » peuvent être toutes les activités de construction, d'aménagement ou les activités de déconstruction/démolition etc pendant la période étudiée ;
- des stocks de matière tels que définis précédemment.

À l'échelle du territoire d'Orléans, les flux de matière circulant à l'intérieur de ce territoire sont limités puisque la réutilisation / recyclage de matière au sein de ce territoire est quasi inexistante pendant la période étudiée, ou en tout cas n'a pas pu être répertoriée. D'un point de vue du système étudié (territoire de la ville d'Orléans), les activités de construction, réhabilitation ou de démolition sur le territoire de la ville nécessitent un import de matériaux (flux entrants) et génèrent un export de déchets (flux sortant du territoire). La comptabilité des flux de matière réalisée a donc été synthétisée sur le principe du MFA par un bilan des flux et stocks de matière (présenté au paragraphe suivant nommé « Bilan des flux et des stocks de matière »). Celui-ci permet de mieux appréhender les flux et gisements de matière en jeu.

Le projet ASURET vise à définir les conditions d'amélioration du bilan des activités du BTP, en réduisant le recours aux ressources naturelles et en optimisant la valorisation de matériaux recyclés, à estimer le poids des activités BTP dans un territoire sur les ressources épuisables et d'explorer ainsi les voies qui permettraient de favoriser un système plus vertueux. On s'est donc intéressé, au-delà de la seule estimation de la masse et la nature des matériaux importés sur le territoire, aux filières d'approvisionnement et de fabrication de ces matériaux et à l'extraction de matières minérales du sol et sous-sol notamment. C'est l'objet du paragraphe nommé « Des matériaux utilisés aux matières premières extraites, des déchets générés sur les chantiers aux déchets réutilisés, recyclés ou enfouis ».

- **Bilan des flux et des stocks de matière**

Les entrées dans le stock sous la forme de matériaux de construction représentent 358 000 tonnes (près de 3,2 tonnes par habitant), alors que dans le même temps, les sorties sous la forme de déchets représentent 166 000 tonnes (cf. figure 24). Le stock s'est donc accru sur cette période de 192 000 tonnes, soit 0,7 % du stock (1,7 tonnes par habitant).

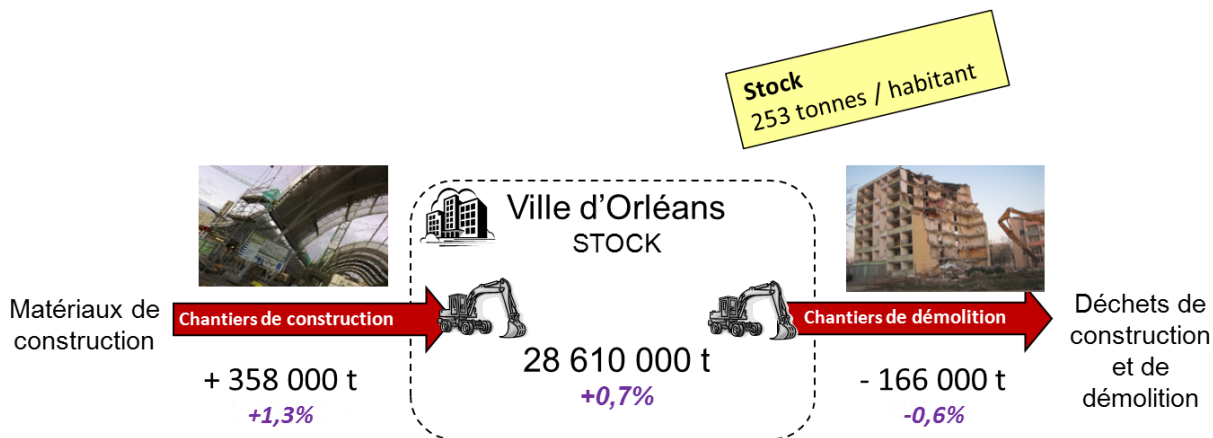


Figure 24 - Bilan des flux et des stocks de matière sur le territoire de la ville d'Orléans sur la période étudiée (2004-2006).

- **Des matériaux utilisés aux matières premières extraites, des déchets générés sur les chantiers aux déchets réutilisés, recyclés ou enfouis**

L'exercice s'est focalisé sur l'extraction de matières minérales du sol et sous-sol pour la fabrication de matériaux/produits au vu des masses en jeu pour la construction. Pour ce qui concerne les matériaux ou produits de construction métalliques, issus du pétrole ou fabriqués à partir de bois, les procédés de fabrication n'ont pas été étudiés et intégrés dans cette analyse de l'approvisionnement et des filières de fabrication/production des matériaux.

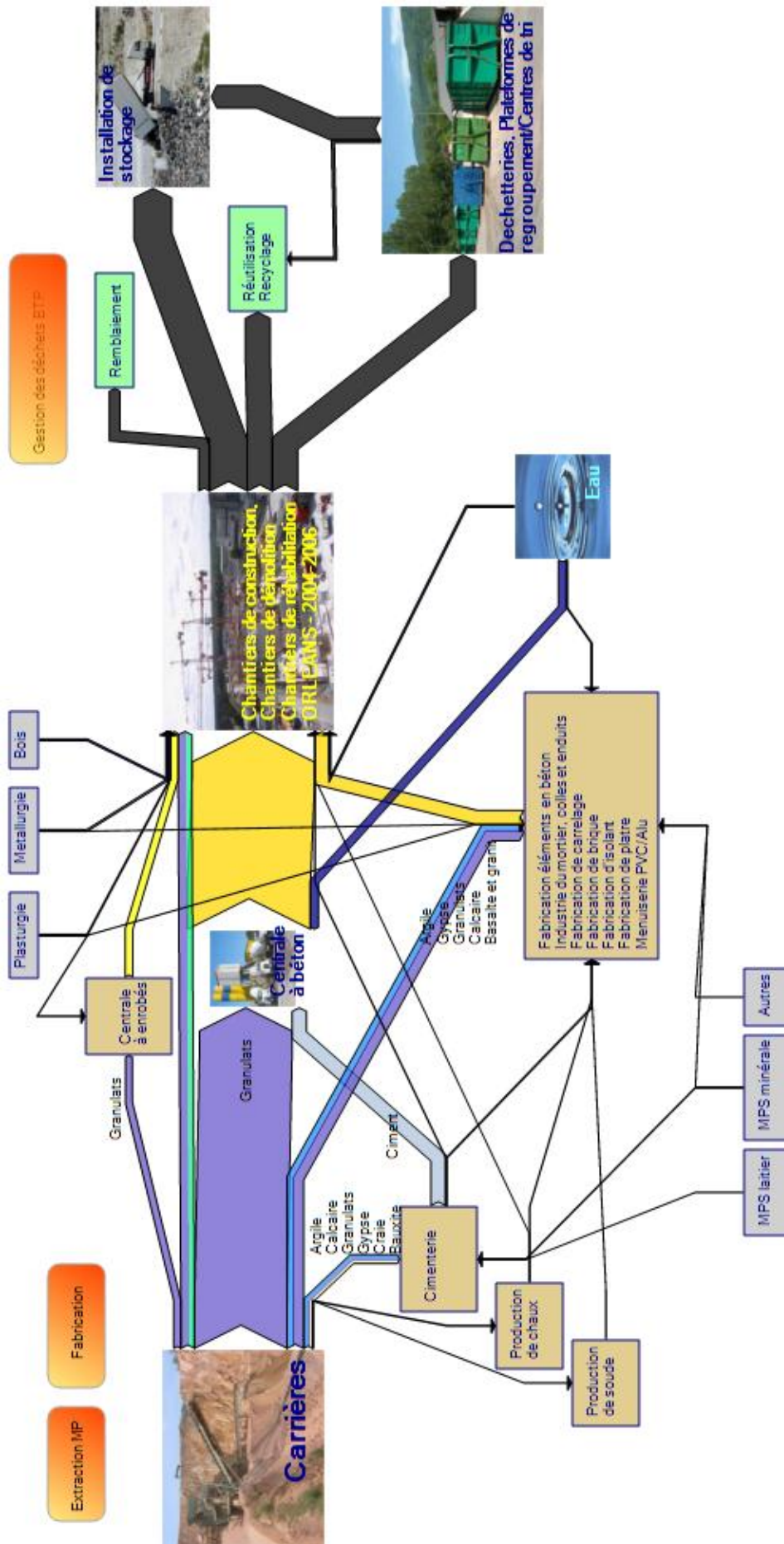


Figure 25 - Diagramme de Sankey des flux de matières des chantiers d'Orléans.

Alors que les entrées dans le stock sous la forme de matériaux de construction représentent 358 000 tonnes (près de 3,2 tonnes par habitant), la matière extraite pour la fabrication de ces matériaux s'élève à plus de 382 000 tonnes soit près de 3,4 tonnes par habitant (cf. tableau 42). Seulement 0,5 % de la matière utilisée provient de résidus de procédés de fabrication ou déchets (calcin, filler de calcaire, laitiers de haut fourneau).

Matière minérale - matière première extraite								Matière première secondaire (calcin, fillers de calcaire)	Matériaux issus du pétrole	Matériaux issus de la métallurgie	Matériaux issus du bois	Masse totale en tonnes
EAU	GRANULAT	CALCAIRE	GYPSE	CRAIE	ARGILE	PIERRE	FELDSPATH, BASALTE, BAUXITE, SEL					
23 400	260 700	40 700	6 600	5 400	19 000	11 400	1 000	1 800	3 700	4 400	4 000	382 100
6 %	68 %	11 %	2 %	1 %	5 %	3 %	0,3 %	0,5 %	1 %	1 %	1 %	100 %

Tableau 42 - Matière extraite pour la fabrication des matériaux de construction utilisés
pour les chantiers étudiés.

68 % de la matière première extraite d'origine minérale est constituée par les seuls granulats sous toutes leurs formes. Par ordre d'importance décroissante, on retrouve ensuite le calcaire (fabrication du ciment), l'argile (fabrication des briques et tuiles principalement), les pierres ornementales, pavés, etc., le gypse pour la fabrication du plâtre et les produits de construction à base de plâtre (plaques de plâtre technique). Globalement, la quantité d'eau utilisée pour la fabrication des matériaux de construction atteint 6 % de la masse totale estimée tout matériaux confondu ou de la masse de matière minérale. Cette eau utilisée pour la fabrication en particulier de béton, enduit ou mortier est liée à la matière minérale.

Les flux de matière en jeu sont représentés ici sous la forme d'un diagramme de Sankey (diagramme de flux, dans lequel la largeur des flèches est proportionnelle au flux représenté) (cf. Figure 25), présentation graphique qui permet de mieux appréhender les pratiques en matière d'utilisation de la matière.

Analyse des flux de matière à l'échelle d'une ville, au travers de la notion de métabolisme urbain

Quelques études (15 à 20 selon Kennedy *et al.*, (2007)) se sont intéressées à une approche globale des flux (entrées et sorties) à l'échelle d'une ville, au travers de la notion de métabolisme urbain, imaginée en 1965 par Wolmann. Ce concept du métabolisme urbain défini par Kennedy *et al.* (2007) comme « la somme totale des processus techniques et socio-économiques qui interagissent au sein d'une cité et traduisent son évolution, sa croissance, l'énergie produite et l'élimination des déchets », permet de décrire le « fonctionnement » d'une ville au travers de quatre flux majeurs, qui sont l'eau, la nourriture (biomasse), les matériaux de construction et l'énergie. La description de ces flux, leur organisation, leur évolution, caractérisent l'entropie des systèmes complexes que sont les zones urbanisées, mais permet aussi d'établir une base de référence à partir de laquelle une réflexion autour du concept de

« cités durables » peut être organisée (comment améliorer l'efficacité du système, comment privilégier les boucles courtes ? comment mesurer les effets d'une modification des pratiques ?). Dans un système donné, ceci passe (Hendriks *et al.*, 2000) par une quantification des flux de matières et des stocks associés, une bonne appréciation des enjeux et contraintes associés à ces flux, et un contrôle de ces flux et de ces stocks en fonction d'objectifs définis (des objectifs de développement durable par exemple).

La diversité des contextes, la variété des approches méthodologiques, les échelles d'observation retenues, les objectifs visés dans cette quinzaine d'études, ne permettent pas de tirer de conclusions définitives ou généralisables de ces exercices complexes, à l'exception sans doute d'une tendance à l'accroissement des stocks de matières accumulées dans les territoires étudiés, ce qui n'est pas surprenant, compte tenu de l'urbanisation croissante de la population constatée ces dernières décennies à l'échelle de la planète.

Si les limites physiques du système pris en compte sont bien délimitées (celles de la ville), le métabolisme urbain interagit avec des contraintes multiples et en perpétuelle évolution, tant au niveau local (caractéristiques physiques de la ville, réglementation locale, attentes de la population, politique et économie locale, ressources naturelles disponibles), qu'au niveau national (réglementation, ressources, politique), dans un contexte globalisé, pour certaines ressources et matières premières non disponibles localement.

Quelles que soient les limites associées à ces exercices de quantification des flux de matières et des stocks associés, caractériser le métabolisme du territoire permet de discuter des limites du système, de décomposer ou de segmenter les flux complexes, de hiérarchiser des actions de progrès, et de prendre en compte tant les réglementations que les technologies.

Faire ressortir les interactions entre le territoire et son environnement proche et lointain, intégrer les contraintes liées à la localisation et à la disponibilité des sources d'approvisionnement, apporter des éléments qualitatifs et quantitatifs pour le développement d'une économie du recyclage, discuter l'échelle la plus pertinente pour observer et optimiser les flux de matière, sont autant d'éléments indispensables au développement d'outils, d'indicateurs et des modèles macroéconomiques qui permettraient de mesurer l'efficacité du métabolisme urbain et de développer des approches prospectives plus économes et durables).

5.2. À L'ÉCHELLE DES CHANTIERS EN BOUCHES-DU-RHÔNE

La consolidation des données recueillies réalisée a donc permis de détailler les matériaux entrants à partir de la typologie des matières premières qui les composent, mais également de convertir en unités massiques certaines quantités de matériaux exprimées en unités ou ensembles.

L'analyse des flux à l'échelle d'un chantier porte ici sur les données réelles issues des déclarations des entreprises ou à défaut des estimatifs réalisés dans le cadre des appels d'offres.

Concernant les déchets produits, la consolidation n'avait donc pas pour objectifs de remplacer des données manquantes par des données génériques, mais simplement de valider les données collectées. De ce fait, le bilan des déchets produits par un chantier n'a pu être réalisé que pour celui de l'école Jules Ferry, faute de données suffisantes pour les deux collèges.

5.2.1. Évaluation des matériaux mis en œuvre sur les chantiers

La consolidation des données a permis de renforcer les informations collectées auprès des prestataires de travaux. Ces données ont été agrégées par lot de travaux et par matière première.

L'objectif premier du projet ASURET étant focalisé sur les matériaux minéraux, les autres matériaux n'ont été analysés que lorsqu'ils étaient pondéreux et facilement quantifiables, tels que les plastiques des voiries et réseaux, ou encore le bois de charpente. Ainsi les menuiseries intérieures ont été exclues. Les quantités de matériaux issus du bois présentées ci-après sont donc minorées et doivent être considérées avec précaution.

De plus, les petites références (accessoires de mise en œuvre, visseries, adhésifs...), au vu de leur faible poids relatif, ne sont pas concernées.

Le premier constat qui peut être fait au regard de ces données, tient au fait que les matériaux les plus pondéreux entrant sur un chantier (cf. tableaux 43 à 45) sont les matériaux issus des carrières. Ils représentent entre 95,9 et 97,4 % de la masse totale du chantier, avec des ratios de 2,98 tonnes par m² de SHON pour les collèges et 2,15 t/m² de SHON pour l'école.

Quantités de matériaux entrants sur le chantier Arenc Bachas (Hors déblais-remblais du site)							SHON (m ²)	9 871 m ²
Lot	Masse total	matériaux issus du pétrole	matériaux de carrière	matériaux de métallurgie	matériaux du bois	matériaux du verre	masse par m ² de SHON	% relatif de masse totale
VRD	6 060,7 t	169,1 t	5 889,5 t	2,1 t	0,0 t	0,0 t	0,614 t/m ²	20,0%
GO	22 348,3 t	0,0 t	21 961,1 t	387,2 t	0,0 t	0,0 t	2,264 t/m ²	73,8%
Charpente-couverture	114,6 t	15,4 t	5,6 t	2,1 t	84,5 t	7,0 t	0,012 t/m ²	0,4%
plomberie	26,2 t	10,7 t	0,0 t	15,5 t	0,0 t	0,0 t	0,003 t/m ²	0,1%
sol	1 430,2 t	25,8 t	1 404,4 t	0,0 t	0,0 t	0,0 t	0,145 t/m ²	4,7%
électricité	29,7 t	11,3 t	0,0 t	18,4 t	0,0 t	0,0 t	0,003 t/m ²	0,1%
cloisons-plafonds	218,9 t	3,3 t	170,0 t	17,3 t	11,4 t	16,9 t	0,022 t/m ²	0,7%
Menuiseries extérieures	36,1 t	1,0 t	0,0 t	10,5 t	0,0 t	24,6 t	0,004 t/m ²	0,1%
Total chantier:	30 264,7 t	236,6 t	29 430,6 t	453,2 t	95,9 t	48,4 t	3,066 t/m²	100,0%
masse par m ² de SHON	3,07 t/m ²	0,024 t/m ²	2,982 t/m ²	0,046 t/m ²	0,010 t/m ²	0,005 t/m ²		
% relatif de masse totale	100,00%	0,78%	97,24%	1,50%	0,32%	0,16%		

Tableau 43 - Quantités de matériaux entrants sur le chantier du collège Arenc Bachas (hors déblais-remblais du site).

Nota : les lots surlignés en rouge ci-après présentent des données incomplètes ou absentes, faute d'information suffisantes.

Quantités de matériaux entrants sur le chantier Vallon de Toulouse (Hors déblais-remblais du site)							SHON (m ²)	8 709 m ²
Lot	Masse total	matériaux issus du pétrole	matériaux de carrière	matériaux de métallurgie	matériaux du bois	matériaux du verre	masse par m ² de SHON	% relatif de masse totale
VRD	9 488,8 t	106,6 t	9 381,8 t	0,4 t	0,0 t	0,0 t	1,090 t/m ²	35,6%
GO	15 346,4 t	91,4 t	15 024,6 t	230,4 t	0,0 t	0,0 t	1,762 t/m ²	57,6%
Charpente-couverture	100,3 t	21,3 t	0,0 t	72,7 t	0,0 t	6,3 t	0,012 t/m ²	0,4%
plomberie	26,7 t	2,0 t	0,0 t	24,7 t	0,0 t	0,0 t	0,003 t/m ²	0,1%
sol	1 403,7 t	24,8 t	1 378,9 t	0,0 t	0,0 t	0,0 t	0,161 t/m ²	5,3%
électricité	8,7 t	2,2 t	0,0 t	6,5 t	0,0 t	0,0 t	0,001 t/m ²	0,0%
cloisons-plafonds	249,7 t	6,5 t	177,1 t	19,6 t	42,4 t	4,1 t	0,029 t/m ²	0,9%
Menuiseries extérieures	29,9 t	0,8 t		8,7 t		20,3 t	0,003 t/m ²	0,1%
Total chantier:	26 654,2 t	255,6 t	25 962,3 t	363,1 t	42,4 t	30,7 t	3,06 t/m²	100,0%
masse par m ² de SHON	3,06 t/m ²	0,029 t/m ²	2,981 t/m ²	0,042 t/m ²	0,005 t/m ²	0,004 t/m ²		
% relatif de masse totale	100,00%	0,96%	97,40%	1,36%	0,16%	0,12%		

Tableau 44 - Quantités de matériaux entrants sur le chantier Vallon de Toulouse (hors déblais-remblais du site).

Quantités de matériaux entrants sur le chantier Jules Ferry (Hors déblais-remblais du site)							SHON (m²)	1 440 m²
Lot	Masse total	matériaux issus du pétrole	matériaux de carrière	matériaux de métallurgie	matériaux du bois	matériaux du verre	masse par m² de SHON	% relatif de masse totale
VRD et GO	3 078,9 t		3 020,0 t	58,9 t	-	-	2,138 t/m²	95,5%
Charpente-couverture	50,3 t	9,4 t	4,4 t	35,0 t		1,6 t	0,035 t/m²	1,6%
plomberie							0,000 t/m²	0,0%
sol	25,9 t	3,9 t	22,0 t	-	-	-	0,018 t/m²	0,8%
electricité							0,000 t/m²	0,0%
cloisons-plafonds	58,7 t		45,9 t	4,8 t	4,9 t	3,1 t	0,041 t/m²	1,8%
Menuiseries extérieures	11,0 t	0,3 t		3,2 t		7,4 t	0,008 t/m²	0,3%
Total chantier:	3 224,8 t	13,6 t	3 092,3 t	101,9 t	4,9 t	12,1 t	2,239 t/m²	100,0%
masse par m² de SHON	2,239 t/m²	0,009 t/m²	2,147 t/m²	0,071 t/m²	0,003 t/m²	0,008 t/m²		
% relatif de masse totale	100,00%	0,42%	95,89%	3,16%	0,15%	0,38%		

Tableau 45 - Quantités de matériaux entrants sur le chantier Jules Ferry (hors déblais-remblais du site).

La majorité de ces matériaux de carrières (environ 97 %) est stockée lors de la phase de Gros Œuvre (GO) sous forme de bétons, lors de la phase VRD sous forme de matériaux de terrassement (graviers, sables...) et lors de l'installation des sols sous forme de carrelage et de chapes en ciment.

Ces deux premières phases des chantiers (VRD et GO) sont celles qui font entrer les plus grandes quantités de matériaux (entre 93 et 94 % du total).

Bien qu'on observe une importance relative à peu près équivalente de ces matériaux, quel que soit le chantier, la répartition entre les phases VRD et GO varie plus fortement. Ceci provient du fait que chaque chantier est spécifique. Les besoins en matériaux des phases VRD et GO dépendent fortement de la typologie géotechnique du site et de l'architecture envisagée.

Ainsi le collège Arenc Bachas, situé en zone inondable, a nécessité la création de parkings à étages et d'un renforcement des fondations, soit en proportions des quantités de bétons plus importantes (62 % du total de matériaux issus des carrières) et moins de terrassement (38 %).

Le collège Vallon de Toulouse était quand à lui situé dans une zone d'anciennes carrières avec de forte différences de niveaux de terrains, ce qui a nécessité un renforcement du sol. De ce fait il présente des proportions de matériaux de carrières entre VRD et GO de respectivement 21 et 79 %.

Il est donc préférable de considérer quantitativement les matériaux issus des carrières sur l'ensemble des lots VRD et GO, même si l'on remarque toutefois qu'ils sont principalement mis en œuvre lors de la phase Gros Œuvre (62 et 79 %).

Les autres matériaux qui entrent sur les chantiers se trouvent dans des proportions bien plus faibles, et par ordre d'importance :

- les métaux (ferrailage des bétons, couvertures, charpentes...) ne représentent qu'environ 1,5 % de la masse totale de matériaux ;
- viennent ensuite les matériaux issus du pétrole avec près de 0,9 % ;
- puis le bois (0,15 à 0,3 %) en fonction des choix d'incorporation dans le bâtiment (bardage, charpente) ;
- et le verre (environ 0,15 %).

5.2.2. Origine des matériaux utilisés sur les chantiers de construction

La construction d'un établissement scolaire nécessite une diversité importante de matériaux et de produits. L'origine des matériaux et des produits peut varier selon le type de référence mais également en fonction des lots et des sources d'approvisionnement. Ainsi, un même type de produit mis en œuvre peut provenir de marques différentes et de lieux de fabrications différents, ce qui rend l'identification des provenances très fastidieuse.

L'identification de l'origine des matériaux mis en œuvre sur les chantiers étudiés a donc été limitée aux matériaux prépondérants et facilement identifiables, c'est-à-dire les bétons et leurs métaux d'armatures.

Dans le cadre de l'enquête auprès des entreprises, il a été possible d'identifier les filières des bois de charpente et de façade.

Il est à noter toutefois qu'une observation rapide a été portée aux autres références de matériaux et de produits, en recherchant ceux qui auraient été produits sur le territoire départemental. Il en ressort que les produits manufacturés proviennent quasiment exclusivement de l'extérieur du territoire (plomberies, électricités, sols...) et sont achetés majoritairement via des grossistes locaux. Seuls quelques produits sont assemblés dans les Bouches-du-Rhône (menuiseries extérieures, escaliers métalliques...). Aucune production locale de ces types de produits n'a été portée à notre connaissance.

Les bétons et leurs armatures

Dans le cas des armatures à béton du collège Vallon de Toulouse, le rayon de chalandise dépasse largement les limites du territoire départemental (cf. figure 26), principalement du fait de l'origine des bobines d'acier (800 kms par train).

Ensuite, nous entrons dans une dimension plus locale, avec l'usine de fabrication des aciers et treillis (100 kms), puis plus proche encore, avec la plate-forme des fournisseurs (30 kms).

En revanche, s'agissant de la production du béton utilisé sur le chantier du collège (cf. figure 27), la provenance des principaux matériaux (argile, calcaire, granulats) et leur transformation en produit ciment, puis en béton, sont locales (< 40 kms).

Le laitier de hauts fourneaux est un sous-produit de la production d'acier, matériau qui, pour sa part, draine, dans le cas présenté, des matières premières d'origine extra-nationale. Ce résidu, composé essentiellement de chaux, de silice et d'alumine, dans des proportions variables selon le minerai de fer, est ici valorisé en cimenterie.

La dimension de proximité offerte par la production de béton est rendue possible par la richesse du département des Bouches-du-Rhône en matières premières et en cimenteries.

Ces conditions se retrouvent sensiblement sur l'ensemble de la France, bien couverte par les 41 sites industriels dédiés à la production de ciment ; avec des noyaux plus denses autour des grands pôles urbains, et plus épars en zone rurale et à géologie moins favorable (les carrières de calcaire et d'argile, matières premières nécessaires à la fabrication du ciment, sont présentes pratiquement partout en France, sauf en Bretagne et dans le Massif central).

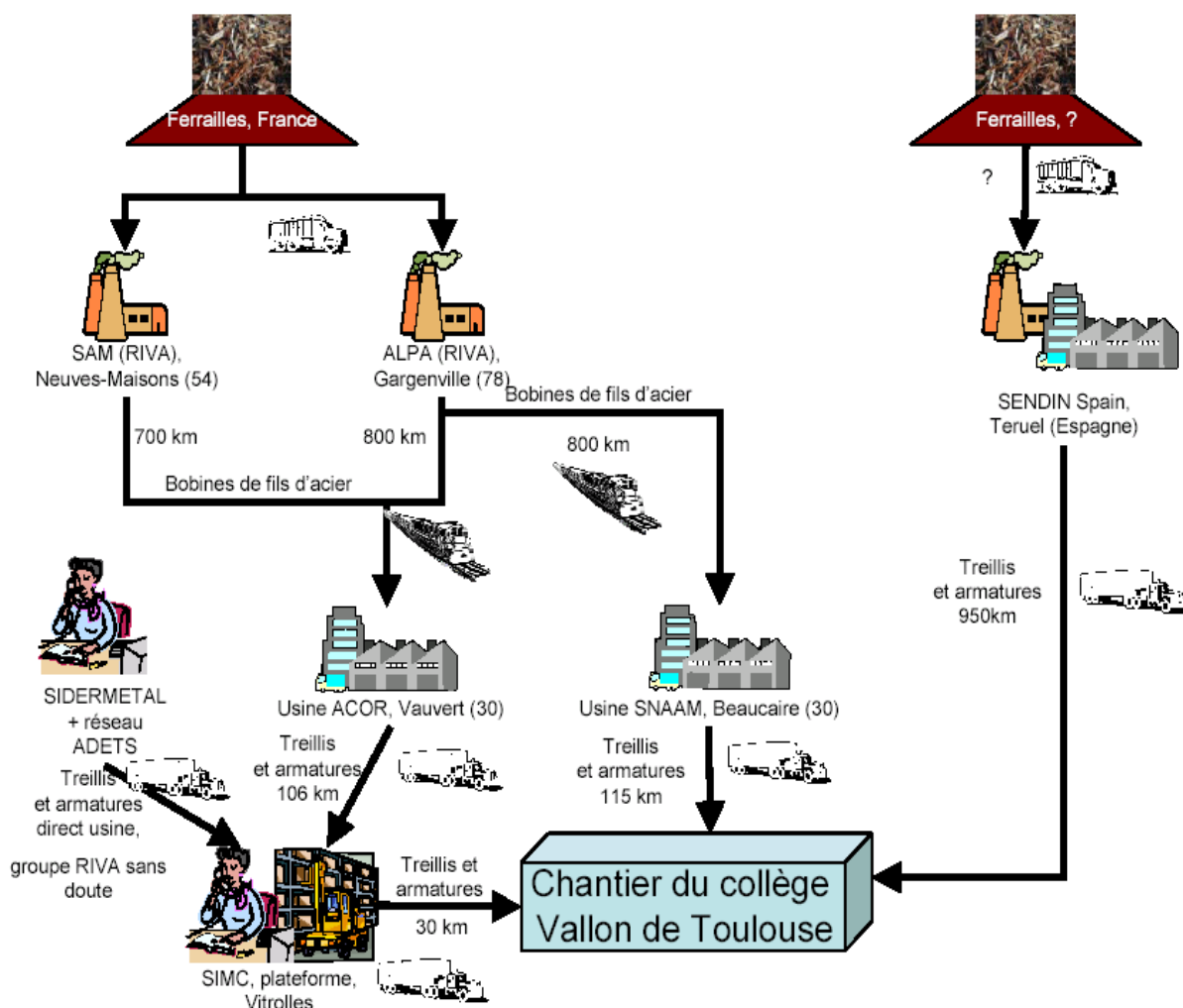


Figure 26 - Schéma de la localisation des processus de production des armatures à béton du collège « Vallon Toulouse ».

Si les contraintes propres à la fabrication de matériaux spécifiques (aciers, plâtre de Paris...) peuvent se traduire par des rayons d'influence qui peuvent atteindre quelques centaines de kilomètres, la zone de chalandise d'où proviennent les matériaux nécessaires à la construction d'un ouvrage est généralement de l'ordre de la dizaine à plusieurs dizaines de kilomètres pour les matériaux pondéreux.

L'important réseau français de distributeurs permet de relocaliser l'approvisionnement des chantiers en matériaux spécifiques.

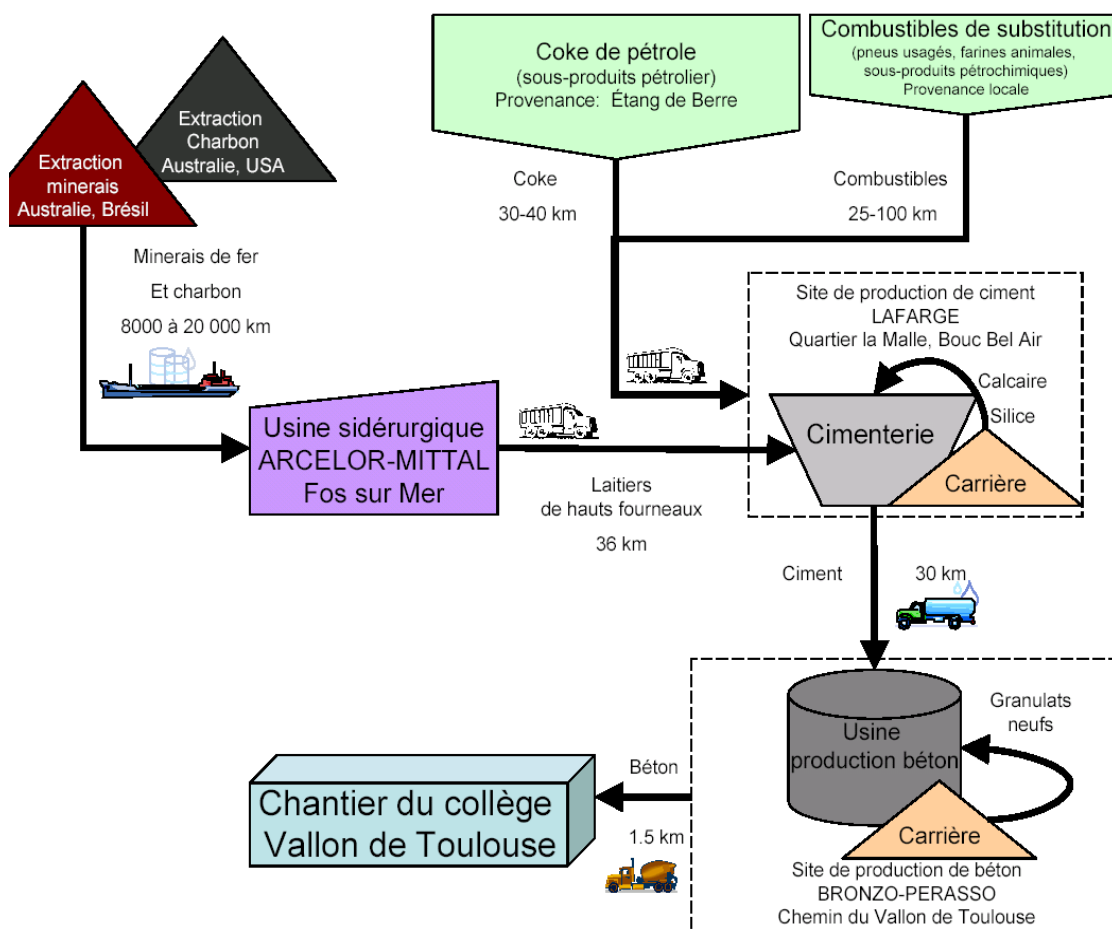


Figure 27 - Schéma de la localisation des processus de production du béton utilisé au collège « Vallon Toulouse ».

Le bois de charpente et de façade

Parmi les trois chantiers étudiés sur le territoire des Bouches-du-Rhône, celui du collège Arenc Bachas a fait le choix d'incorporer une plus grande quantité de bois. Les parties gymnase et restauration ont été entièrement construites en bois (charpente, toiture et parois), et la partie enseignement a intégré un bardage complet en bois.

L'entreprise en charge de ces réalisations est française, mais les procédés qu'elle emploie sont autrichiens et allemands.

Pour les panneaux de toitures et de façades, tous les éléments sont préfabriqués en usine en Autriche dans le groupe KLH puis acheminés et montés sur le chantier. L'origine du bois serait ukrainienne, d'après l'entreprise française, faute de sources officielles.

Pour les bois de charpentes (poteaux, poutres...), le bois utilisé est du lamellé-collé. Ces éléments sont également préfabriqués dans l'usine du fabricant en Allemagne, puis assemblés sur le chantier. L'origine du bois n'est pas connue.

5.2.3. Évaluation des déchets générés par les chantiers

Les déchets de construction

Comme il a été indiqué dans le chapitre précédent (« disponibilité de la données »), la collecte des informations concernant les déchets issus des chantiers des deux collèges n'a pas permis un recueil suffisant des données malgré les nombreuses relances et les différents contacts pris avec les centres de tri.

Seules les données du chantier de l'école Jules Ferry ont pu être obtenues, ceci grâce à la démarche de développement durable engagée par l'entreprise générale en charge de l'ensemble de la construction. Dans le cadre de cette démarche, elle a réalisé le suivi des déchets de plusieurs de ses chantiers dont celui de l'école Jules Ferry.

L'entreprise a donc pu fournir des données mensuelles complètes quantitativement mais surtout qualitativement (cf. tableau 46). Le centre de tri utilisé a entre autres été identifié avec précision, de même que les destinations finales des déchets ainsi que les taux de valorisation.

mois	Terres non polluées	DIB	Gravats propre	Metaux	Bois	Total	Taux de tri sur chantier	taux de valorisation après tri plateforme	Phase chantier
sept-10	1496 t					1496,00 t			Terrassement
oct-10		0,36 t	3,76 t		1,28 t	5,40 t	93%	96%	GO
nov-10		1,56 t	18,74 t	3,02 t	0,92 t	24,24 t	94%	96%	GO
déc-10		2,88 t	5,72 t	2,32 t	1,34 t	12,26 t	77%	86%	GO
janv-11		2,60 t	19,34 t	10,70 t	1,82 t	34,46 t	92%	95%	CES
févr-11		5,64 t		1,06 t		6,70 t	16%	49%	CES
mars-11		6,88 t		1,28 t		8,16 t	16%	49%	CES
avr-11		4,40 t		0,76 t		5,16 t	15%	49%	CES
mai-11		3,92 t				3,92 t	0%	40%	CES
juin-11		4,26 t				4,26 t	0%	40%	CES
Total	1496,00 t	32,50 t	47,56 t	19,14 t	5,36 t	1600,56 t	69%	81%	
sous-total Terrassement	1496,00 t					1496,00 t			
sous-total GO	0,00 t	4,80 t	28,22 t	5,34 t	3,54 t	41,90 t	89%	93%	
sous-total CES	0,00 t	27,70 t	19,34 t	13,80 t	1,82 t	62,66 t	56%	73%	
destinations	réhabilitation carrière, Marseille	centre de tri DIB, Les Pennes Mirabeau	centre de tri BTP, Marseille, Puis réhabilitation carrière, Marseille	Récupérateur, Marseille	centre de valorisation du bois, Rognac				

Tableau 46 - Relevé des quantités de déchets générés par le chantier de l'école Jules Ferry (hors démolition).

Ces taux de valorisation sont toutefois à considérer avec précaution du fait qu'ils représentent des taux globaux lissés sur l'année et non ceux spécifiques du chantier.

Les déchets de construction les plus pondéreux, générés par le chantier de l'école Jules Ferry, ont été des terres non polluées issues de la phase de terrassement. Les chantiers des deux collèges n'ont pas fourni de données suffisantes, mais les entreprises de terrassements interrogées ont toutefois déclaré que tous les terres de déblais ont été réutilisées sur le site.

La production de terres et déblais est donc fortement dépendante du chantier et de son site.

Hors terrassement, le chantier de l'école a généré près de 73 kg de déchets par m² de SHON construite (cf. tableau 47). Ces déchets sont principalement composés de gravats propres (33 kg/m²) et de déchets non dangereux non inertes en mélange (DIB) (22,6 kg/m²). Viennent ensuite les déchets métalliques (13,3 kg/m²) et dans une moindre mesure les déchets de bois (3,7 kg/m²).

Ainsi, près de 45 % des déchets générés par le chantier (hors terres non polluées) sont des déchets inertes (gravats propres), composés de matériaux issus des carrières, et donc potentiellement valorisables. Si l'on prend en compte les terres non polluées réutilisées sur site, plus de 96 % des déchets générés seraient potentiellement valorisables.

						SHON 1 440 m ²	
mois	Terres non polluées	DIB	Gravats propre	Metaux	Bois	Total	Phase chantier
sept-10	1038,9 kg/m ²					1038,9 kg/m ²	Terrassement
oct-10		0,3 kg/m ²	2,6 kg/m ²		0,9 kg/m ²	3,8 kg/m ²	GO
nov-10		1,1 kg/m ²	13,0 kg/m ²	2,1 kg/m ²	0,6 kg/m ²	16,8 kg/m ²	GO
déc-10		2,0 kg/m ²	4,0 kg/m ²	1,6 kg/m ²	0,9 kg/m ²	8,5 kg/m ²	GO
janv-11		1,8 kg/m ²	13,4 kg/m ²	7,4 kg/m ²	1,3 kg/m ²	23,9 kg/m ²	CES
févr-11		3,9 kg/m ²		0,7 kg/m ²		4,7 kg/m ²	CES
mars-11		4,8 kg/m ²		0,9 kg/m ²		5,7 kg/m ²	CES
avr-11		3,1 kg/m ²		0,5 kg/m ²		3,6 kg/m ²	CES
mai-11		2,7 kg/m ²				2,7 kg/m ²	CES
juin-11		3,0 kg/m ²				3,0 kg/m ²	CES
Total	1038,9 kg/m²	22,6 kg/m²	33,0 kg/m²	13,3 kg/m²	3,7 kg/m²	1111,5 kg/m²	
sous-total Terrassement	1038,9 kg/m ²					1038,9 kg/m ²	
sous-total GO		3,3 kg/m ²	19,6 kg/m ²	3,7 kg/m ²	2,5 kg/m ²	29,1 kg/m ²	
sous-total CES		19,2 kg/m ²	13,4 kg/m ²	9,6 kg/m ²	1,3 kg/m ²	43,5 kg/m ²	

Tableau 47 - Ratio par m² de SHON de production de déchets du chantier de l'école Jules Ferry (hors démolition).

Les déchets de démolition

Concernant les déchets de démolition des bâtiments existants, seul le chantier de l'école Jules Ferry est concerné. Pour ce chantier, la démolition a été réalisée par une autre société spécialisée, mais l'entreprise générale en charge de l'ensemble des travaux a pu recueillir les tonnages générés et leurs destinations.

L'ouvrage démolì, d'environ 1 219 m² de SHON et datant de 1950, était composé « d'un foyer de restauration, entièrement réhabilité, avec faux plafonds, carrelage et tapisseries, structure béton, menuiseries métal et toit terrasse, d'un préfabriqué de structure béton, avec panneaux, fenêtres bois, plaques ondulées en couverture à usage de salle de classe, d'un bâtiment de structure béton en RDC, avec carrelage, peinture sur murs plâtres, fenêtres bois, portes métalliques, et fenêtres intérieures métalliques composant deux salles de classes, d'un préau avec sanitaires et chaufferie, et d'un autre bâtiment formant trois salles de classes en enfilade, structure béton, carrelage, peinture sur murs plâtres et faux plafonds ; accolé à ces trois salles, une maison en R+1 entièrement réhabilitée en 2006 avec portes bois, menuiseries PVC, carrelage, faux plafonds, murs avec peinture sur enduit plâtre et un vieux préfabriqué abritant deux salles de classes, panneaux rigides en façades, plaques ondulées en couverture, parquet

au sol, portes et menuiseries bois, murs avec doublage aggloméré et peinture, de même que le plafond ».

	DIB		Gravats de démolition		déchets d'amiante		Bois		Total
	tonnes	rotations	tonnes	nbre	tonnes	nbre	tonnes	nbre	tonnes
Démolition	12,90 t	?	575,00 t	134	9,04 t	?	12,90 t	?	609,84 t
destinations	centre de tri , Gardanne		centre de tri BTP, Marseille, puis réhabilitation carrière, Marseille		ISDND, Carcassonne		centre de tri , Gardanne		

Tableau 48 - Relevé des quantités et destinations des déchets générés par la démolition de l'ancienne école Jules Ferry.

La démolition de l'ancienne école Jules Ferry a généré près de 610 tonnes de déchets, pour un ensemble de bâtiments de 1 219 m² de SHON (cf. tableau 48). Ceci représente environ 500 kg de déchets par m² de SHON.

Près de 94,3 % de ces déchets sont constitués de gravats de démolition. Les 5 % restant sont répartis quant à eux entre 2 % de DIB, 2 % de bois et 1,5 % de déchets d'amiante.

Toutefois la répartition de l'ensemble des déchets de démolition et en particulier la proportion de gravats dépend du bâtiment à démolir. L'ancienne école démolie comportait une partie en structure béton et une autre en préfabriqué bois. Cette partie préfabriquée influence la proportion de bois et de gravats.

5.2.4. Destination des déchets générés par les chantiers de construction et de démolition

D'après les données fournies par l'entreprise responsable du chantier de l'école Jules Ferry, il a été possible d'identifier les premières installations vers lesquelles les déchets ont été acheminés (tri, transit...).

Les déchets de construction

- Les terres non polluées ont été acheminées sur une ancienne carrière située à proximité du chantier (7 km) afin de procéder à sa réhabilitation.
- Les gravats propres sont transportés vers un centre de tri dédié aux déchets du BTP, situé à Marseille (10 km du chantier), où ils subissent un tri puis un concassage/criblage. Sur l'ensemble du centre de tri, 5 % des déchets inertes sortants de l'installation sont commercialisés sous formes de graves non-traitées, les 95 % restant sont envoyés en réhabilitation de carrière, sur le même site que les terres non polluées, à 4 km du centre de tri. Les graves étant des matériaux commercialisés, leurs destinations n'ont pas pu être identifiées. Vu le poids important de ces matériaux, les débouchés doivent être situés dans un périmètre limité à l'échelle départementale, voire même à l'agglomération du fait de la présence d'un nombre important de centrales à béton dans cette zone.
- Les DIB, composés de déchets non dangereux en mélange sont acheminés, quant à eux, sur un centre de tri spécifique aux déchets non dangereux. Cette installation est située aux Pennes Mirabeau, à 10 km du chantier. Les déchets valorisables issus du tri réalisé (papiers, cartons, plastiques, métaux...) suivent des filières nationales voire internationales spécifiques à ces matériaux. Les enquêtes menées dans le cadre du projet n'ont pas permis d'identifier avec précision ces filières, ni les tonnages qui les suivent. Les refus de tri sont,

quant à eux, enfouis dans des installations de stockage de déchets non dangereux présentes sur le même site que le centre de tri (soit 0 km).

- Les déchets métalliques générés par la construction de l'école sont collectés et stockés par un récupérateur spécialisé, basé à Marseille à 9 km du chantier. Ces métaux font l'objet de négoce en tant que matières premières secondaires en fonction des marchés. Leurs filières de valorisation peuvent donc être nationales voire internationales.
- Les déchets de bois sont acheminés vers un centre de valorisation du bois en panneaux de particules, situé à 25 km du chantier. La proportion de produits en bois (panneaux) mis sur le marché local n'est toutefois pas connue.

Les déchets de démolition

- Les gravats de démolition sont acheminés vers un centre de tri dédié aux déchets du BTP, situé à Marseille (10 km du chantier), où ils subissent un tri puis un concassage/criblage. Ce site est le même que celui qui accueille les gravats propres issus de la phase de construction. Sur l'ensemble du centre de tri, 5 % des déchets inertes sortants de l'installation sont commercialisés sous formes de graves non-traitées, les 95 % restant sont envoyées en réhabilitation de carrière situé à 4 km du centre de tri. Les destinations des graves commercialisées n'ont pas été identifiées. Vu le poids important de ces matériaux les débouchés doivent être situés dans un périmètre limité à l'échelle départementale, voire même à l'agglomération du fait du coût important du transport de ces déchets et de la présence d'un nombre important de centrale à béton dans cette zone.
- Les DIB, composés de déchets non dangereux en mélange, ainsi que les déchets de bois sont également acheminés vers un centre de tri des déchets du BTP. Cette installation diffère de celle utilisée pour les gravats ; elle est située Gardanne, à 20 km du chantier. Toutefois cette unité est nouvellement créée et les enquêtes menées dans le cadre du projet n'ont pas permis d'identifier les taux de valorisation et les filières utilisées.
- Les déchets d'amiante (déchets dangereux) doivent être stockés sur des sites spécifiques. Or le département des Bouches-du-Rhône ne comprend pas une telle installation. Les déchets d'amiante du chantier de démolition ont été traités hors du département, dans une ISDND à Carcassonne, soit à plus de 300 km.

Hormis pour les déchets d'amiante, qui nécessitent des installations de stockage spécifiques, les premiers sites de gestion des déchets produits par le chantier de l'école Jules Ferry sont situés dans un rayon maximal de 25 km (bois). La majorité d'entre eux est prise en charge dans une zone géographique très proche du chantier, ne dépassant pas les 10 km. Ceci provient du fait que l'agglomération marseillaise, économiquement dynamique, est très bien pourvue en sites de gestion des déchets.

Hormis pour les inertes, les destinations des déchets passant par une étape de tri ou de stockage temporaire sont assez mal identifiées. Les filières de négoce de matériaux secondaires qu'ils suivent ont une portée nationale (papier, cartons...), voire internationale (métaux) et dépendent fortement des marchés économiques du moment. De plus, aucun site de valorisation d'envergure de ces types de déchets n'a été identifié sur le département des Bouches-du-Rhône. Ce qui laisse fortement à penser que ces déchets sortent du territoire départemental.

La présence de plusieurs centrales à bétons de carrières, permet quant à elle une valorisation locale (au maximum départementale) des déchets inertes.

6. Conclusions et préconisations

6.1. PRINCIPAUX RÉSULTATS

La comptabilité des flux

L'étude réalisée à l'échelle du territoire de la ville d'Orléans et à l'échelle de l'ouvrage sur les trois chantiers d'établissements scolaires des Bouches-du-Rhône, a permis de *quantifier les flux de matières entrants* dans les chantiers de constructions en valeur massique (en tonnes) pour les substances et produits entrants dans le périmètre du projet. Cette quantification est le résultat d'une traduction des informations recueillies, généralement exprimées sous des appellations et des formats très différents, à l'aide de ratios disponibles ou construits dans le cadre du projet, ou à partir de dires d'experts.

L'estimation des flux sortants (déchets, excédents de chantier) reste quant à elle très incomplète, en raison d'un manque de données (au niveau des documents de marchés) et d'une traçabilité très lacunaire (même si l'exercice conduit sur les établissements scolaires des Bouches-du-Rhône a apporté des informations intéressantes). Les données caractérisant les quantités mais également la typologie des déchets ne sont pas disponibles voir non-existantes.

En parallèle, un travail *d'estimation du stock de matières immobilisées* sur la ville d'Orléans a été effectué. L'ensemble des bâtiments, des logements et des infrastructures existants en 2006 a été comptabilisé (hors monuments historiques) pour obtenir un stock de matières exprimé en tonnes.

En 2006, la *quantité de matière accumulée dans le bâti et les infrastructures de la ville d'Orléans* a ainsi été estimée (pour les substances et produits considérés dans le périmètre de l'étude, hors aménagements et mobiliers urbains) à *28,5 millions de tonnes*, soit environ *253 t par habitant* (159 t/hab. pour le bâti, 32 t/hab. pour les voiries et 62 t/hab. pour les réseaux enterrés et tranchées en remblai associées). Ce stock représente le gisement potentiel de matières premières secondaires qui pourraient être réutilisées à l'avenir dans des conditions qui restent à discuter et définir en lien notamment avec les initiatives de recyclage et d'optimisation de l'utilisation des ressources naturelles qui devraient se développer au cours des prochaines années.

La collecte et la qualité des données

Que ce soit à l'échelle du territoire ou de l'ouvrage, l'exercice a montré combien il était difficile de disposer des données nécessaires à la quantification et la caractérisation des flux et du stock. Le format, l'accès et la pertinence des données existantes ne permettent pas la réalisation d'un inventaire systématique et détaillé. Néanmoins, l'analyse des flux à l'échelle de l'ouvrage reste l'échelle la plus adéquate pour les quantifier.

Les difficultés rencontrées relèvent d'une absence de continuité, de traçabilité de l'information et de bouclage des flux (notamment aux différentes étapes de transformation des matériaux en produits), mais également de manques organisationnels et d'une absence d'anticipation.

Cette comptabilité des flux n'entre pas dans les préoccupations actuelles de l'ensemble des acteurs et a reposé dans cet exercice sur la bonne volonté des différents interlocuteurs. C'est à ce même type de difficulté que se heurtent nombre de documents de planification, tels que les Plans d'élimination des déchets du BTP, jusqu'à présent établis sur la base de ratios repris d'un plan à l'autre plutôt que sur des évaluations de gisement spécifique à chaque territoire.

L'un des chantiers pilote suivi par 13 Développement et réalisé par une entreprise très volontariste en matière de qualité et de développement durable a montré que même en l'absence d'exigences contractuelles strictes et incitatives, il était possible de progresser rapidement dans ce domaine.

Il est malgré tout vraisemblable que si la bonne volonté, démontrée de la plupart de ces acteurs est indispensable, la mise en place d'une politique incitative et d'outils tels que des observatoires chargés de donner une cohérence dans la collecte et la production de données sont tout aussi indispensables.

Si cette collecte de donnée est très largement perfectible, la relation de confiance établie avec les maîtres d'ouvrages publics et privés, l'implication des entreprises, des fédérations et syndicats professionnels, l'intérêt de l'ensemble des acteurs pour la démarche, ont été capitales pour l'accès à l'information et montrent que des progrès significatifs pourraient être enregistrés au niveau de la qualité et de la précision de ces valeurs.

Origine des matériaux et traçabilité des flux

Avant de proposer une démarche d'optimisation des conditions d'approvisionnement et une meilleure utilisation des ressources et matériaux à l'avenir (dans le sens d'une préservation de la ressource naturelle, d'une réutilisation plus efficiente des matières premières secondaires et d'une rationalisation des flux), il est indispensable de caractériser aux plans qualitatif et quantitatif les flux entrants et sortants à l'échelle du territoire, mais également de comprendre en quoi cette organisation des flux est conditionnée à la fois par des facteurs externes (le contexte macroéconomique par exemple) et à la fois par les spécificités du territoire (disponibilité ou absence de la ressource au plan local par exemple, conditions dans lesquelles ce territoire est desservi en termes de modes de transport...).

Si la question des approvisionnements en granulats, qui constituent le flux prédominant (au sens pondéral mais pas seulement) dans le champ d'étude d'ASURET, peut sembler comme la plus accessible (la distance d'approvisionnement n'excède en général pas quelques km à quelques dizaines de km, localiser les carrières d'où proviennent ces matériaux est un exercice relativement aisé), l'organisation des flux de granulats s'inscrit dans un champ de contraintes bien plus complexes (Corget *et al.*, 2013) :

- le granulat n'est pas une ressource homogène. Le terme granulat dissimule une multiplicité de produits, d'origines géologiques différentes (matériau alluvionnaire, éruptif...), de qualités diverses (aucune base d'information ne recense précisément la qualité des granulats produits), qui peuvent satisfaire des usages multiples ou uniques pour les matériaux issus d'une même carrière ;
- le granulat est utilisé en tant que matière première, mais également comme constituant de nombreux produits (béton, béton prêt à l'emploi, enrobé, etc.). Il pourra donc être utilisé « tel que », mais également subir des transformations, dans des installations plus ou moins distantes de son lieu d'extraction : une cimenterie ou une usine de fabrication de produits en béton implantée de façon à alimenter un bassin d'activité économique, où une centrale à

béton, laquelle devra être implantée au plus près des usages compte tenu du caractère « périssable » du béton prêt à l'emploi ;

- cette ressource est distribuée de façon très aléatoire sur le territoire et son utilisation, sa consommation, sont directement liées à l'activité humaine. Ainsi, les distances (généralement faibles) et les modes d'approvisionnement (la route principalement) pourront varier très sensiblement (les régions déficitaires peuvent aller chercher certains types de granulats à plusieurs centaines de kilomètres).

L'exercice difficile conduit par 13 Développement afin de remonter jusqu'à l'origine des constituants du béton utilisé sur le chantier du collège Vallon de Toulouse s'est révélé complexe à mener à l'échelle de l'ouvrage. Le questionnement des entreprises impliquées dans les différents chantiers identifiés sur le territoire d'Orléans montre que cet exercice ne peut pas être réalisé dans des conditions satisfaisantes *a posteriori*.

Une réflexion sur la cohérence et l'organisation des flux, voire l'anticipation des besoins futurs, passe certainement par une généralisation de cette démarche, au travers d'un travail d'observation sur la distribution spatiale des fournisseurs potentiels, mais aussi de la mise en place d'un observatoire et d'une amélioration des conditions de traçabilité des flux.

La démarche mise en place en 2012 à l'initiative du Ministère en charge de l'écologie dans le cadre de la gestion de terres excavées pourrait apporter des enseignements intéressants dans le cadre du déploiement de tels outils d'observation, de collecte et d'exploitation des données.

6.2. PRÉCONISATIONS

Différents leviers d'amélioration favoriseraient l'analyse et la consolidation des flux. Qu'ils soient d'ordre méthodologique, réglementaire ou technique, ces leviers interviennent sur des considérations décisionnelles et pratiques.

D'un point de vue méthodologique, les difficultés rencontrées et mises en évidence dans le chapitre 4, conduisent à une collecte de données incomplète, aux plans quantitatif et qualitatif, à l'échelle du territoire comme à l'échelle de l'ouvrage.

Échelle de l'ouvrage

L'échelle de l'ouvrage ou du chantier semble constituer le niveau d'observation le plus pertinent pour observer les flux de matières entrants et sortants dans le stock. C'est à cette échelle que les améliorations possibles sur la collecte de données sont les plus nombreuses, semblent les plus faciles à mettre en œuvre, et permettraient une amélioration significative de la précision des données.

La majorité des données concerne un nombre de matériaux relativement restreint, les matériaux les plus pondéreux, qui sont aussi les matériaux issus des carrières (bétons, graves, sables, carrelage, ciments, briques...), qui représentent près de 97 % de la masse totale de matériaux mis en œuvre pour la construction d'un collège ou du stock évalué pour la ville d'Orléans.

L'intégration d'une approche « matériaux » dès la phase de conception de l'ouvrage, et plus spécifiquement lors de la programmation, permettrait de traduire à chaque étape l'incidence des choix ou des orientations retenues sur les conditions d'approvisionnement et les besoins en matériaux en fonction de leur disponibilité.

Il s'agit donc de sensibiliser l'ensemble des acteurs, et en premier lieu le donneur d'ordre (maître d'ouvrage), mais également ses conseils (programmiste, maître d'œuvre, urbaniste, architecte), afin que chacun d'eux intègre cette approche « matériaux » (au travers par exemple de la disponibilité local ou non de la ressource, de la distance d'approvisionnement, des quantités nécessaires) à la grille de critères qui guide sa réflexion. Il semble important que ces différents conseils puissent porter à la connaissance des décideurs les enjeux associés aux choix techniques, architecturaux, urbanistiques sur la consommation de matières et de matériaux disponibles.

Cette approche matériaux devrait ensuite être déclinée dans les échanges administratifs et techniques entre la maîtrise d'ouvrage (et ses conseils techniques) et la ou les entreprises. Concrètement, il conviendrait de formaliser sous une forme contractuelle (dans les documents d'appel d'offre et les contrats), des objectifs d'information et de communication de données qui porteraient sur l'origine et la composition des matériaux et produits utilisés pour la réalisation de l'ouvrage, les consommations effectives, les quantités de déchets produites et les excédents de chantier, ainsi que leur destination.

Cette démarche proactive permettrait :

- de dessiner une cartographie beaucoup plus précise des flux (à partir des quantités effectivement consommées et non d'un prévisionnel tel que cela a été fait pour la ville d'Orléans) spécifique à l'ouvrage ;
- d'affiner progressivement la composition du stock, à partir de données beaucoup plus précises (qui pourraient également être utilisées à l'occasion de la fin de vie ou de la réhabilitation de l'ouvrage) ;
- d'apporter des éléments qui pourront alimenter une collecte des données à l'échelle du territoire et être consolidées au niveau d'un observatoire ;
- de mettre en exergue la politique volontariste d'un maître d'ouvrage qui souhaiterait voir se développer des pratiques plus vertueuses en termes de recyclage et de réutilisation des matières premières secondaires (meilleure gestion du stock).

Elle nécessite bien évidemment, afin de favoriser l'implication de l'ensemble des acteurs et parties prenantes, que certains outils soient mis en place. Parmi ceux-ci, on peut citer :

- une communication amont des maîtres d'ouvrages et donneurs d'ordres autour de ces exigences de traçabilité, des évolutions souhaitées par rapport aux pratiques actuelles ;
- l'intégration dans les procédures d'appel d'offre, de critères de sélection qui permettent de mieux apprécier le niveau d'engagement des entreprises et maîtres d'œuvre dans des démarches de développement durable, plus spécifiquement vis-à-vis d'une politique de réutilisation ou de valorisation des matières premières secondaires potentielles ;
- une homogénéisation des appellations et des unités d'expression des matériaux, en privilégiant les unités massiques ou volumiques. La mise en place d'un lexique et d'une grille qui serait renseignée par chaque acteur (en complément ou en substitution aux DQE et BPU des appels d'offres) favoriserait certainement le développement des pratiques ;
- la définition des attentes du maître d'ouvrage et le format selon lequel ces données doivent lui être restituées (fréquence de la collecte d'informations, précision, formalisme). L'objectif final est bien pour le Maître d'ouvrage de disposer à la fin du chantier d'éléments précis sur les quantités consommées, l'origine géographiques des matériaux, les lieux de transformation, les quantités de déchets produites et leurs destination). La quantité de matériaux recyclés et les filières de valorisation des déchets pourraient également apparaître dans ce bilan de fin de chantier ;

- une capitalisation des données au fur et à mesure des chantiers suivis, afin de mettre en évidence des leviers d'amélioration de la collecte, de définir des outils permettant de fiabiliser et de consolider les données (alimentation de base de données telles que celle des permis de construction et de démolition selon un format adapté), d'élaborer des indicateurs et de définir des objectifs de progrès.

Remarque : Le travail participatif engagé dans le cadre du projet ASURET avec les services techniques de la ville d'Orléans a permis, par exemple, de développer un outil commun de recueil de données qui recouvre l'ensemble des spécificités de chacune des directions techniques de la ville en terme de matériaux utilisés, qui sera renseigné par les entreprises dans le cadre des prochains appels d'offres. La mise en place de cet outil permettra ensuite d'enclencher les étapes suivantes de mise en place de la collecte de données.

Échelle du territoire - Observatoires

La soutenabilité d'un territoire s'envisage non seulement au regard des interactions avec d'autres territoires mais également en termes de durabilité interne (Roussat, 2007).

La mise en place d'une collecte organisée au stade de l'ouvrage, si elle est nécessaire, ne peut suffire en tant que telle au développement d'une stratégie cohérente d'organisation et de gestion des flux. Il est indispensable de s'intéresser, aux interactions de chaque ouvrage ou chantier avec son environnement proche ou plus lointain.

Le rapport BRGM/RP-60666-FR (Projet ANR ASURET - *Echelle spatio-temporelle de l'analyse (tâche 4.1)*) a montré que l'échelon départemental ou celui du bassin d'activité économique constitue une unité territoriale optimale pour l'observation des flux. Consolider l'observation de ces flux à l'échelle régionale permettrait de boucler les besoins avec les différents gisements et de mieux appréhender la notion de bassin de consommation qui peut dépasser les limites administratives départementales

Les difficultés rencontrées pour la collecte des données soulignent le besoin de développer une base de données harmonisée à l'échelle du territoire pour regrouper l'ensemble des flux de matériaux et de déchets qui affèrent aux activités du BTP et de la construction.

Réalisée individuellement par chaque territoire, la base de données peut être regroupée dans un observatoire régional ou national. La base de données matérialiserait ainsi les besoins en matière du territoire et constituerait un référentiel pour assoir la durabilité interne du territoire.

La mise en place d'observatoires, chargés de collecter, de compiler et de valoriser ces données semble donc indispensable pour accompagner la mise en place progressive de pratiques plus vertueuses vis-à-vis de la gestion des ressources minérales naturelles et du développement de pratiques de recyclages et de réutilisation.

Ces observatoires permettraient :

- de communiquer à l'ensemble des acteurs, publics et privés, les éléments nécessaires au développement d'une stratégie d'optimisation des flux de matières, et au soutien des démarches de durabilité engagées ;
- d'apporter des informations aujourd'hui non disponibles, nécessaires pour évaluer, territoire par territoire les conditions de viabilité technique et économiques de filières de recyclage et de réutilisation. Faute de données fiables, l'étude du business plan de telles installations est aujourd'hui difficile ;

- d'apporter des données fiables et précises dans le cadre du volet « déchets du BTP », des plans de prévention et de gestion des déchets tels que les prévoient la nouvelle circulaire ministérielle.

7. Bibliographie

Alizert L. et al. (2009) - Inventaire des carrières d'approvisionnement des cimenteries en France métropolitaine, rapport final BRGM.

CETE Normandie-Centre – DEIOA (2001) - Densité de population et morphologie du bâti.
http://lara.inist.fr/bitstream/handle/2332/1106/CERTU_rapport_population.pdf?sequence=2.

Corget R., Anselme T. (2013) - Un modèle multimodal intégré pour la prévision des flux de marchandises du BTP – Congrès ATEC-ITS France 2013 : Mobilité et transports : Évolutions majeures et perspectives d'avenir.

Hashimoto S., Tanikawa H., Moriguchi Y. (2009) - Framework for estimating potential wastes and secondary resources accumulated within an economy – A case study of construction minerals in Japan - *Waste Management* 29, p. 2859–2866.

Roussat N. (2007) - Optimisation de stratégies de gestion du contenu « matières premières et énergies » de déchets produits et utilisés sur un territoire urbanisé – application aux déchets de démolition du Grand Lyon, thèse INSA de Lyon, 23 octobre 2007.

UNPG (2011) - Livre blanc - Carrières et granulats à l'horizon 2030 - Pour un approvisionnement durable des territoires.

Annexe 1

Typologie de construction de l'habitat d'Orléans (système porteur) par zone, illustrations

Habitat ancien



Maison en colombage.



Maison en maçonnerie en pierre et briques dans le centre-ville.



Bâtiment en maçonnerie en pierre. Façade en pierres de taille et mur latéral en pierre tout venant.

Bâtiments à usage d'habitat collectif



Habitat collectif d'après-guerre (années 1950).



*Bâtiment type HLM, ossature en béton (coffrages tunnel) et remplissage en agglomérés
(Orléans-la-Source).*



Cité d'Orléans les Blossières.



Bâtiment en poteaux-poutres et remplissage.



Cité d'habitat collectif à Orléans-la-Source (système en voiles).



Bâtiment avec des murs préfabriqués en façade (Orléans-la-Source).



Habitat collectif récent.



Immeubles de construction récente (après la période ASURET). Image extraite de Google Street.

Habitat pavillonnaire



Habitat individuel d'avant-guerre. Image de Google Street.



Lotissement construit entre les années 1950-1960. Mélange de deux maçonneries.



Pavillons des années 1970-80 (Orléans-la-Source).



Pavillon en construction.

Bâtiments militaires



Hangars militaires.

Bâtiment industriel



Bâtiment industriel (garage) en ossature métallique.

Bâtiments à usage de bureaux ou scolaires



Bâtiment administratif.



École à Orléans-la-Source. Ossature en béton armé mais sans remplissage en maçonnerie en façade.



Bâtiment scolaire récent. À gauche structure en voiles, à droite charpente métallique et vitres (Google Street).



Hôpital Madeleine (Google Street).

Équipement sportif et grands établissements recevant du public



Dojo.



Centre scientifique et technique
Direction Eau, Environnement et Écotechnologies
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34