



# L'ECONOMIE DE FONCTIONNALITE POUR LE STOCKAGE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL UNE ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

## RAPPORT FINAL

Octobre 2012



COMMANDITAIRE :  
Serge Ferrari

---

### REALISATION :

Samuel Causse

Célian Colon

EVEA

S.A.S. au capital de 37 050 € - SIREN 481 273 423 – [www.evea-conseil.com](http://www.evea-conseil.com)



# Table des matières

1.	Introduction .....	11
2.	Définition des objectifs et du champ de l'étude .....	13
2.1.	Objectif de l'étude .....	15
2.2.	Champ de l'étude.....	16
2.2.1.	Scénarios de besoin de stockage .....	16
2.2.2.	Description des solutions comparées .....	21
2.2.3.	Fonction et unité fonctionnelle .....	29
2.2.4.	Scénarios et flux de références .....	29
2.3.	Méthodologie, indicateurs et frontière des systèmes.....	31
2.3.1.	Description des étapes du cycle de vie .....	31
2.3.2.	Méthodologie et indicateurs.....	31
2.3.3.	Eléments hors du champ de l'étude .....	36
2.3.4.	Représentativité des données.....	38
3.	Inventaire de cycle de vie .....	41
3.1.	Périmètre restreint .....	43
3.1.1.	Structure métallo-textile .....	45
3.1.2.	Entrepôt simple .....	81
3.1.3.	Prestation logistique .....	89
3.2.	Périmètre élargi .....	97
3.2.1.	Structure métallo-textile .....	97
3.2.2.	Entrepôt simple .....	104
3.2.3.	Prestation logistique .....	108
3.3.	Evaluation de la qualité des données .....	109
3.3.1.	Critères de qualités des données .....	109
3.3.2.	Evaluation de la qualité des données .....	110
4.	Evaluation et interprétation des résultats .....	115
4.1.	Cas de référence .....	118
4.1.1.	Scénario 1 .....	118
4.1.2.	Scénario 2 .....	134
4.2.	Analyses de sensibilité .....	151
4.2.1.	Analyse de sensibilité sur la méthode de caractérisation .....	151
4.2.2.	Analyse de sensibilité sur les données relatives aux bâtiments .....	158
4.2.3.	Analyse de sensibilité sur les données relatives aux structures métallo-textiles .....	161
4.2.4.	Analyse de sensibilité sur les données relatives au transport .....	165
4.2.5.	Conclusion quant à la sensibilité des résultats à la méthode de caractérisation et à certains données clefs .....	166
4.3.	Sensibilité aux paramètres définissant les scénarios .....	168
4.3.1.	Variations autour des scénarios de références .....	168

4.3.2.	Autres scénarios .....	175
4.3.3.	Conclusions quant à la sensibilité des résultats aux paramètres définissant les scénarios .....	181
5.	Conclusions .....	183
6.	Bibliographie .....	185
7.	Annexes .....	187
7.1.	Données afférentes aux structures.....	188
7.1.1.	Structures typiques.....	188
7.1.2.	Composition des éléments des MG4x15 .....	193
7.1.3.	Composition des éléments des MG4x20 .....	197
7.1.4.	Liste des pièces de base .....	200
7.1.5.	Consommation des machines outils utilisées par Locabri .....	203
7.2.	Données et modèles afférents aux tournées .....	206
7.2.1.	Modélisation du transport en tournée .....	206
7.2.2.	Distance moyenne d'une tournée .....	208
7.2.3.	Nombre moyen de prestations par tournée .....	214
7.2.4.	Distance moyenne d'une prestation .....	214
7.2.5.	Consommation moyenne des camions.....	221
7.2.6.	Masse moyenne à vide des camions Locabri .....	223
7.2.7.	Masse moyenne des prestations.....	223
7.3.	Données utilisées pour la modélisation de l'usure.....	236
7.3.1.	Quantités de métaux envoyés chez le ferrailleur.....	236
7.3.2.	Quantités de métaux revenues des chantiers de déposes de janvier à septembre 2011 .....	236
7.3.3.	Durée moyenne d'une prestation .....	237
7.4.	Données afférentes aux matériaux de construction des bâtiments .....	241
7.4.1.	Locabri.....	241
7.4.2.	Données du cabinet Deveraux .....	243
7.4.3.	Données Ecoinvent 2.2 .....	243



# Table des tableaux

Tableau 2.2-a. Paramètres rentrant dans le processus de décision d'une solution de stockage.....	17
Tableau 2.2-b. Caractéristiques du besoin de stockage des deux scénarios de l'étude .....	20
Tableau 2.2-c. Synthèse comparative des particularités fonctionnelles des options .....	29
Tableau 2.2-d. Réparation des options par scénario.....	29
Tableau 2.3-a. Description des étapes du cycle de vie des trois options étudiées .....	31
Tableau 2.3-c. Etapes de cycle de vies présentes dans chaque périmètre. ....	32
Tableau 2.3-b. Choix des indicateurs de la méthode MatFrance v2.06 retenus pour l'analyse de cycle de vie .....	35
Tableau 2.3-d. Rappel de la méthodologie utilisée et des indicateurs choisis dans chaque périmètre. ....	36
Tableau 2.3-e. Description des éléments mis hors du champ de l'étude et justification de ces choix .....	37
Tableau 2.3-f. Origine des données utilisées. ....	39
Tableau 3.1-a. Intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « structure métal-textile » .....	46
Tableau 3.1-b. Calcul du nombre d'éléments composant une structure de M module, bardée (B=0) ou toilée (B=1) .....	49
Tableau 3.1-c. Décomposition en éléments de base des deux structures étudiées dans les scénarios, avec ou sans bardage métallique.....	50
Tableau 3.1-d. Représentation en tableau de la matrice $C_{MG4,15}$ contenant la masse de chaque élément d'une structure MG4x15 par catégorie de matières.....	52
Tableau 3.1-e. Représentation en tableau de la matrice $C_{MG4,20}$ contenant la masse de chaque élément d'une structure MG4x20 par catégorie de matières.....	52
Tableau 3.1-f. Paramètres permettant de caractériser la prestation à effectuer.....	53
Tableau 3.1-g. Données collectées pour la pose des structures .....	56
Tableau 3.1-h. Données utilisées pour le calcul de la consommation de carburant due à une prestation .....	60
Tableau 3.1-i. Données utilisées pour les profilés d'aluminium .....	67
Tableau 3.1-j. Paramètres choisis pour modéliser l'usure et la réparation des profilés d'aluminium.....	68
Tableau 3.1-k. Données utilisées pour les pièces d'acier et les tôles .....	69
Tableau 3.1-l. Paramètres choisis pour modéliser l'usure et la réparation des profilés d'aluminium.....	70
Tableau 3.1-m. Données utilisées pour les toiles .....	71
Tableau 3.1-n. Paramètres choisis pour modéliser l'usure et la réparation des profilés d'aluminium .....	72
Tableau 3.1-o. Données utilisées pour évaluer la consommation énergétique due par la réparation.....	73
Tableau 3.1-p. Données collectées pour le lavage des toiles.....	77
Tableau 3.1-q. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « structure métal-textile » pour le scénario 1 .....	80
Tableau 3.1-r. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « structure métal-textile » pour le scénario 2 .....	80
Tableau 3.1-s. Liste des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « entrepôt simple ».....	81
Tableau 3.1-t. Données utilisées pour la consommation électrique et de carburant lors de la construction du bâtiment .....	84
Tableau 3.1-u. Données utilisées pour le transport des matériaux de construction.....	85
Tableau 3.1-v. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « entrepôt simple » pour le scénario 288 .....	288
Tableau 3.1-w. Liste des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « prestation logistique » .....	89
Tableau 3.1-x. Paramètres permettant l'allocation des flux de matière nécessaires à la construction et la démolition de l'entrepôt de l'option « entrepôt simple » .....	92
Tableau 3.1-y. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « prestation logistique » pour le scénario 1. ....	96
Tableau 3.2-a. Intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « structure métal-textile » qui sont à connecter à des données d'ICV .....	98
Tableau 3.2-b. Données d'ICV connectées au flux « profilés d'aluminium neufs » du périmètre restreint .....	99
Tableau 3.2-c. Données d'ICV connectées au flux « pièces d'acier neuves » du périmètre restreint .....	100
Tableau 3.2-d. Données d'ICV connectées au flux « tôles neuves » entrant le périmètre restreint.....	101
Tableau 3.2-e. Données d'ICV connectées aux flux « pièces de toile Ferrari 502 » et « pièces de toile Ferrari 602 » entrant le périmètre restreint .....	102
Tableau 3.2-f. Données d'ICV connectées aux flux « carburant des camions » et « carburant des machines outils » entrant le périmètre restreint .....	102
Tableau 3.2-g. Données d'ICV connectées aux flux « électricité » et « eau » entrant le périmètre restreint .....	103

Tableau 3.2-h. Données d'ICV connectées au flux « détergent » entrant le périmètre restreint .....	103
Tableau 3.2-i. Données d'ICV connectées aux flux « pièces de toile Ferrari 502 en fin de vie » et « pièces de toile Ferrari 602 en fin de vie » sortant du périmètre restreint .....	104
Tableau 3.2-j. Données d'ICV connectées aux flux « pièces de toile Ferrari 502 en fin de vie » et « pièces de toile Ferrari 602 en fin de vie » sortant du périmètre restreint .....	104
Tableau 3.2-k. Intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « entrepôt simple » qui sont à connecter à des données d'ICV .....	105
Tableau 3.2-l. Données d'ICV connectées aux flux « sable », « gravier », « ciment », « armature en acier », « laine de roche », « laine de verre » entrant le périmètre restreint .....	106
Tableau 3.2-m. Données d'ICV connectées aux flux « déchets d'acier » et « déchets d'aluminium » sortant du périmètre restreint .....	107
Tableau 3.2-n. Données d'ICV connectées au flux « déchets inertes » sortant du périmètre restreint .....	107
Tableau 3.2-o. Données d'ICV connectées au flux « déchets non dangereux » sortant du périmètre restreint .....	108
Tableau 3.3-a. Matrice de pédigrée de Weidema et Wesnæs (1996) permettant d'évaluer la qualité des données d'analyses de cycle de vie .....	110
Tableau 3.3-b. Analyse de la qualité des données des options SMT1 et SMT2 .....	111
Tableau 3.3-c. Analyse de la qualité des données de l'option PL1 .....	112
Tableau 3.3-d. Analyse de la qualité des données de l'option PL1 .....	113
Tableau 4.1-a. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option SMT1 .....	118
Tableau 4.1-b. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option PL1 .....	118
Tableau 4.1-c. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option SMT1 .....	135
Tableau 4.1-d. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option PL1 .....	135
Tableau 4.2-a. Données d'ICV choisies pour tester l'influence du détergent dans les résultats .....	162
Tableau 7.1-a. Liste des codes structures correspondant à des poses et déposes effectuées ou prévues pour des prestations locatives. Liste issue du logiciel de gestion interne de Locabri en mai 2012. Nombre d'éléments : 858. ....	188
Tableau 7.1-b. Structures typiques ayant une surface d'environ 400 m <sup>2</sup> et 800 m <sup>2</sup> . Y figurent les structures dont le nombre d'occurrences est supérieur à 10. Tableau issu du tableau 7.1-a. ....	193
Tableau 7.1-c. Liste des pièces des éléments de base des structures MG4x15. ....	193
Tableau 7.1-d. Liste des pièces des éléments de base des structures MG4x15. ....	197
Tableau 7.1-e. Liste des pièces de base nécessaires aux structures MG4x15 et MG4x20. ....	201
Tableau 7.1-f. Données issues des factures émises par Loxam pour des locations de machines outils ayant eu lieu en novembre et décembre 2011. Nombre de factures consultées : 59. ....	203
Tableau 7.1-g. Données issues des factures émises par Loxam pour des locations de machines outils ayant eu lieu en novembre et décembre 2011. Nombre de factures consultées : 59. ....	205
Tableau 7.2-a. Relevé des compteurs kilométriques des onze camions de Locabri. Ces relevés portent sur l'année 2011. Le premier relevé a été effectué la semaine 52 de 2010, le dernier a été effectué la semaine 51 de 2011. ....	208
Tableau 7.2-b. Distance parcourue par camion par semaine. ....	211
Tableau 7.2-c. Données extraites du logiciel de gestion interne de Locabri, correspondantes à l'année 2011. ....	214
Tableau 7.2-d. Liste des villes dans lesquelles ont eu lieu des prestations en 2011, par ordre alphabétique. La deuxième colonne indique les distances kilométriques retenues pour le calcul de la distance moyenne. Nombre d'occurrence : 771. ....	215
Tableau 7.2-e. Achat de carburant diesel par les camions Locabri effectuant les tournées. Toutes les quantités sont en litres. ....	221
Tableau 7.2-f. Données collectées sur les cartes grises des véhicules de la flotte Locabri .....	223
Tableau 7.2-g. Les matrices de compositions des différentes structures. Seules les C <sub>MG4x15</sub> et C <sub>MG4x20</sub> sont issues de données primaires. Les autres ont été extrapolées à partir de ces dernières. ....	224
Tableau 7.2-h. Liste des 481 codes de structures posées en 2011. ....	226
Tableau 7.2-i. Nombre d'occurrences des vecteurs de formation des structures posées, regroupés par gamme et portée. ....	229
Tableau 7.2-j. Vecteurs sommes des vecteurs de formation des poses effectuées en 2011 .....	229
Tableau 7.2-k. Masses de pièces posées en 2011 par catégorie de pièces (colonnes), par gamme et portée de structures (lignes) .....	231
Tableau 7.2-l. Masse de pièces posées en 2011 .....	233
Tableau 7.2-m. 213 codes des structures déposées en 2011 .....	234
Tableau 7.2-n. Masse de pièces déposées en 2011 .....	235

Tableau 7.2-o. Calcul de la masse moyenne des prestations effectuées en 2011 .....	235
Tableau 7.4-a. Quantités d'aluminium et de ferraille envoyées chez le ferrailleur de janvier à septembre 2011.....	236
Tableau 7.5-a. Codes des structures déposées entre janvier et septembre 2011.....	236
Tableau 7.5-b. Masse d'aluminium, de pièces d'acier et de tôles déposées entre janvier et septembre 2011.....	237
Tableau 7.6-a. Liste des dates des déposes effectuées en 2011 et date de pose correspondante. Le format de la date est le suivant : les quatre premiers chiffres forment l'année, les deux derniers indiquent la semaine. ....	237
Tableau 7.8-a. Quantités de matières pour la construction de l'entrepôt Locabri 4000 m <sup>2</sup> .....	241
Tableau 7.8-b. Donnée collectée relative au béton armé.....	241
Tableau 7.8-c. Données relatives à la composition du béton de fondation.....	242
Tableau 7.8-d. Décomposition des données Locabri en flux de matériaux de construction.....	242
Tableau 7.8-e. Quantités de matières nécessaires à la construction d'un bâtiment industriel de stockage « type » (450 m <sup>2</sup> , habillage métallique simple peau non isolé, terrain favorable). Données issues d'une étude réalisée par le cabinet d'architecte Deveraux.....	243
Tableau 7.8-f. Quantités de matières nécessaires à la construction d'un bâtiment industriel de stockage de 600m <sup>2</sup> en acier. Données issues du rapport ecoinvent no7 (Kellenberger et al, 2007) .....	243

## Table des figures et diagramme

Figure 2.2-a. Schéma décrivant les principaux éléments de la charpente d'une structure. Source : Locabri .....	21
Figure 3.1-a. Représentation schématique d'une transition dans le logiciel Umberto® .....	43
Figure 3.1-b. La brique élémentaire Locabri du périmètre restreint dans le logiciel Umberto© .....	45
Figure 3.1-c. Les six éléments composants une structure métallo-textile. Photos Locabri© .....	48
Figure 3.2-a. Caractéristiques géométriques des tôles utilisées par Locabri .....	100

Diagramme 2.2-a. Schéma de l'aménagement interne de la MG4x15x25xT, vue de dessus. Les rectangles gris représentent les rangées de racks .....	23
Diagramme 2.2-b. Schéma de l'aménagement interne de la MG4x15x25xT, vue face à une rangée de racks. Les rectangles violets représentent des palettes.....	24
Diagramme 2.2-c. Schéma d'un aménagement de la MG4x15x25-T envisagé mais écarté, vue de dessus. Les rectangles gris représentent les rangées de racks. ....	25
Diagramme 2.2-d. Schéma de l'aménagement interne de la MG4x20x40xT, vue de dessus. Les rectangles gris représentent les rangées de racks. ....	25
Diagramme 2.3-a. Cycle de vie du service pour l'option « structure métallo-textile ». Les pointillés délimitent le périmètre restreint, le trait plein délimite le périmètre élargi.....	33
Diagramme 2.3-b. Cycle de vie du service pour l'option « prestation logistique ». Les pointillés délimitent le périmètre restreint, le trait plein délimite le périmètre élargi.....	33
Diagramme 2.3-c. Cycle de vie du service pour l'option « entrepôt simple ». Les pointillés délimitent le périmètre restreint, le trait plein délimite le périmètre élargi. ....	33
Diagramme 3.1-a. Modèle du périmètre restreint de l'option « structure métallo-textile ». Les flux de consommables ne sont pas représentés.....	46
Diagramme 3.1-b. Les deux étapes à prendre à compte pour mesurer l'impact d'un service.....	47
Diagramme 3.1-d. Schéma montrant la décomposition d'une structure en éléments en base et en pièces de base .....	49
Diagramme 3.1-e. Schéma des flux connectés à la transition « Préparation ».....	53
Diagramme 3.1-f. Schéma des flux connectés à la transition « Pose » .....	55
Diagramme 3.1-g. Schéma des flux connectés à la transition « Dépose » .....	57
Diagramme 3.1-h. Schéma des flux connectés à la transition « Tournée de pose » .....	58
Diagramme 3.1-i. Schéma des flux connectés à la transition « Tournée de dépose » .....	58
Diagramme 3.1-j. Etapes clefs contribuant à l'usure des pièces .....	63
Diagramme 3.1-k. Division du flux de pièces revenant de la dépose. ....	63
Diagramme 3.1-l. Schéma des flux connectés à de la transition « Tri avant réparation » .....	64
Diagramme 3.1-m. Schéma des flux connectés à la transition « Réparation » .....	65
Diagramme 3.1-n. Processus de calibrage du modèle en fonction des données empiriques .....	66
Diagramme 3.1-o. Schéma des flux entant et quittant la transition « Tri avant nettoyage » .....	74
Diagramme 3.1-p. Schéma des flux entant et quittant la transition « Nettoyage » .....	75

Diagramme 3.1-q. Flux connectés à la transition « Gestion des pièces » .....	79
Diagramme 3.1-r. Représentation graphique du modèle de l'option « entrepôt simple » dans Umberto® .....	81
Diagramme 3.1-s. Flux connectés à la transition « Construction ».....	82
Diagramme 3.1-t. Schéma du périmètre restreint de l'option « prestation logistique » dans Umberto®.....	89
Diagramme 3.1-u. Schéma des flux de la transition « Transport aller ».....	90
Diagramme 3.1-v. Schéma des flux de la transition « Transport retour ».....	91
Diagramme 3.1-w. Schéma des flux de la transition « Stockage » .....	92
Diagramme 3.2-a. Schéma illustrant le passage du périmètre restreint au périmètre élargi pour le calcul de l'ICV <i>cradle-to-grave</i> du système .....	97
Diagramme 4.3-a. Aménagement intérieur de la structure permettant d'accueillir 320 palettes 2,4m*1m. ....	177

## Table des graphiques

Graphique 4.1-a. Comparaison des quantités de matières entrant le périmètre restreint de SMT1 et PL1 .....	119
Graphique 4.1-b. Comparaison des quantités de matières entrant le périmètre restreint de SMT1 et PL1 par étapes (voir section 4.1 pour la description des étapes) .....	120
Graphique 4.1-c. Flux de carburant entrant le périmètre restreint des options SMT1 et PL1 par poste de consommation ..	121
Graphique 4.1-d. Flux de sortant du périmètre restreint des options SMT1 et PL1 .....	122
Graphique 4.1-e. Flux d'énergie entrant le périmètre restreint des options SMT1 et PL1. ....	123
Graphique 4.1-f. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur l'indicateur de demande d'énergie totale (MJ) par étape du cycle de vie.....	124
Graphique 4.1-g. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur demande d'énergie totale pour le scénario 1 (MJ).....	124
Graphique 4.1-h. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur l'indicateur de changement climatique (kgCO <sub>2</sub> eq) par étape du cycle de vie.....	125
Graphique 4.1-i. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur changement climatique pour le scénario 1 (kgCO <sub>2</sub> eq) .....	126
Graphique 4.1-j. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur l'indicateur formation d'ozone photochimique (kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq) par étape du cycle de vie .....	127
Graphique 4.1-k. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur changement climatique pour le scénario 1 (kgCO <sub>2</sub> eq).....	127
Graphique 4.1-l. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur l'indicateur de pollution de l'air (m <sup>3</sup> ) par étape du cycle de vie .....	128
Graphique 4.1-m. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur de pollution de l'air pour le scénario 1 (m <sup>3</sup> ) .....	129
Graphique 4.1-n. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur l'indicateur pollution de l'eau (m <sup>3</sup> ) par étape du cycle de vie .....	130
Graphique 4.1-o. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur de pollution de l'air pour le scénario 1 (m <sup>3</sup> ) .....	131
Graphique 4.1-p. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur les indicateurs de méthode MatFrance v2.06 non sélectionnés.....	132
Graphique 4.1-q. Résultats de l'analyse comparative du scénario 1 effectuée avec la méthode de Monte Carlo. Nombre de tirages : 1000.....	133
Graphique 4.1-r. Comparaison des quantités de matières entrant dans le périmètre restreint de SMT2 et ES2 .....	136
Graphique 4.1-s. Comparaison des quantités de matières entrant le périmètre restreint de SMT2 et ES2 par étapes (voir section 4.1 pour la description des étapes) .....	137
Graphique 4.1-t. Flux de sortant du périmètre restreint des options SMT2 et ES2 .....	138
Graphique 4.1-u. Flux d'énergie entrant le périmètre restreint des options SMT2 et ES2 .....	139
Graphique 4.1-v. Evaluation comparative des options SMT2 et ES2 sur l'indicateur de demande d'énergie totale (MJ) par étape du cycle de vie.....	140
Graphique 4.1-w. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur demande d'énergie totale (MJ) .....	141
Graphique 4.1-x. Evaluation comparative des options SMT2 et PL2 sur l'indicateur de changement climatique (kgCO <sub>2</sub> eq) par étape du cycle de vie.....	142
Graphique 4.1-y. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur changement climatique (kgCO <sub>2</sub> eq) .....	142
Graphique 4.1-z. Evaluation comparative des options SMT2 et PL2 sur l'indicateur formation d'ozone photochimique (kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq) par étape du cycle de vie .....	143
Graphique 4.1-aa. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur formation d'ozone photochimique (kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq).....	144
Graphique 4.1-bb. Evaluation comparative des options SMT2 et PL2 sur l'indicateur de pollution de l'air (m <sup>3</sup> ) par étape du cycle de vie .....	145

Graphique 4.1-cc. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur de pollution de l'air (m <sup>3</sup> ).....	145
Graphique 4.1-dd. Evaluation comparative des options SMT2 et PL2 sur l'indicateur pollution de l'eau (m <sup>3</sup> ) par étape du cycle de vie .....	146
Graphique 4.1-ee. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur de pollution de l'air pour le scénario 1 (m <sup>3</sup> ) .....	147
Graphique 4.1-ff. Evaluation comparative des options SMT2 et ES2 sur les indicateurs de méthode MatFrance v2.06 non sélectionnés.....	148
Graphique 4.1-gg. Résultats de l'analyse comparative du scénario 2 effectuée avec la méthode de Monte Carlo. Nombre de tirages : 1000.....	149
Graphique 4.2-a. Résultats de l'analyse comparative d'impacts du scénario 1 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H) .....	152
Graphique 4.2-b. Résultats de l'analyse comparative d'impacts normalisés du scénario 1 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H) .....	153
Graphique 4.2-c. Résultats de l'analyse comparative du scénario 1 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H) avec prise en compte de l'incertitude des données, effectuée avec la méthode de Monte Carlo. Nombre de tirages : 1000. ....	154
Graphique 4.2-d. Résultats comparatifs de dommages évalués par la méthode ReCiPe (H) pour le scénario 1 .....	154
Graphique 4.2-e. Résultats de l'analyse comparative d'impacts du scénario 2 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H) .....	155
Graphique 4.2-f. Résultats de l'analyse comparative d'impacts normalisés du scénario 2 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H) .....	156
Graphique 4.2-g. Résultats de l'analyse comparative du scénario 2 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H) avec prise en compte de l'incertitude des données, effectuée avec la méthode de Monte Carlo. Nombre de tirages : 1000. ....	157
Graphique 4.2-h. Résultats comparatifs de dommages évalués par la méthode ReCiPe (H) pour le scénario 1 .....	157
Graphique 4.2-i. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données de construction de l'entrepôt de l'option PL1. ....	158
Graphique 4.2-j. Analyse comparative des options SMT2 et ES2, avec analyse de sensibilité des données de construction de l'entrepôt de l'option ES2. ....	159
Graphique 4.2-k. Analyse comparative des options SMT2 et ES2, avec analyse de sensibilité des données de consommation énergétique lors de la phase de construction et de démolition de l'option ES2. Dans « ES2 énergie/2 », les consommations énergétiques ont été divisées par 2 par rapport au cas de case « ES2 ». Dans « ES2 énergie*2 », elles ont été multipliées par 2. ....	160
Graphique 4.2-l. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données de consommation électrique lors de la phase de réparation et de nettoyage de l'option SMT1. Dans « SMT1 elec*2 », les consommations électriques ont été multipliées par 2 par rapport au cas de case.....	161
Graphique 4.2-m. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données de consommation électrique lors de la phase de réparation et de nettoyage de l'option SMT1. Dans « SMT1 détergent concentré », le détergent modélisé dans SMT1 a été remplacé par un détergent théorique concentré à 90%. ....	163
Graphique 4.2-n. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données du modèle d'usure de l'option SMT1. Dans « SMT1 DDV/2 », la durée de vie de toutes les pièces est divisée par deux. Dans « SMT1 R/2 », les taux de réparation sont divisés par deux. Dans « SMT1 U*2 », les taux d'usure accidentelle sont multipliés par deux. ....	164
Graphique 4.2-o. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données de durée de vie des pièces de SMT1. Dans « SMT1 DDV/2 métaux », la durée de vie de toutes les pièces métalliques est divisée par deux (de 100 à 50 ans). Dans « SMT1 DDV/2 toiles », la durée de vie de toutes les pièces de toiles est divisée par deux (de 7 à 3,5 ans). ....	165
Graphique 4.2-p. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données de transport. Dans « SMT1 » et « PL1 », la donnée Ecoinvent 2.2 <i>Transport, lorry 16-32, EURO4/RER</i> est utilisée. Dans « SMT1 >16t » et « PL1 >16t », c'est <i>Transport, lorry &gt;16t, fleet average/RER</i> qui est utilisée. Dans « SMT1 16-32t EURO3 » et « PL1 16-32t EURO3 », c'est <i>Transport, lorry 16-32, EURO3/RER</i> est utilisée. ....	166
Graphique 4.3-a. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité de la durée de vie de l'entrepôt logistique de PL1. Dans « PL1 (ddv 30ans) », la durée de vie du bâtiment est de 30 ans. ....	169
Graphique 4.3-b. Analyse comparative des options SMT2 et ES2, avec analyse de sensibilité de la durée de vie de l'entrepôt logistique de ES2. Dans « ES2 (ddv 30ans) », la durée de vie du bâtiment est de 30 ans. ....	170
Graphique 4.3-c. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité du taux de remplissage de l'entrepôt logistique de PL1. Dans « PL1 (60%) », le taux de remplissage du bâtiment est de 60% pendant 50 ans. ....	170

Graphique 4.3-d. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité de la capacité de stockage de l'entrepôt logistique de PL1. Dans « PL1 (1,3) » (resp. PL1 (3)), la capacité de stockage du bâtiment est de 1,3 palette/m <sup>2</sup> (resp. 3 palettes/m <sup>2</sup> ). .....	171
Graphique 4.3-e. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité de la capacité de stockage de l'entrepôt logistique de PL1.....	172
Graphique 4.3-f. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité du taux de rotation des marchandises (10% par mois, 20% par mois et 50% par mois). .....	173
Graphique 4.3-g. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité de la distance séparant Locabri du lieu de prestation pour SMT1.....	174
Graphique 4.3-h. Analyse comparative des options SMT2 et ES2, avec analyse de sensibilité de la distance séparant Locabri du lieu de prestation pour SMT2.....	175
Graphique 4.3-i. Analyse comparative des options SMT1 et PL1 pour une durée de prestation de 6 mois. SMT1 est testé en stockage alvéolaire (MG4x15x25-T) et en stockage de masse (MG4x10x10-T).....	176
Graphique 4.3-j. Analyse comparative des options SMT1 et PL1 pour le stockage de palettes standards ou de palettes non standards. ....	177
Graphique 4.3-k. Analyse comparative des options SMT1 et PL1 avec ou sans bardage métallique .....	178
Graphique 4.3-l. Analyse comparative des options SMT2 et PL2 avec ou sans bardage métallique .....	178
Graphique 4.3-m. Analyse comparative des options « structure métallo-textile » (SMT) et « prestation logistique « PL » pour une prestation de 3 mois, 320 palettes standards, distance client - Locabri : 500 km, distance client - entrepôt logistique : 20km. 20% des palettes sont renouvelées chaque mois. L'entrepôt logistique est supposé être rempli à 85% pendant 50 ans. ....	180
Graphique 4.3-n. Analyse comparative des options « structure métallo-textile » (SMT) et « entrepôt simple « ES » pour une prestation d'un an, 770 palettes standards, distance client - Locabri : 360 km ou 500 km. L'entrepôt est supposé être rempli à 75% pendant 50 ans.....	181

# 1. INTRODUCTION

L'économie de fonctionnalité est un modèle économique dans lequel une entreprise vend non pas un produit mais le service associé. Elle reste donc propriétaire du système matériel mis en place pour rendre le service, et elle cherche à en optimiser l'utilisation en fonction de la performance souhaitée par le client. Ce modèle s'applique à des systèmes très divers tels que la mise en place d'un service de chauffage, de photocopies ou de pneumatiques automobiles. Dans de nombreux cas, l'application de ce modèle à un secteur d'activité permet une optimisation globale des performances économiques et environnementales du service proposé, notamment par l'adaptation au plus juste des moyens matériels mis en œuvre pour répondre aux besoins des clients. En outre, ce modèle économique permet à une entreprise d'avoir une meilleure connaissance des différentes étapes du cycle de vie des services qu'elle propose, lui permettant d'intégrer et d'optimiser l'ensemble des coûts et charges environnementales inhérentes à son activité.

Le stockage industriel et commercial de marchandises est précisément un secteur où l'économie de fonctionnalité est déployée depuis de nombreuses années. En effet, une organisation ayant un besoin de stockage a généralement le choix entre différentes solutions telles que la construction d'un entrepôt, le stockage en plateforme logistique ou la mise en place d'une structure modulaire.

L'entreprise Locabri propose différentes solutions de stockage industriel et commercial de marchandises selon deux modèles économiques : vente ou location. Ce dernier constitue la majeure partie de l'activité de Locabri et présente de nombreux avantages fonctionnels tels que la réactivité face à des variations brutales en besoin de stockage, l'aménagement spécifique de l'espace, la gestion du risque d'obsolescence, etc. De plus dans le cas de la mise à disposition de structures modulaires métallo-textiles, la solution matérielle mise en œuvre est beaucoup plus légère que la construction d'un bâtiment classique. Ainsi, la location de structures modulaires semble apporter des avantages fonctionnels et environnementaux par rapport à d'autres solutions de stockage de marchandises.

L'entreprise Serge Ferrari, fournisseur de Locabri en textiles techniques, et fortement impliquée dans une démarche de développement durable, souhaite approfondir l'étude du modèle d'économie de fonctionnalité appliqué au secteur du stockage industriel et commercial de marchandises afin d'infirmier ou de confirmer les



bénéfices environnementaux pressentis d'un tel modèle mais également d'en identifier les limites. Un projet collaboratif a donc été réalisé entre Serge Ferrari et Locabri dans le but de disposer d'un premier cas d'étude dans le domaine du stockage de marchandises. Ce type de problématique peut également se poser dans le cadre de la mise à disposition d'espace pour de l'événementiel (solution également proposée par Locabri) mais pour des raisons de complexité, cette dimension n'a pas été abordée dans ce projet.

Ainsi, trois solutions de stockage ont été comparées :

- Construction d'un hangar classique
- Construction d'une plateforme logistique pour un prestataire
- Location d'une structure modulaire

Ces trois solutions peuvent être proposées par Locabri mais l'activité de location représente la majeure partie de son activité. Elles sont comparées sur la base de scénarios de stockage vraisemblables, inspirés de cas fréquemment rencontrés par Locabri.

Deux approches complémentaires d'analyse ont été mises en œuvre :

- L'Analyse de Flux Matière et Energie (AFME) visant à caractériser de manière précise l'ensemble des flux spécifiques des systèmes étudiés issus de données primaires
- L'Analyse de Cycle de Vie visant à caractériser de manière globale l'ensemble des problématiques environnementales « du berceau à la tombe »

Par la suite, une série d'analyses de sensibilité et d'analyses de scénarios supplémentaires a été réalisée afin d'identifier dans quelle mesure un modèle d'économie de fonctionnalité est susceptible d'interagir avec les performances environnementales du service étudié.



## **2. DEFINITION DES OBJECTIFS ET DU CHAMP DE L'ETUDE**



## 2.1. Objectif de l'étude

La présente étude vise à comparer la performance environnementale des structures métallo-textiles à celles des bâtiments classiques de stockage.

Dans cette perspective, un certain nombre de choix méthodologiques ont été faits.

- La comparaison est réalisée sur la base de scénarios de stockage vraisemblables, pour lesquelles, du point de vue de l'entreprise ayant besoin de stocker, différentes solutions peuvent effectivement être envisagées.
- Lorsque des données ou des paramètres présentent une forte incertitude, l'approche comparative adoptée consiste à systématiquement choisir des hypothèses qui tendront à surestimer les impacts de l'option « structure métallo-textile » (« *worst case* »), et à sous-estimer ceux des autres options (« *best case* »). Ainsi, pour des situations où l'option « structure métallo-textile » aurait des impacts inférieurs aux autres options, des conclusions pourront être dégagées avec un degré de certitude élevé\*.
- Puisque les options sont fortement liées au secteur du bâtiment, il a été choisi de suivre les choix méthodologiques suggérés dans les normes afférentes à ce secteur, en particulier la norme NF P01-010 relative aux matériaux de construction (AFNOR, 2004).

In fine, les travaux conduits dans le cadre de cette étude doivent permettre :

- de situer la performance environnementale de ce modèle d'économie de fonctionnalité par rapport à des solutions classiques ;
- le cas échéant, de décrire les situations dans lesquelles ce modèle présente de meilleures performances environnementales et les quantifier.

Locabri souhaite pouvoir exploiter les résultats de cette étude afin :

- de détecter des pistes d'amélioration de ses prestations ;
- de communiquer des résultats comparatifs de ses différentes solutions pour le stockage industriel et commercial.

---

\* Au cours du rapport, il sera fait de nombreuses fois référence à cette « approche comparative » pour justifier des choix de modélisation.

## ***2.2. Champ de l'étude***

Il est utile de préciser que l'étude porte sur la fourniture d'espace de stockage, et non sur la mise en place d'une chaîne logistique. Il n'est pas question ici de suggérer que ces options sont totalement équivalentes. Il est entendu que les services logistiques répondent des problématiques bien plus larges que le besoin simple de stockage étudié.

### **2.2.1.Scénarios de besoin de stockage**

A priori, une entreprise peut envisager plusieurs solutions de stockage :

- Réorganisation interne pour dégager de l'espace
- Agrandissement des locaux
- Entreposage sur un terrain à l'air libre
- Location d'une structure métallo-textile
- Utilisation des services d'un logisticien
- Location d'un bâtiment à proximité
- Construction d'un entrepôt

Le choix des solutions dépend de nombreux paramètres : les caractéristiques du stock, les ressources internes de l'entreprise, la disponibilité de services, etc. Le tableau 2.2-a résume l'ensemble des paramètres à prendre en compte dans la prise de décision.

**Tableau 2.2-a. Paramètres rentrant dans le processus de décision d'une solution de stockage**

<i>Stock</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Type de marchandises</i> : certaines marchandises sont-elles considérées comme dangereuses ? Leur stockage est-il soumis à des normes particulières ? Sont-elles périssables ? palettisables ? Gerbables ? Combien de références comporte le lot de marchandises ?</li> <li>• <i>Accessibilité des marchandises</i> : y aura-t-il des mouvements de stocks ? Souhaite-t-on pouvoir accéder à chaque palette / chaque type de marchandises ? Il y a-t-il un besoin de FIFO (<i>first in, first out</i>) ?</li> <li>• <i>Quantité de marchandises à stocker</i> : masse, volume, nombre de palettes.</li> <li>• <i>Durée de stockage</i>.</li> <li>• <i>Degré d'urgence</i> : dans combien de temps la solution doit-elle être mise en place</li> </ul>
<i>Ressources internes</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilité de locaux vides, de terrains</li> <li>• Disponibilité d'équipements de manutention</li> <li>• Possibilité d'optimiser l'espace occupé</li> </ul>
<i>Disponibilité de service</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proximité d'une plateforme logistique</li> <li>• Proximité d'un loueur de structure métallo-textile</li> <li>• Proximité d'un loueur d'équipements de manutention</li> </ul>
<i>Autres contraintes</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle financier : l'entreprise souhaite-t-elle immobiliser du capital ?</li> <li>• Stratégie de développement de l'entreprise</li> </ul>

Pour l'étude, deux scénarios sont définis. Dans chaque scénario, le besoin de stockage est caractérisé, de manière à ce que la solution « structure métallo-textiles » réponde à ce besoin et soit en concurrence avec d'autres solutions étudiées. Les deux scénarios ont en commun plusieurs caractéristiques.

- Pour des raisons matérielles, organisationnelles ou économiques, l'entreprise souhaitant stocker ne peut simplement réduire ses stocks et ou se réorganiser en interne pour faire face à cette situation. Une solution de stockage est nécessaire.
- Il n'y a pas à proximité d'entreprise qui pourrait mettre à disposition une partie de son site.
- L'entreprise ne souhaite pas stocker ses marchandises à l'air libre. Elle dispose cependant d'un terrain goudronné de taille suffisante pour y installer une structure métallo-textile, voire pour y construire un entrepôt.
- Les marchandises ne sont pas soumises à des normes d'entreposages particulières.
- Les marchandises à stocker sont produites sur le site de l'entreprise, ou bien y transitent avant d'être stocker.

Les deux scénarios ont été bâtis sur la base de retour d'expériences de certains clients de Locabri, d'entretiens avec les équipes de Locabri et avec des experts en logistique de Serge Ferrari.

### **2.2.1.1. Scénario 1**

Le premier scénario correspond à un besoin relativement urgent de stockage. La solution doit être apportée dans les trois mois après l'identification du besoin.

Plusieurs causes peuvent être à l'origine de ce dernier :

- la mise en œuvre de travaux impliquant le déplacement d'une partie des stocks ;

- une hausse d'activité exceptionnelle impliquant un besoin d'espace de stockage (par exemple suite à l'obtention d'un marché) ;
- des variations de prix entraînant une accumulation de stock.

#### **Exemples de clients de Locabri**

L'entreprise A entreprend des travaux de réaménagement, et doit pour cela déplacer un stock de marchandises en dehors de son site. Se trouvant en bonne entente avec un entrepreneur voisin, le responsable du site obtient de pouvoir entreposer gratuitement son stock quelques mois dans le hangar de ce dernier. Les travaux prennent beaucoup de retards, si bien que l'entrepreneur souhaite récupérer l'entier usage de son hangar. Face à cette urgence, deux solutions s'offrent au responsable du site : l'envoi du stock vers un prestataire logistique ou la mise en place d'une structure temporaire sur son site.

L'entreprise E vient d'obtenir un marché public très important, qui nécessite d'augmenter considérablement son taux de production. Cette opportunité l'oblige à accroître son approvisionnement en matière première et à disposer d'espace pour entreposer les produits finis. Différentes solutions s'offrent à E : agrandir son entrepôt actuel, faire appel temporairement à un prestataire logistique, ou faire installer une structure métallo-textile sur son site.

F est producteur de polystyrène. Le cours de l'une des matières premières dont F a besoin se trouve à un niveau exceptionnellement bas. F saisit cette opportunité et constitue des stocks pour une année. Pour l'entreposage, F peut utiliser une plateforme logistique, ou bien louer une structure métallo-textile.

Les solutions considérées dans ce scénario sont :

- la location d'une structure métallo-textile ;
- l'utilisation d'un service logistique ;

Il faut souligner que ces deux solutions ne sont pas totalement substituables : chacune d'entre elles offre des fonctions secondaires distinctes (voir section 2.2.2). L'étude porte sur la fonction primaire de stockage ; d'autres paramètres peuvent entrer en compte lors du choix de la solution.

#### **2.2.1.2. Scénario 2**

Le deuxième scénario correspond à un besoin de stockage qui est davantage anticipé. La solution doit être apportée dans les six mois après l'identification du besoin. Diverses causes peuvent être à l'origine de ce dernier :

- L'anticipation d'une hausse relativement durable de l'activité
- La réorganisation de la production entre différents sites.

#### **Exemple d'un client de Locabri**

D est producteur de farine. Suite à une baisse d'activité, D ferme l'un de ses moulins, et rabat l'essentiel de sa production sur un site, où le taux de production passe de 60 à 90%. Un besoin de stockage se fait alors ressentir sur ce site. La construction d'un nouvel entrepôt ou l'agrandissement d'un bâtiment existant peut être envisagée, ainsi que la mise en place d'une structure métallo-textile.

Les solutions considérées dans ce scénario sont :

- la location d'une structure métallo-textile ;
- la construction d'un entrepôt simple.

### ***2.2.1.3. Caractéristiques du stockage***

Afin de procéder à l'étude, il est nécessaire de définir précisément les caractéristiques du besoin de stockage. Les caractéristiques les plus génériques possibles ont été choisies. Ces caractéristiques sont synthétisées dans le tableau 2.2-b, qui reprend le modèle du tableau 2.2-a. Des cas s'écartant de ces cas de référence seront explorés en analyse de sensibilité.

Dans la suite du rapport, le terme « palette » désignera par métonymie à la fois la palette 1200x800 et sa charge.

**Tableau 2.2-b. Caractéristiques du besoin de stockage des deux scénarios de l'étude**

	Scénario 1	Scénario 2	Commentaires
<i>Stock</i>	<p><i>Type de marchandises</i> : les marchandises sont palettisables, non gerbables, non périssables, non dangereuses, ne nécessitent pas un niveau de sécurité particulier. Toutes les palettes du lot de marchandises ont la même masse et le même volume ; elles sont cependant toutes identifiables. Ces palettes ont le format standard européen : 1200 mm x 800 mm. Leur hauteur est de 800 mm. La masse d'une palette est de 500 kg (ceci correspond, par exemple, à une palette de papier ou de boissons en bouteilles).</p>		<p>Il a été choisi de baser la comparaison sur le format de palettes le plus standard, d'une masse moyenne. Ce choix place la prestation logistique dans un cas favorable : les entrepôts logistiques sont généralement optimisés pour des palettes standards. Le cas de palettes non standards sera étudié en analyse de sensibilité (section 4.3.2.2).</p> <p>Une palette est faite pour pouvoir accueillir une charge dynamique d'une tonne à 1,4 tonne (voire 2 tonnes si la charge est compacte et bien répartie) (QUALIPAL, 2012, citant la fiche UIC 435-2, « Norme de qualité pour la palette plate européenne en bois, à quatre entrées, de dimensions 800 mm x 1200 mm »). Choisir la valeur de 500 kg apparaît donc comme un choix raisonnable. L'effet de la variation de la masse des palettes sera évoqué (section 4.3.1.3).</p>
	<p><i>Accessibilité des marchandises</i> : Les palettes stockées doivent toutes être accessibles individuellement. Le stockage se fait donc en alvéole. Le taux de rotation des marchandises est de 20% par mois (chaque mois, 20% des palettes sont renouvelées).</p>		<p>Le taux de rotation de marchandise influence l'étape de transport des marchandises, seulement présent pour la solution logistique. Ce taux de rotation relativement est faible (il implique que l'entreprise possède 5 mois de stock). Le cas de référence n'est donc pas défavorable à la solution logistique. D'autres taux de rotation seront étudiés en analyse de sensibilité (section 4.3.1.3).</p> <p>Le cas où il n'y a pas de rotation de marchandises, donc où un stockage de masse pourra être réalisé, sera également étudié en analyse de sensibilité (section 4.3.2.1).</p>
	<p><i>Quantité</i> : 320 palettes  <i>Durée de stockage</i> : 1 an  <i>Degré d'urgence</i> : 3 mois</p>	<p>770 palettes  3 ans  6 mois</p>	<p>Les quantités de palettes à stocker ont été définies à partir des caractéristiques des structures métallo-textiles. Ces quantités sont adaptées à des structures fréquemment posées par Locabri dans des cas similaires aux scénarios 1 et 2. La façon dont ces quantités (320 et 770) ont été déterminées sera détaillée dans la section 1.2.3.1.2 et 1.2.3.1.3.</p> <p>D'autres durées de stockage seront également étudiées en analyse de sensibilité (section 4.3.2.4).</p>
<i>Ressources internes</i>	<p><i>Disponibilité en locaux vides, en terrains</i> : pas de locaux vides, mais des terrains  <i>Disponibilité d'équipements de manutention</i>: oui  <i>Possibilité d'optimiser l'espace occupé</i>: non</p>		<p>L'entreprise doit faire appel à une solution externe. Elle possède où peut se procurer facilement des racks et des chariots élévateurs.</p>



Disponibilité de service	Proximité d'une plateforme logistique : oui, à 30 km. Proximité d'un loueur de structure métallo-textile : oui, à Brignais (Locabri). Proximité d'un loueur d'équipements de manutention : oui	La proximité d'une plateforme logistique dépend fortement de la région où est implantée l'entreprise. La distance de 30 km est choisie dans le cas de référence.
Autres contraintes	Non précisées	Les scénarios de l'étude ne préjugent rien des choix stratégiques et financiers de l'entreprise souhaitant stocker.

## 2.2.2. Description des solutions comparées

La section suivante décrit en plus amples détails chacune des solutions comparées.

### 2.2.2.1. Location d'une structure métallo-textile

#### 2.2.2.1.1. Présentation

Une structure métallo-textile est composée d'une charpente en métal et d'un habillage en toile. Les éléments porteurs (poteaux, traverses, pannes) sont en aluminium, d'autres pièces de la charpente (barres de charge, bracons, platines, câbles) sont en acier, généralement galvanisé. Les toiles sont composées de fibres de polyesters enduites de PVC. Celles utilisées par Locabri sont produites par la société Serge Ferrari.

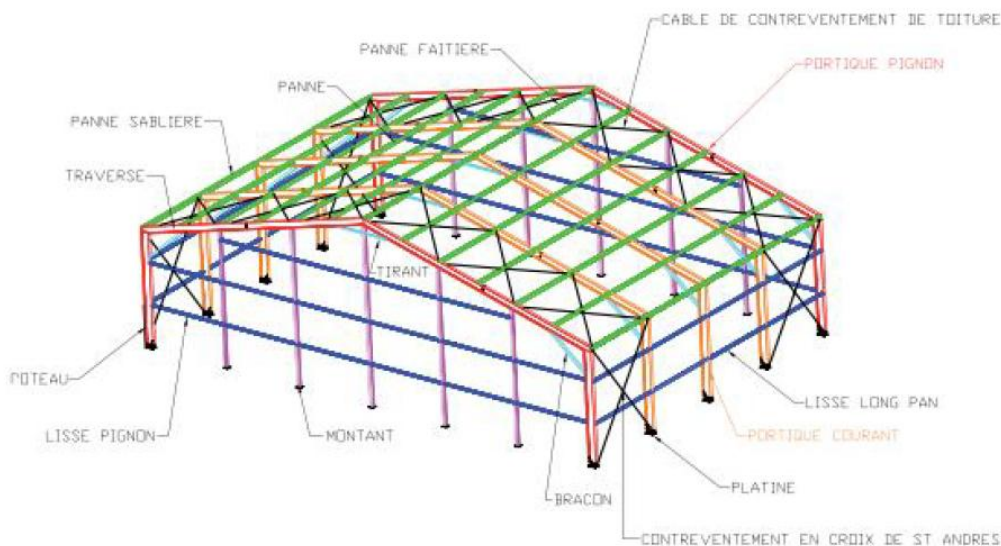


Figure 2.2-a. Schéma décrivant les principaux éléments de la charpente d'une structure. Source : Locabri

La portée des structures varie généralement de 5 à 20 mètres, la hauteur de 3 à 5 mètres, la longueur des travées est de 5 mètres. Techniquement, il n'y a pas véritablement de longueur maximale.

Locabri possède deux gammes standards de structures métallo-textiles :

- La gamme Abritex, de hauteur 3 mètres, de 5 à 20 mètres de portée ;
- La gamme Mégatex, de hauteur 4 à 5 mètres de 5 à 20 mètres de portée.

Dans la suite du rapport, on appellera « gamme » la combinaison d'une gamme et d'une hauteur. On a donc trois gammes standards :

- Abritex 3m, notée AB3 ;
- Megatex 4m, notée MG4 ;
- Megatex 5m, notée MG5.

Toutes les structures peuvent également recevoir un habillage vertical en tôle. La structure est alors dite bardée (pour « bardage métallique »), par opposition aux structures toilées. Qu'elle soit toilée ou bardée, toute structure a une toiture en toile.

On adoptera la nomenclature suivante : GAMMExPORTEExLONGUEUR-BARDAGE. Par exemple, la structure MG4x15x25-T est une Megatex de hauteur 4 mètres, de portée 15 mètres, de longueur 25 mètres, avec un habillage en toile. La structure MG4x20x40-B est une Megatex de hauteur 4 mètres, de portée 15 mètres, de longueur 25 mètres, avec un habillage en tôle.



**Une structure Locabri de la gamme Megatex. © Locabri**

L'entreprise ayant un besoin de stockage fait appel à Locabri. La structure est dimensionnée, puis, à la date convenue, une équipe apporte le matériel sur le site du client et monte la structure. On parle de « pose » de la structure. La durée de montage de la structure varie entre une et deux journées suivant la surface demandée.

L'entreprise installe alors à sa charge des racks de stockage et s'occupe de la manutention de sa marchandise. Lorsque la structure est vidée, elle est démontée et le matériel est entièrement réacheminé vers l'entrepôt de Locabri. On parle de « dépose » de la structure. Avant de réintégrer le matériel dans son stock, Locabri effectue des opérations de vérification, de nettoyage et de réparation.

#### *2.2.2.1.2. Scénario 1*

Dans une situation s'apparentant au scénario 1, les équipes de Locabri ont estimé que la surface généralement demandée par ses clients est d'environ 400 m<sup>2</sup>. Afin d'étudier une structure fréquemment posée, la liste des prestations effectuées en 2011 a été analysée. Il en a été déduit que la structure d'environ 400 m<sup>2</sup> la plus souvent posée est une MG4x15x25-T, dont la surface est 375m<sup>2</sup> (voir calcul et données annexe 7.1.1). C'est donc cette structure qui sera utilisée dans l'option « structure métallo-textile » du scénario 1.

A partir de la capacité de stockage de cette structure, le nombre de palettes à stocker dans le scénario 1 a été fixé. L'élément déterminant la capacité de stockage est l'aménagement intérieur de la structure : disposition des racks, largeur des allées, etc. Le besoin ayant été défini section 2.2.1.3 (palettes au standard européen, 500

kg chacune, accessibilité de chaque palette), il est possible d'en déduire différentes configurations de l'espace de stockage.

L'un des paramètres primordiaux est la largeur des allées. Cette largeur est déterminée par le type de chariots élévateurs utilisés. Les chariots doivent :

- être adaptés à un revêtement goudronné classique ;
- pouvoir soulever une charge de 500 kg à 3 mètres de hauteur ;
- correspondre à des modèles répandus. En effet, il est supposé qu'une entreprise optant pour une structure métallo-textile ne souhaite pas se doter, en plus de la structure, d'engins très spécifiques. En réalité, la démarche se fait plutôt dans le sens inverse : l'aménagement de la structure est choisi en fonction des chariots que l'entreprise possède déjà.

Les chariots élévateurs correspondant à ces critères sont des chariots thermiques frontaux basiques.



Un chariot élévateur diesel TC 40 de la marque STILL ©STILL

Après consultation de l'entreprise Marcelli, loueur et distributeur d'engins de manutention, et consultation des notices techniques des chariots des constructeurs Fenwick et Still, la longueur d'allée nécessaire est de 3,8 mètres lorsque les palettes sont soulevées dans le sens de la longueur (Fenwick-Linde, 2012 ; STILL GmbH, 2012). L'espace peut donc être organisé de la manière suivante :

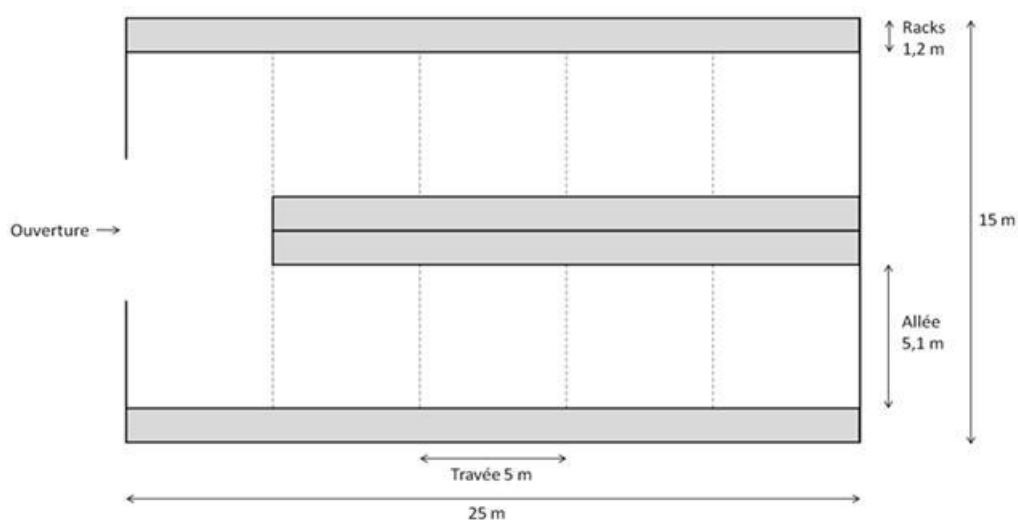
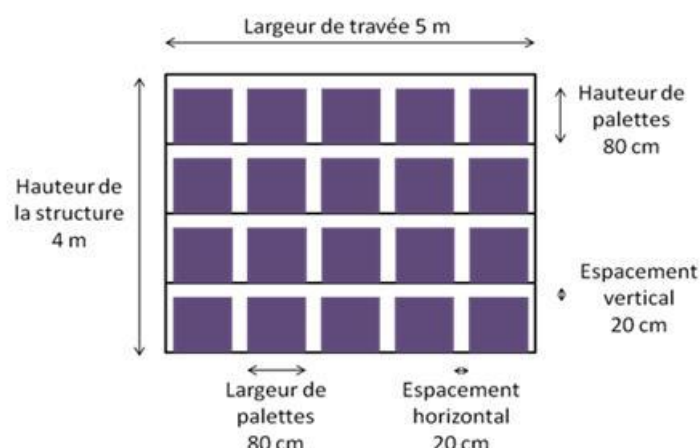


Diagramme 2.2-a. Schéma de l'aménagement interne de la MG4x15x25xT, vue de dessus. Les rectangles gris représentent les rangées de racks

La disposition des palettes sur les racks est la suivante :



**Diagramme 2.2-b. Schéma de l'aménagement interne de la MG4x15x25xT, vue face à une rangée de racks. Les rectangles violets représentent des palettes.**

Une rangée de rack contient donc 20 palettes par travée. La capacité de stockage est donc de :

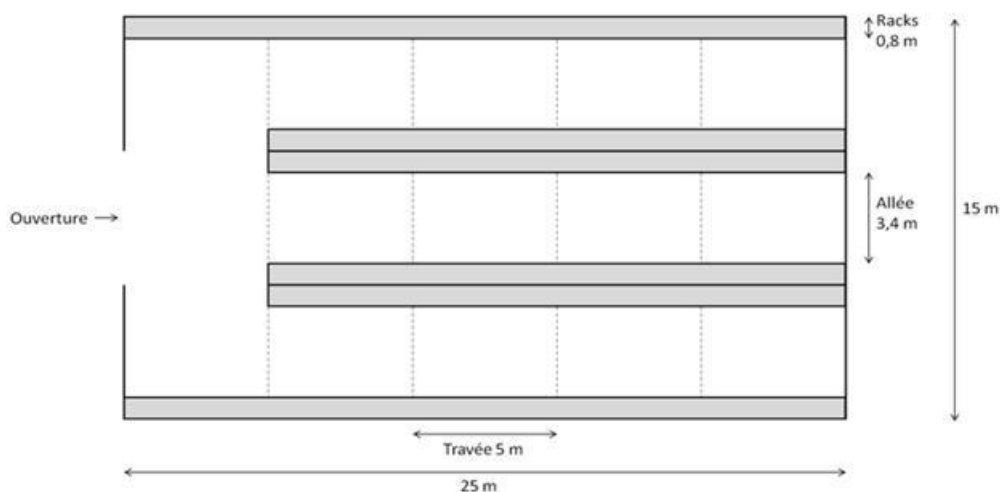
$$20 * (4 * 4 + 2) = 360 \text{ palettes}$$

De ce calcul a été déduit le nombre de palettes à stocker dans le scénario 1 :

- Le nombre de palettes à stocker dans le scénario 1 doit être tel que la structure adaptée est la MG4x15x25. Ce nombre doit donc être suffisamment grand pour justifier l'usage de cette structure, mais ne doit pas dépasser 360.
- La structure de même gamme qui a une surface juste inférieure à la MG4x15x25 est la MG4x15x20. En l'aménageant de la même manière que la MG4x15x25, la MG4x15x20 a une capacité de 280 palettes.
- Par conséquent, dans cette gamme de structures, pour un besoin de stockage situé entre 280 et 360 palettes, c'est la MG4x15x25 qui sera utilisée.
- On choisit donc la valeur médiane, soit 320 palettes.

C'est donc le nombre de 320 palettes qui est retenu pour le besoin de stockage du scénario 1. Ceci permet de rendre vraisemblable l'usage d'une telle structure pour le scénario 1. En outre, on ne suppose pas que la structure est utilisée à sa pleine capacité. Le taux de remplissage est de 89%.

Il eût été possible d'envisager une autre disposition, dans laquelle les palettes sont disposées en long sur les racks (elles « montrent leur longueur » aux travées). Les palettes auraient alors été collectées sur la largeur (80 cm) et non sur la longueur (120 cm), ce qui aurait pu théoriquement diminuer de 40 cm la longueur de travée minimale pour la manœuvre des chariots, celle-ci tombant donc à 3,4 mètres (cette diminution théorique n'est toutefois pas toujours faisable en pratique). Dans ces conditions, une nouvelle allée aurait été théoriquement envisageable (voir diagramme 2.2-c).



**Diagramme 2.2-c. Schéma d'un aménagement de la MG4x15x25-T envisagé mais écarté, vue de dessus. Les rectangles gris représentent les rangées de racks.**

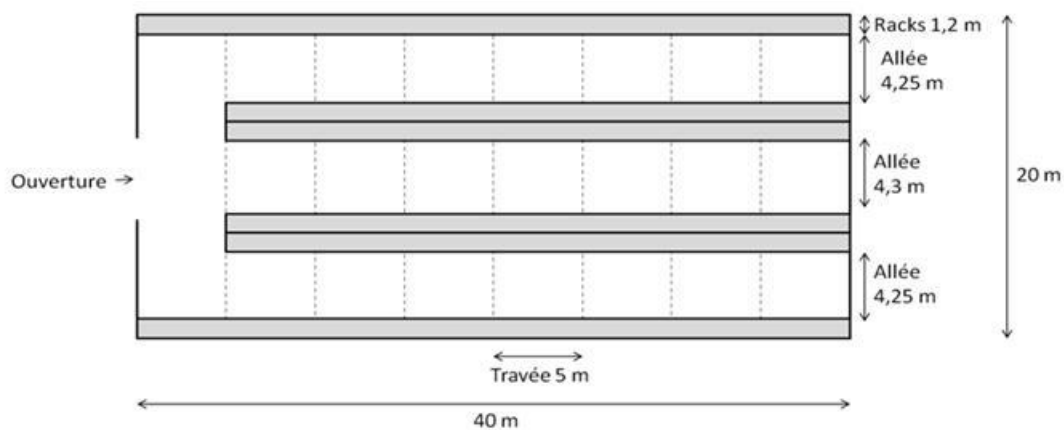
Cette disposition a cependant été écartée car :

- elle ne laisse aucune marge entre les deux rangées de racks (les deux racks qui semblent collés sur le diagramme 2.2-c sont en réalité distants de quelques centimètres) ;
- elle suppose que l'entreprise a à sa disposition le plus petit modèle de chariot élévateur frontal. Si elle dispose d'un modèle légèrement plus gros, cette configuration ne convient plus.

#### 2.2.2.1.3. Scénario 2

Dans une situation s'apparentant au scénario 2, les équipes de Locabri ont estimé que la surface généralement demandée par ses clients est d'environ 800 m<sup>2</sup>. Comme précédemment, la liste des prestations effectuées en 2011 a été analysée. La structure d'environ 800 m<sup>2</sup> la plus souvent mobilisée pour une prestation de location est une MG4x20x40-T (voir calcul et données annexe 7.1.1). C'est donc cette structure qui sera utilisée dans l'option « structure métallo-textile » du scénario 2.

Comme pour le scénario 1, il faut définir un aménagement de l'espace intérieur. Le même type de chariot élévateur est utilisé, et la disposition des palettes sur les racks est la même. La disposition choisie est la suivante :



**Diagramme 2.2-d. Schéma de l'aménagement interne de la MG4x20x40xT, vue de dessus. Les rectangles gris représentent les rangées de racks.**

Dans ce cas, la capacité de stockage est de :

$$20 * (7 * 6 + 2) = 880 \text{ palettes}$$

De ce calcul a été déduit le nombre de palettes à stocker dans le scénario 2 :

- Le nombre de palettes à stocker dans le scénario 2 doit être tel que la structure adaptée est la MG4x20x40. Ce nombre doit donc être suffisamment grand pour justifier l'usage de cette structure, mais ne doit pas excéder 880.
- La structure de même gamme qui a une surface juste inférieure à la MG4x20x40 est la MG4x20x35. En l'aménageant de la même manière que la MG4x20x40, la MG4x20x35 a une capacité de 660 palettes.
- Par conséquent, dans cette gamme de structures, pour un besoin de stockage situé entre 660 et 880 palettes, c'est la MG4x15x25 qui sera utilisée.
- On choisit donc la valeur médiane, soit 770 palettes.

C'est donc le nombre de 770 palettes qui est retenu pour le besoin de stockage du scénario 2. Ceci permet de rendre vraisemblable l'usage d'une telle structure pour le scénario 2. En outre, on ne suppose pas que la structure est utilisée à sa pleine capacité (taux de remplissage de 89%).

Comme pour la structure précédente, il eût été possible d'envisager une configuration plus optimisée à 4 allées, dans laquelle chacune des allées fait 3,4 mètres. Cette disposition a été écartée pour les mêmes raisons.

#### *2.2.2.1.4. Autres fonctionnalités*

- *Stockage sur site* : La marchandise est stockée sur le site de l'entreprise. Une marchandise peut être sortie du stock immédiatement si besoin. Il n'y a pas de coût de transport.
- *Modularité* : La longueur de la structure peut être adaptée en cas de variation du besoin. Ainsi, si l'entreprise est satisfaite de cette solution et voit son stock augmenter, elle peut faire agrandir cet espace en faisant installer des modules supplémentaires. En outre, l'aménagement intérieur peut être adapté au besoin de stockage (taille des palettes, nombre de références, fréquence de rotation, etc.).
- *Gestion de l'incertain* : En cas d'interruption anticipée du besoin de stockage, la structure est démontée et reprise par Locabri.
- *Réactivité* : Cette solution peut être déployée rapidement (délai de l'ordre d'une semaine).
- *Prestation de type locative* : Cette solution n'immobilise pas de capital.

#### **2.2.2.2. Solutions comparées**

##### *2.2.2.2.1. Scénario 1 : prestation logistique*

L'entreprise souhaite entreposer une certaine quantité de stock. Elle fait appel à un logisticien qui s'occupe d'acheminer les marchandises vers un entrepôt logistique, situé à 30 km, de les gérer et de les remettre à disposition sur demande. L'entrepôt logistique est partagé entre plusieurs utilisateurs.

L'entrepôt logistique est un bâtiment installé par Locabri, répondant aux normes des bâtiments logistiques. Le modèle choisi pour cette option est un bâtiment récemment installé par Locabri pour l'un de ses clients. Il s'agit de bâtiment de 4000 m<sup>2</sup> (double travée de 20 mètres et 100 mètres de long), de 10 mètres de hauteur. Il est composé d'une charpente acier, d'un habillage en bac acier, d'une dalle en béton et est bâti sur des fondations.

Le transport des palettes est effectué par camion routier dans le cadre d'une tournée. D'après une estimation du Sétra<sup>†</sup>, un entrepôt classique a une capacité de stockage moyenne située entre 1,1 et 1,5 palette par m<sup>2</sup> (Sétra, 2009). Conformément à l'approche comparative adoptée, il a été choisi de prendre la valeur la plus favorable. Etant donnée la surface, la capacité de stockage de l'entrepôt est de :

$$1,5 * 4\,000 = 6\,000 \text{ palettes}$$

On suppose que le taux de remplissage de l'entrepôt logistique est de 85%, ce qui correspond au taux de remplissage optimal pour assurer sa rentabilité. Ce taux de remplissage correspond à la fourchette haute des taux récemment constatés (SOeS, 2012). En outre, on suppose que la durée de vie du bâtiment est de 50 ans. Cela implique que l'entrepôt est rempli à 85% pendant 50 ans, ce qui est une hypothèse très optimiste. La valeur de 50 ans est cependant retenue car c'est une valeur standard généralement choisie dans les études environnementales du secteur du bâtiment.

$$0,85 * 6\,000 = 5\,100 \text{ palettes}$$

Cette solution permet donc le stockage de 5100 palettes pendant 50 ans.

Cette option présente certaines particularités :

- *Prestation intégrée de logistique* : La gestion de la marchandise est entièrement assurée par le prestataire (manutention, assurance du stock, et éventuellement le transport). D'autres services de logistiques peuvent être proposés.
- *Réactivité* : Cette solution de stockage peut être mise en place dans des délais très courts.
- *Gestion de l'incertain* : Ce service peut être interrompu très rapidement.
- *Délai de mise à disposition* : La marchandise ne peut pas être accessible immédiatement. Il faut compter un délai minimum d'un à deux jours pour récupérer une palette.
- *Prestation de service* : Cette solution n'immobilise pas de capital.

#### 2.2.2.2. Scénario 2 : construction d'un entrepôt simple

L'entreprise souhaite entreposer une certaine quantité de stock. Elle décide d'agrandir durablement son espace de stockage en construisant un entrepôt. Cet entrepôt n'est pas partagé.

Locabri construit et vend à cette entreprise un bâtiment de même type que l'entrepôt logistique précédemment décrit, mais plus petit. L'entreprise s'occupe de l'aménagement intérieur du bâtiment ainsi que de la manutention de sa marchandise.

---

<sup>†</sup> Le Sétra est un service technique du Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL). Ses domaines de compétence sont le domaine de la route, des ouvrages d'art et des transports (voir <http://www.setra.equipement.gouv.fr/>)





**Type de bâtiment construit par Locabri pour le scénario 2. ©Locabri**

Dans cette solution, le bâtiment devient propriété de l'entreprise. La durée de vie du bâtiment est également fixée à 50 ans, comme pour l'entrepôt logistique. On suppose probable un surdimensionnement du bâtiment, afin de pouvoir s'adapter à des variations de stock (il est probable que, pendant les 50 années d'utilisation supposées du bâtiment, le stock varie). Ainsi, le bâtiment est dimensionné de manière à ce que son taux de remplissage, sur les trois premières années, soit de 75%. On suppose que la capacité de stockage du bâtiment est la même que celle de l'entrepôt logistique, soit 1,5 palettes/m<sup>2</sup>.

La capacité de stockage souhaitée est donc de :

$$\frac{770}{0,75} \approx 1\,027 \text{ palettes}$$

La surface du bâtiment doit donc être de :

$$\frac{1027}{1,5} \approx 685 \text{ m}^2$$

On suppose que le taux de remplissage reste en moyenne de 75% sur toute la durée d'utilisation du bâtiment, donc sur les 50 ans. Une nouvelle fois, cette hypothèse semble plutôt favorable à cette solution, puisqu'elle suppose une utilisation quasi-optimale du bâtiment pendant 50 ans.

Cette option présente certaines particularités :

- *Aménagement spécifique* : l'aménagement de l'entrepôt peut être pensé pour s'adapter au mieux au besoin de l'entreprise.
- *Stockage sur site* : La marchandise est stockée sur le site de l'entreprise. Une marchandise peut être sortie du stock immédiatement si besoin. Il n'y a pas de coût de transport.
- *Immobilisation de capital* : Il faut compter l'amortissement comptable de l'investissement.
- *Persistence* : La solution matérielle persiste au-delà du besoin de stockage défini dans le scénario 2. Quelle que soit la durée réelle du stockage, la quantité de matière mise en œuvre est fixe.
- *Délais de construction* : Le chantier de construction est d'au moins trois mois, sans compter les travaux de terrassement et la mise en place des fondations.



### 2.2.3.Fonction et unité fonctionnelle

La fonction étudiée est le stockage de marchandises. La location d'une structure et les autres solutions permettent de réaliser cette fonction. Différentes unités ont été considérées pour quantifier ce service. Le stockage d'une marchandise implique l'immobilisation d'une surface (m<sup>2</sup>) ou d'un espace (m<sup>3</sup>) pendant une certaine durée (mois). Les unités fonctionnelles m<sup>2</sup>.mois et m<sup>3</sup>.mois ont toutefois été écartées car elles ne permettaient pas de décrire avec pertinence le service rendu : l'aménagement intérieur des espaces de stockage et les caractéristiques des marchandises ont une importance très fortes dans les systèmes étudiés. Le choix s'est donc porté vers l'utilisation de la palette comme unité de mesure. La palette est en effet l'unité de référence dans le domaine de la logistique et du stockage. Le type de palette est précisé : il s'agit d'une palette au standard européen (1200mm par 800 mm). Le choix d'un autre type de palette sera également étudié (section 4.3.2.2)

L'unité fonctionnelle choisie est donc :

**Stocker une palette standard européenne (1,2 x 0,8 m<sup>2</sup>) et sa charge dans un espace couvert pendant 1 mois.**

En outre, chaque solution offre des fonctions secondaires distinctes, ce qui les rend en général non totalement équivalentes. Les particularités fonctionnelles de chaque option ont été présentées dans les sections précédentes. Elles sont synthétisées dans le tableau 2.2-c.

**Tableau 2.2-c. Synthèse comparative des particularités fonctionnelles des options**

<i>Structure métallo-textile</i>	<i>Prestation logistique</i>	<i>Entrepôt simple</i>
Stockage sur site	Stockage à distance	Stockage sur site
Réactivité	Réactivité	Délais de construction
Gestion de l'incertain	Gestion de l'incertain pour le client, persistance du bâtiment	Persistance de la solution
Modularité	Prestation intégrée de logistique	Aménagement spécifique optimisé
Prestation de service	Prestation de service	Immobilisation de capital

Le scénario 1 permettra de tester l'intérêt fonctionnel de stockage sur site de l'option « structure métallo-textile ». Des analyses de sensibilités et de variantes s'attacheront à tester d'autres particularités fonctionnelles, en particulier la modularité et la gestion de l'incertain.

### 2.2.4.Scénarios et flux de références

Le tableau 2.2-d résume la répartition des options par scénario.

**Tableau 2.2-d. Répartition des options par scénario.**

	<b>Scénario 1</b>	<b>Scénario 2</b>
<i>Structure métallo-textile</i>	x	x
<i>Prestation logistique</i>	x	
<i>Entrepôt simple</i>		x

Dans le scénario 1, les deux options répondent au besoin de stocker 320 palettes pendant 12 mois. Elles fournissent donc un service de 320\*12 = 3840 palettes.mois. Dans le scénario 2, les deux options répondent au

besoin de stocker 770 palettes pendant 36 mois. Elles fournissent donc un service de  $770 \times 36 = 27720$  palettes.mois.

Tous les résultats seront ramenés à une unité fonctionnelle, à savoir une palette.mois.

## 2.3. Méthodologie, indicateurs et frontière des systèmes

### 2.3.1. Description des étapes du cycle de vie

Huit étapes sont distinguées dans le cycle de vie des trois options. Le tableau 2.3-a décrit succinctement chacune de ces étapes pour les trois options.

Tableau 2.3-a. Description des étapes du cycle de vie des trois options étudiées

Etape du cycle de vie	Structure métallo-textile	Prestation logistique	Entrepôt simple
1.	Extraction des matières premières		
2.	Production des pièces (charpente métallique, toiles d'habillage) et transport vers Locabri	Production des matériaux de construction (charpente métallique, ciment, etc.) et transport vers leur lieu de distribution	
3.	Tournée en camion vers le lieu de pose	Acheminement des matériaux vers le chantier	Acheminement des matériaux vers le chantier
4.	Assemblage de la structure métallo-textile	Construction de la plateforme logistique	Construction de l'entrepôt
5.	Stockage des marchandises	Transport des marchandises vers la plateforme logistique Stockage des marchandises Transport retour des marchandises	Stockage des marchandises
6.	Désassemblage de la structure métallo-textile	Démolition de la plateforme logistique	Démolition de l'entrepôt
7.	Tournée en camion pour récupérer les pièces	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas
8.	Transport des déchets vers leur lieu de traitement/valorisation Traitement des déchets (recyclage/incinération/enfouissement)		

### 2.3.2. Méthodologie et indicateurs

L'étude met en œuvre deux méthodologies complémentaires : une analyse de flux de matière et d'énergie (AFME) appliqué à un périmètre restreint, permettant de décrire avec précision l'activité de Locabri, et une analyse de cycle de vie (ACV) permettant d'évaluer les impacts environnementaux des trois options.

### 2.3.2.1. Périmètres restreints (AFME) et périmètres élargis (ACV)

L'activité de location de structures métallo-textiles est caractérisée par une chaîne logistique bouclée. Les tournées sont effectuées pour le montage et la maintenance des structures (chaîne logistique descendante ou *forward logistics*), mais elles servent également au démontage des structures (chaîne logistique inverse/ascendante ou *reverse logistics*). Afin de modéliser avec précision ces multiples flux de matière, il a été choisi d'effectuer une **analyse de flux de matière et d'énergie (AFME)** de l'activité de location de structures métallo-textiles. Dans ce périmètre, appelé « périmètre restreint » (ou *gate-to-gate*), l'essentiel des données ont été collectées auprès de Locabri. Ce type d'analyse permet de générer des indicateurs de type *Material Input per Service Unit* (MIPS) :

- quantité de matière mobilisée pour le stockage d'une palette standard pendant un mois (par exemple le flux de pièces manufacturées et de carburant),
- quantité d'énergie mobilisée pour le stockage d'une palette standard pendant un mois (par exemple le flux d'énergie électrique pour la réparation des pièces),
- quantité de déchets générés pour ce même service (par exemple le flux de pièces mises au rebut).

Cette même méthodologie a été utilisée pour les deux autres options, la prestation logistique et la construction d'entrepôt, dans des périmètres équivalents (voir diagrammes 2.3-a, 2.3-b et 2.3-c).

Ensuite, le périmètre est élargi pour réaliser une **analyse de cycle de vie (ACV)**. Le périmètre restreint constitue alors une brique, qui est connectée à d'autres données afin de modéliser l'ensemble du cycle de vie. Ceci permet de calculer l'inventaire du cycle de vie (ICV) des options (*cradle-to-grave*). Cet ICV regroupe l'ensemble des flux extraits de l'environnement et émis dans l'environnement pour la réalisation du service étudié. Ces flux sont ensuite transcrits en impacts environnementaux. Cette transcription, appelée « caractérisation », utilise des facteurs appliqués à des groupes de flux. Plusieurs indicateurs sont générés pour rendre compte de l'impact des systèmes étudiés sur diverses problématiques environnementales. Les résultats sont ensuite analysés et interprétés.

Le tableau 2.3-b précise les étapes du cycle de vie incluses dans chacun des périmètres. Pour en faciliter la compréhension, les diagrammes 2.3-a, 2.3-b et 2.3-c présentent de façon schématique les étapes du cycle de vie des trois options, en précisant les périmètres restreints et élargis.

**Tableau 2.3-b. Etapes de cycle de vies présentes dans chaque périmètre.**

Etape du cycle de vie	Périmètre restreint	Périmètre élargi
1.Extraction des matières premières		X
2.Production des pièces d'assemblage/matériaux de construction		X
3.Transport des pièces/matériaux vers le lieu de d'assemblage/construction	X	X
4.Assemblage/construction de l'espace de stockage	X	X
5.Transport des marchandises, stockage et déstockage	X	X
6.Désassemblage/démolition de l'espace de stockage	X	X
7.Transport retour des pièces/matériaux le cas échéant	X	X
8.Fin de vie des pièces/matériaux		X

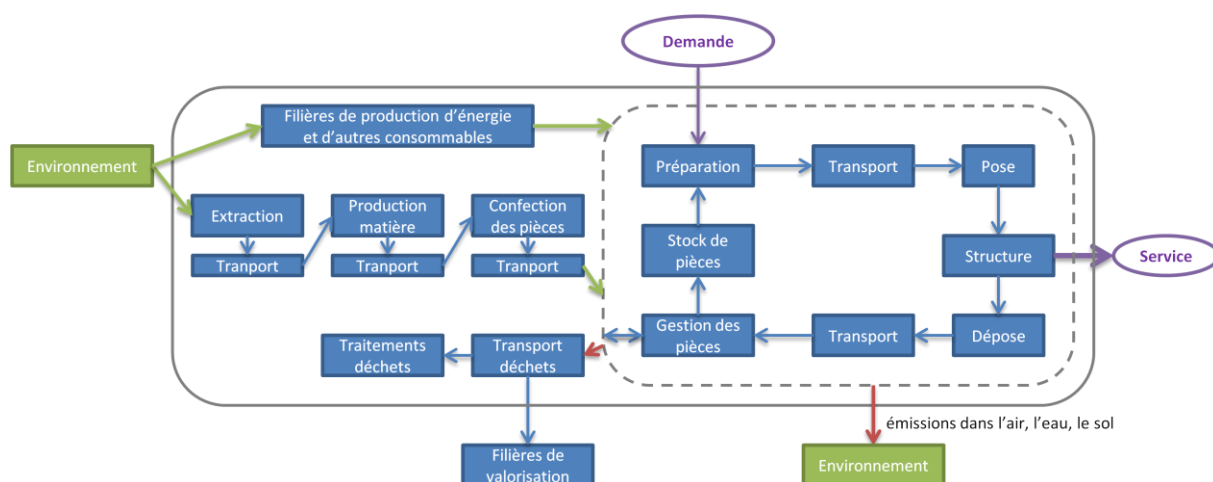


Diagramme 2.3-a. Cycle de vie du service pour l'option « structure métallo-textile ». Les pointillés délimitent le périmètre restreint, le trait plein délimite le périmètre élargi.

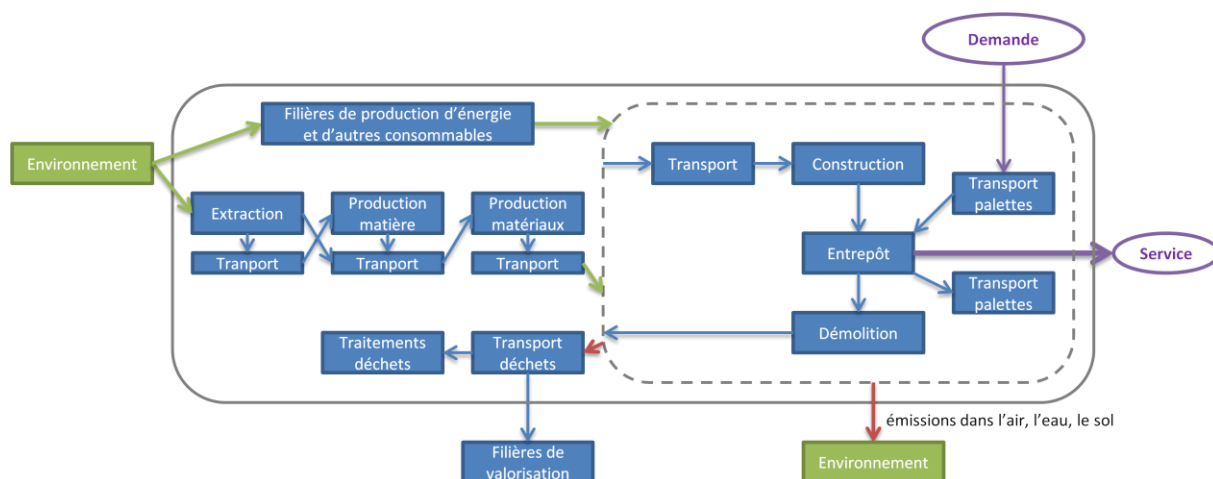


Diagramme 2.3-b. Cycle de vie du service pour l'option « prestation logistique ». Les pointillés délimitent le périmètre restreint, le trait plein délimite le périmètre élargi.

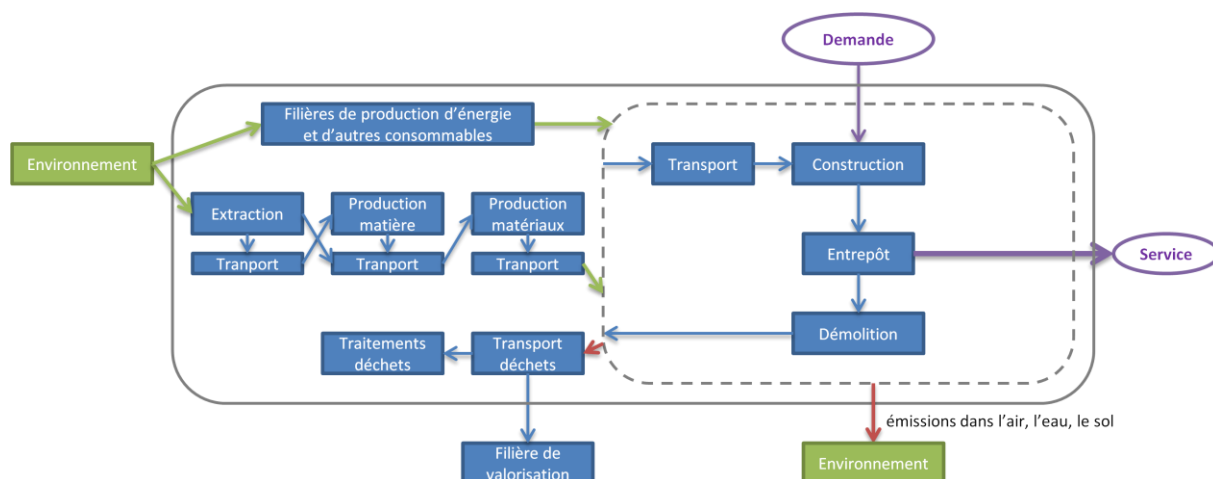


Diagramme 2.3-c. Cycle de vie du service pour l'option « entrepôt simple ». Les pointillés délimitent le périmètre restreint, le trait plein délimite le périmètre élargi.

### **2.3.2.2. Choix des indicateurs**

Comme précisé section 0, il a été choisi de suivre les choix méthodologiques de la norme NF P01-010 (AFNOR, 2004). Des facteurs de caractérisation y sont indiqués. Ceux-ci ont été utilisés et adaptés par EVEA pour correspondre à l'ensemble des flux présents dans les bases de données utilisées par le logiciel SimaPro 7.3.3. EVEA a ainsi développé une méthode de caractérisation conforme à la norme NF P01-010, nommée MatFrance v2.06, qui comprend 17 indicateurs.

Pour la présente étude, un choix d'indicateurs a été effectué, basé sur trois critères.

- le jeu d'indicateurs doit couvrir un panel assez large de problématiques environnementales ;
- ces indicateurs doivent permettre d'analyser en priorité les problématiques d'intérêt pour Locabri, à commencer par les émissions liées au transport et leur choix de matériaux ;
- le public visé (personnel et clients de Locabri) n'est pas un public de spécialistes en analyse de cycle de vie, aussi le jeu d'indicateur doit-il pouvoir être relativement aisément compris. Dans cette optique, un nombre réduit d'indicateurs ont été sélectionnés.

Le choix des cinq indicateurs retenus est présenté dans le tableau 2.3-c. Une analyse de sensibilité sera effectuée sur la méthode de caractérisation utilisée (voir section 4.2.1).

**Tableau 2.3-c. Choix des indicateurs de la méthode MatFrance v2.06 retenus pour l'analyse de cycle de vie**

Indicateur retenu	Inclusion ?	Justification
Energie primaire totale	Oui	La problématique de l'énergie est une problématique d'intérêt pour Locabri. L'indicateur énergie primaire totale est robuste et sa compréhension aisée. L'aspect renouvelable ou non de l'énergie mobilisé n'est pas un aspect distinctif entre les différents systèmes.
Energie renouvelable	Non	
Energie non renouvelable	Non	
Epuisement de ressources (ADP)	Non	Sur les problématiques de prélèvement des ressources, les enjeux énergétiques sont d'intérêts plus forts. Seul l'indicateur consommation d'énergie a été retenu.
Consommation d'eau totale	Non	Cet indicateur de flux est peu pertinent, car agrège les flux d'eau douce et d'eau salée, dont les problématiques environnementales sont très différentes.
Déchets valorisés	Non	Ces indicateurs visent avant tout à mesurer la quantité de déchets produits par le système. Cet aspect est déjà pris en compte au niveau du périmètre restreint par l'indicateur « quantité de déchets par unité fonctionnelle ».
Déchets inertes	Non	
Déchets non dangereux	Non	
Déchets dangereux	Non	Ces flux de sont pas distinctifs entre les différents systèmes.
Déchets radioactifs	Non	
Changement climatique	Oui	Indicateur robuste, bien compris et d'intérêt pour Locabri.
Pollution de l'air	Oui	Ces deux indicateurs permettent de couvrir de nombreuses émissions de polluants dans l'eau et dans l'air. Ils sont basés sur la méthode des volumes critiques, méthode sujette à critique. Les faiblesses de ces indicateurs seront prises en compte lors de l'interprétation des résultats.
Pollution de l'eau	Oui	
Destruction d'ozone stratosphérique	Non	Cet indicateur de couvre pas une problématique pertinente pour les systèmes étudiés.
Eutrophisation	Non	Indicateur perçu comme redondant avec l'indicateur de pollution de l'eau, qui agrège davantage de flux que l'indicateur d'eutrophisation.
Formation d'ozone photochimique	Oui	Le transport est une problématique forte liée au stockage. Cet indicateur permet la prise en compte des émissions de combustion (NOx, hydrocarbures, etc.) non couvertes par l'indicateur de changement climatique.
Acidification atmosphérique	Non	Les problématiques de combustion de carburant sont déjà prises en compte par les indicateurs formation d'ozone photochimique et changement climatique. Dans un souci de simplification, il a été retiré.

L'indicateur **énergie primaire totale** évalue la quantité totale d'énergie que le système a mobilisée. Il s'agit d'énergie primaire, c'est-à-dire d'énergie contenue dans les ressources énergétiques extraites de l'environnement, avant toute transformation.

L'indicateur **changement climatique** permet d'évaluer la contribution des systèmes étudiés à l'augmentation de la teneur en gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ces gaz tendent à influencer le climat terrestre, entraînant en particulier une hausse de la température moyenne. L'indicateur est exprimé en kg équivalent CO<sub>2</sub>. Les principaux gaz à effet de serre émis par les activités humaines sont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et le méthane (CH<sub>4</sub>).

Les indicateurs **pollution de l'air** et **pollution de l'eau** ont pour but l'évaluation des impacts toxiques et écotoxiques des émissions dans l'air et dans l'eau. Les principaux contributeurs sont les métaux lourds, les particules et les composés organiques persistants. Ces indicateurs sont exprimés en mètre cube (m<sup>3</sup>) d'air ou d'eau nécessaire pour diluer les émissions jusqu'à obtenir les concentrations limites fixées par la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement.

L'indicateur **formation d'ozone photochimique** permet d'évaluer la contribution à la formation d'ozone troposphérique de substances émises dans l'air. Certains composés, comme les oxydes d'azote et ou les hydrocarbures, se combinent en effet à l'oxygène sous l'effet du rayonnement solaire pour former de l'ozone, et ce d'autant plus que la température est élevée (phénomène de « pics d'ozone » en été). L'ozone a des conséquences néfastes sur la santé humaine et sur les écosystèmes. L'indicateur s'exprime en kg équivalent éthylène (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), substance de référence.

Le tableau 2.3-d rappelle la méthodologie employée et les indicateurs générés pour chacun des périmètres.

**Tableau 2.3-d. Rappel de la méthodologie utilisée et des indicateurs choisis dans chaque périmètre.**

	<b>Périmètre restreint</b> <i>Gate-to-gate</i>	<b>Périmètre cycle de vie</b> <i>Cradle-to-grave</i>
<b>Méthodologie</b>	AFME	AFME + ACV
<b>Indicateurs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantité d'intrants pour le stockage d'une palette pendant un mois, par type de matière</li> <li>Quantité d'extrants générés pour le stockage d'une palette pendant un mois, par type de déchet</li> <li>Quantité d'énergie mobilisée pour le stockage d'une palette pendant un mois</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Demande d'énergie primaire pour le stockage d'une palette pendant un mois</li> <li>Impact sur le changement climatique du stockage d'une palette pendant un mois</li> <li>Impact sur la formation d'ozone photochimique du stockage d'une palette pendant un mois</li> <li>Impact sur la formation d'ozone photochimique du stockage d'une palette pendant un mois</li> <li>Impact sur la pollution de l'air du stockage d'une palette pendant un mois</li> <li>Impact sur la pollution de l'eau du stockage d'une palette pendant un mois</li> </ul>

### 2.3.3.Éléments hors du champ de l'étude

Le tableau 2.3-e présente les éléments qui ont été écartés du champ de l'étude.



**Tableau 2.3-e. Description des éléments mis hors du champ de l'étude et justification de ces choix.**

Hors du champ de l'étude	Options concernées	Justification
<i>Infrastructures</i> : fabrication, transport, maintenance et fin de vie des routes, camions, machines outils et équipements de manutention (chariots élévateurs, racks, etc.)	Toutes	Pour réduire la complexité de l'étude des systèmes, les infrastructures ont été écartées du champ de l'étude. Ces éléments ne semblaient pas discriminants entre les différents systèmes.
<i>Administration</i> : consommations matérielles et énergétiques nécessaires au fonctionnement administratif (facturation, gestion de la main d'œuvre, gestion des stocks, etc.)	Toutes	Ces éléments sont écartés, suivant les recommandations méthodologiques de la norme NF PP 01-010.
<i>Manutention</i> : transport des marchandises intrasites et manutention des marchandises à l'intérieur des espaces de stockage (consommations énergétiques des chariots élévateurs, des tapis roulant automatiques, etc.)	Toutes	<p>La manutention des marchandises est une étape nécessaire dans les trois options.</p> <p>Dans le scénario 1, il a été estimé que la différence de consommation énergétique liée à la manutention des marchandises est négligeable (moins d'0,1%) par rapport à la différence de consommation énergétique générée par le transport des palettes vers la plateforme logistique.</p> <p>Dans le scénario 2, la structure et le bâtiment sont tous deux installés sur le même site, et sont de dimensions comparables. Il a été estimé que la consommation énergétique générée par le déplacement intra-site des palettes et leur manutention serait semblable et ne donnerait lieu à aucune différence notable entre les deux options.</p>
<i>Chauffage et éclairage</i> : Consommations matérielles et énergétiques nécessaires à l'éclairage et au chauffage	Toutes	<p><i>Chauffage</i> : Il est supposé que les marchandises ne nécessitent pas d'être maintenues à une quelconque température. Il est aussi supposé que les options « structure métallo-textile » et « simple entrepôt » ne nécessitent pas la présence permanente de personnel dans l'espace de stockage. Les structures métallo-textiles, de part leur toiture en toile blanche, permettent d'ailleurs de bénéficier dans une certaine mesure d'un chauffage naturel par effet de serre. En revanche, un entrepôt logistique doit être maintenu dans une certaine plage de température pour le personnel qui y travaille. Le chauffage éventuel qui s'y produit a été écarté du périmètre d'étude, conformément à l'approche comparative adoptée.</p> <p><i>Eclairage</i> : Les structures métallo-textiles ne nécessitent généralement pas d'éclairage car les toiles de toiture permettent de bénéficier de la lumière naturelle. En revanche, les bâtiments des deux autres options ont une toiture en acier, et nécessitent donc un éclairage. Conformément à l'approche comparative choisie, cette consommation électrique a été écartée.</p>

Lavage d'autres éléments que les toiles	Option « structure métallo-textile »	Le lavage des profilés d'aluminium, des pièces d'acier ou du bardage métallique sont des événements rares, non représentatifs de l'activité habituelle de Locabri.
Maintenance des bâtiments	Option « prestation logistique » et « simple entrepôt »	Les dépenses énergétiques et matérielles liées à la maintenance des bâtiments ont été écartées d'une part à cause d'un manque de données, d'autre part car ce choix était conforme à l'approche comparative choisie.
Emissions lors de la construction / démolition (particules liés au mouvement des matériaux).	Option « prestation logistique » et « simple entrepôt »	Ces émissions ont été écartées d'une part à cause d'un manque de données, d'autre part car ce choix était conforme à l'approche comparative choisie.
Matériaux et énergie nécessaires à la construction des infrastructures autour du bâtiment logistique (route, parking, etc.)	Option « prestation logistique »	L'étude ne prend pas en compte ces infrastructures annexes, à cause de leur grande variabilité. Ce choix est en outre conforme à l'approche comparative adoptée.
Matériaux et énergie nécessaire à la construction de la dalle / du revêtement goudronnée sur lequel repose le bâtiment / la structure	Toutes	Pour l'option « structure métallo-textile », l'hypothèse est faite que l'entreprise possède déjà une surface adéquate.  Afin de ne pas désavantager les autres options, on ne prend pas en compte la construction de la dalle sur laquelle repose le bâtiment. Ce choix avantage même ces options, puisqu'une dalle en béton nécessite davantage de matière et d'énergie qu'un simple sol goudronné. Ce choix est donc conforme à l'approche comparative adoptée.
Recyclage des matériaux	Toutes	Pour cette étude, il a été choisi d'utiliser la méthode dite « des stocks ». Dans cette méthode, un déchet qui sera valorisé sort du périmètre d'étude à partir du moment où il rejoint sa filière de valorisation. Seule l'étape de transport, depuis le lieu de production du déchet jusqu'au point de départ de la filière de valorisation est pris en compte. Ce choix a été fait pour deux raisons.  - Cette méthode est la méthode recommandée par la NF P01-010 (AFNOR, 2004).  - La méthode n'alloue aucun bénéfice au cycle de vie donnant lieu à des déchets recyclés. Dans l'option « structure métallo-textile », tous les matériaux sont recyclés, alors que seule une partie des matériaux des autres options le sont. Le choix d'une telle méthode est donc plus défavorable à l'option « structure métallo-textile » qu'aux autres, conformément à l'approche comparative adoptée.

### 2.3.4.Représentativité des données

La majorité des données du périmètre restreint sont des données primaires collectées entre avril et septembre 2012. Pour le périmètre élargi, des données primaires et secondaires ont été choisies. Le tableau 2.3-f synthétise les diverses origines des données primaires. Les données secondaires sont majoritairement issues de

la base de données Ecoinvent 2.2. De plus, quelques données ont été extraites de la base Iniès<sup>†</sup>, base de données regroupant les fiches de déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction (FDES).

**Tableau 2.3-f. Origine des données utilisées.**

Option	Origines des données	Type de collectes
Structure métallo-textile	Locabri	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entretiens et discussions avec le chef d'entreprise et différents employés (services développement durable, marketing, sécurité, tournées, préparation, atelier fers et atelier toile, bureau d'étude)</li> <li>- Consultations de factures et divers documents comptables</li> <li>- Extraction de données du logiciel de gestion interne</li> <li>- Visite d'un chantier de pose d'une structure</li> <li>- Visite des ateliers de production et de réparation des pièces en toiles et des composants métalliques</li> </ul>
	Serge Ferrari	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entretiens et discussions avec différents employés</li> <li>- Consultation de fiches techniques</li> <li>- Utilisation des données d'inventaire collectées lors de la réalisation de l'analyse de cycle de vie des toiles Serge Ferrari par EVEA en 2008 (EVEA, 2008)</li> </ul>
	LDC Nettoyage	- Envoi d'un questionnaire
	Marcelli	- Discussion téléphonique
	Ecoinvent 2.2	- Utilisation de la base de données
	INIES	- Consultation de la base de données
Prestation logistique et simple entrepôt	Locabri	- Utilisation de données fournies par le bureau d'étude
	Serge Ferrari	- Visite du service logistique et entretien avec le responsable du service
	Patrick DEVERAUX architecture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation de données issues d'une étude technique.</li> <li>- Entretiens</li> </ul>
	Ecoinvent 2.2	- Utilisation de la base de données
	INIES	- Consultation de la base de données

L'exigence de données robustes la plus forte a été placée sur l'option « structure métallo-textile ». Les données des autres options sont elles aussi principalement issues de Locabri. Des analyses de sensibilités ont été effectuées sur ces données, et d'autres jeux de données concernant les bâtiments ont été testés (voir section 4.2.2).

<sup>†</sup> Site internet de la base Iniès : <http://www.iniès.fr/> [dernier accès : 20/09/2012]



# 3. INVENTAIRE DE CYCLE DE VIE



### 3.1. Périmètre restreint

La modélisation a été réalisée avec le logiciel Umberto®. Cet outil permet la construction de réseaux de flux de matière et d'énergie basée sur le principe des réseaux de Petri (Petri, 1966).

Ces flux transitent par des « transitions », dans lesquelles l'utilisateur spécifie une relation, linéaire ou non, entre les entrées et les sorties.

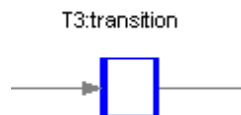


Figure 3.1-a. Représentation schématique d'une transition dans le logiciel Umberto®

La modélisation des trois options a été réalisée selon un même modèle, entièrement paramétré. Cette section détaille la modélisation de chacune des options ainsi que les données utilisées. Pour expliquer la modélisation, des notations mathématiques sont utilisées, dont voici les conventions choisies.

- Les transitions sont notées entre parenthèses avec une majuscule (par exemple « Transition »)
- On identifie les vecteurs avec leur écriture dans leur base canonique. Ainsi un vecteur est identifiable à une matrice à une ligne. Les matrices et vecteurs sont notés en gras (par exemple : **X**).
- Lorsqu'un vecteur (a fortiori une matrice) n'a qu'un seul composant scalaire, il est identifié à ce scalaire (X).
- Un scalaire ou un vecteur en italique (*X* ou **X**) correspond à un flux : c'est une grandeur massique (en kg) ou énergétique (en kWh) qui est transmis d'une transition à une autre, qui entre dans le système, ou sort de celui-ci.
- Tout scalaire ou vecteur qui n'est pas en italique est un paramètre (*X* ou **X**). Ces paramètres sont déduits des jeux de données et permettent le calcul des flux.
- Les composants d'une matrice peuvent être des grandeurs physiques. Lorsque ces matrices sont écrites sous forme matricielle, l'unité est écrite une seule fois après la matrice. Par exemple (3 2) kg est un vecteur donc le premier composant est 3 kg, le deuxième 2 kg. Les vecteurs et matrices seront construits de manière à être homogène (une seule unité par matrice ou vecteur).

L'objectif de cette modélisation est que tous les flux de matière et d'énergie du périmètre restreint puissent être calculés à partir d'un flux entrant virtuel représentant la demande, dont les caractéristiques sont données dans un jeu de paramètres (durée de la prestation, nombre de palettes, taux de rotation, etc.).

Pour chaque option, la modélisation est présentée généralement, puis chaque transition est définie mathématiquement, en introduisant des paramètres. Ces paramètres sont ensuite déterminés en utilisant les données collectées lors de l'étude. Enfin une application numérique est réalisée.

Voici un exemple :

Soit « Transition » la transition qui calcule un vecteur de flux sortant **Y** et un flux entrant **Z** à partir du vecteur de flux d'entrée **X**. On définit **P** un vecteur de paramètre. La transition est définie par :

$(Y, Z) = \text{Transition}(\mathbf{X})$  avec

$$\begin{cases} \mathbf{Y} = \mathbf{X} \\ Z = \mathbf{X} * \mathbf{P} \end{cases}$$

**P** est déduit du des données, puis les valeurs numériques de **Y** et **Z** sont calculées en utilisant la valeur de **X** précédemment déterminée par une autre transition.

Cette structure peut donner l'impression qu'un processus de modélisation linéaire a été suivi : une fois le modèle choisi et les paramètres définis, les données sont collectées afin de calibrer ces paramètres. En réalité, c'est bien un processus itératif qui a été suivi, la nature et la disponibilité des données ayant grandement influencé les choix de modélisation.

Dans ce chapitre, l'ordre avec lequel les options sont présentées ne suit pas l'ordre adopté jusqu'à présent (scénario 1 – structure métallo textile, scénario 1 – prestation logistique, scénario 2 – structure métallo textile, scénario 2 – entrepôt simple). Par commodité, les options « « structure métallo-textile » des scénarios 1 et 2 ont été regroupée dans la première partie. Dans la deuxième partie, c'est l'option « entrepôt simple » du scénario 2 qui est présenté avant l'option « prestation logistique ». Ceci s'explique par le fait que la modélisation de « prestation logistique » est plus complexe que celle de « entrepôt simple ». Présenter d'abord « entrepôt simple » permet d'expliquer la modélisation de la construction du bâtiment, avant d'ajouter la dimension logistique de « prestation logistique ».



### 3.1.1. Structure métal-textile

#### 3.1.1.1. Présentation du modèle

##### 3.1.1.1.1. Vue globale

La « brique » du périmètre restreint de cette option est représenté figure 3.1-a.

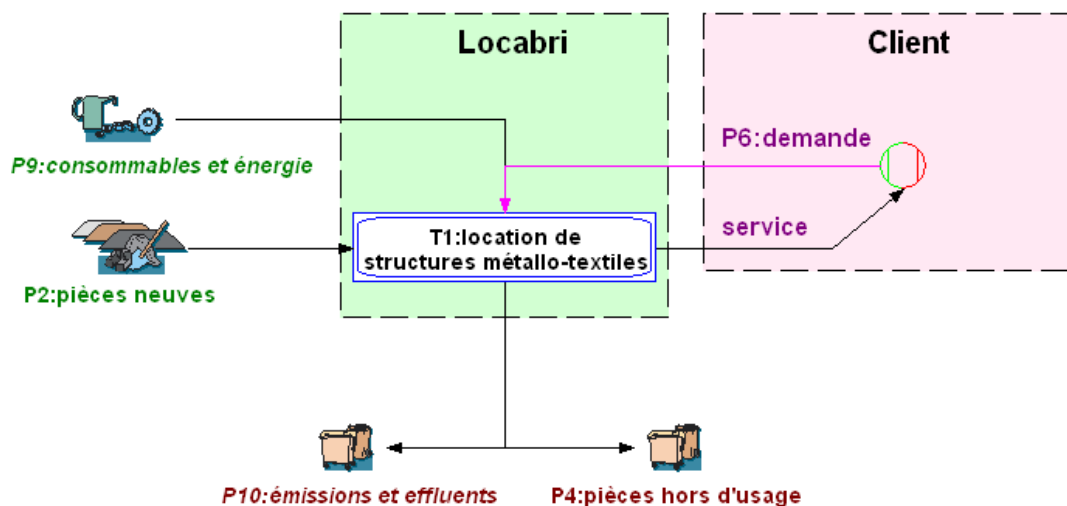


Figure 3.1-b. La brique élémentaire Locabri du périmètre restreint dans le logiciel Umberto©

Les intrants de l'activité de location de structures métal-textiles peuvent être regroupés en deux familles de flux :

- les flux de pièces neuves utilisées dans les structures : pièces en acier et acier galvanisé, profilés d'aluminium, pièces de toiles ;
- les consommables : le carburant utilisé par les camions et les machines outils, le détergent et l'eau utilisés pour le nettoyage des toiles, l'électricité liée à la gestion des pièces.

De même, on peut distinguer, pour les extrants :

- les pièces en fin de vie ;
- un flux d'effluent et un flux de CO<sub>2</sub> lié à la combustion du carburant. En réalité, bien d'autres substances que le CO<sub>2</sub> sont émises (CO, SO<sub>2</sub>, particules, etc.). Dans le périmètre restreint, seul les flux de CO<sub>2</sub> sont calculés, à titre indicatif. L'ensemble des émissions seront pris en compte dans le périmètre élargi.

Ces flux de matière et d'énergie sont ceux permettant de fournir le service : stocker 320 palettes pendant 6 mois dans le scénario 1, et 770 palettes pendant 18 mois dans le scénario 2. Ce service est modélisé par un flux virtuel en palette.mois (flèche rose de la figure 3.1-b).

Tous ces flux sont générés en réponse à une demande, modélisée par un flux virtuel. Ce flux est sans grandeur, il vaut 1 si la demande a eu lieu, 0 sinon. Les caractéristiques de la demande sont données en paramètre.

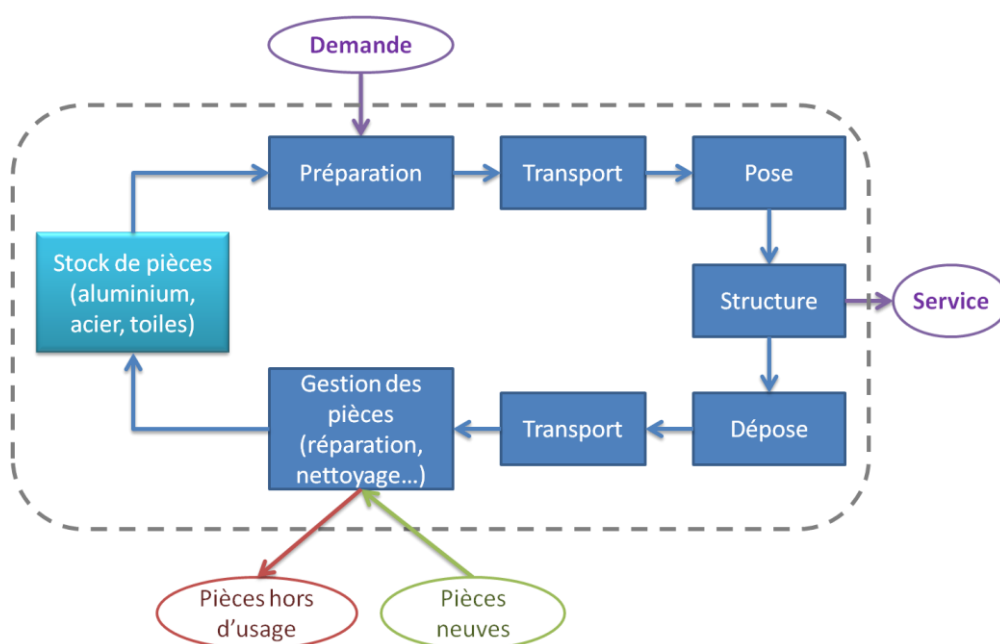
L'ensemble des intrants et extrants de ce périmètre est récapitulé dans le tableau 3.1-a.

**Tableau 3.1-a. Intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « structure métallo-textile »**

Intrants	Extrants
Demande (sans unité)	Service rendu (palettes.mois)
Profilés d'aluminium neufs (kg)	Profilés d'aluminium en fin de vie (kg)
Pièces neuves en acier (kg)	Pièces acier en fin de vie (kg)
Tôles neuves (kg)	Tôles en fin de vie (kg)
Pièces neuves en toile Ferrari 502 (kg)	Pièces toile Ferrari 502 en fin de vie (kg)
Pièces neuves en toile Ferrai 602 (kg)	Pièces toile Ferrai 602 en fin de vie (kg)
Carburant diesel (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)
Electricité (kWh)	Effluent (kg)
Eau (kg)	
Détergent (kg)	

### 3.1.1.1.2. Modélisation de l'activité de location

Le modèle décrivant ce système est présenté dans le diagramme 3.1-a.



**Diagramme 3.1-a. Modèle du périmètre restreint de l'option « structure métallo-textile ».** Les flux de consommables ne sont pas représentés.

Locabri, dont les locaux se trouvent à Brignais (69), reçoit une **demande**. Suivant le besoin, les équipes de Locabri conviennent avec le client des caractéristiques de la structure. Les pièces nécessaires à l'assemblage de la structure sont prélevées dans le **stock** de pièces. C'est la **préparation**. Cet ensemble de pièces est chargé dans un camion puis **transporté** jusqu'au site convenu, généralement celui du client. Là a lieu l'assemblage de la structure, appelée **pose**. La **structure**, une fois montée, permet de rendre le **service**. Une fois le besoin en stockage satisfait, une équipe est envoyée pour procéder à la **dépose**. Les pièces sont ensuite **transportées** jusqu'à Locabri. Là a lieu l'étape de **gestion des pièces**. Les pièces sont vérifiées, triées, certaines sont réparées, d'autres mises au rebut, remplacées par des pièces neuves. Les toiles sont nettoyées. L'ensemble des pièces ainsi remises en état sont réintégrées au stock.

### 3.1.1.1.3. L'hypothèse de régime permanent pour mesurer l'impact d'un service

Ce modèle consiste donc en une boucle. Cette boucle permet de fournir le service, grâce à un apport énergétique (par exemple le carburant utilisé pour le transport des pièces et la pose de la structure). C'est l'étape 1 du diagramme 3.1-b.

Lors de la réalisation du service, les matériaux se dégradent (effet du temps, casse, etc.), si bien qu'au retour du chantier de dépose, le stock de Locabri est globalement dégradé par rapport à son état initial. Un certain nombre d'opérations est alors nécessaire afin de rétablir la quantité et la qualité du stock (réparation, nettoyage, etc.). Ces opérations nécessitent un apport énergétique, un apport en consommables, mais aussi la mise au rebut de certaines pièces devenues hors d'usage et l'obtention de nouvelles pièces. C'est l'étape 2 du diagramme 3.1-b.

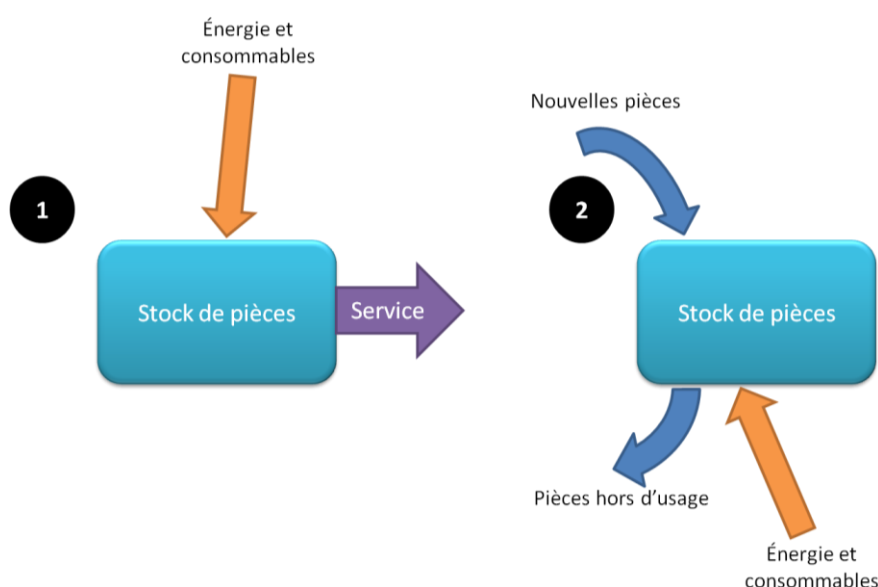


Diagramme 3.1-b. Les deux étapes à prendre en compte pour mesurer l'impact d'un service

Ainsi, pour mesurer l'impact du service, il est nécessaire de placer le système en **régime permanent**. Cela signifie que l'état du stock à l'état final (après le rendu du service) doit être le même qu'à l'état initial (avant le rendu du service). Il faut donc prendre en compte les consommations de l'étape 1, mais aussi celles de l'étape 2 permettant de rétablir l'état du stock de pièces.

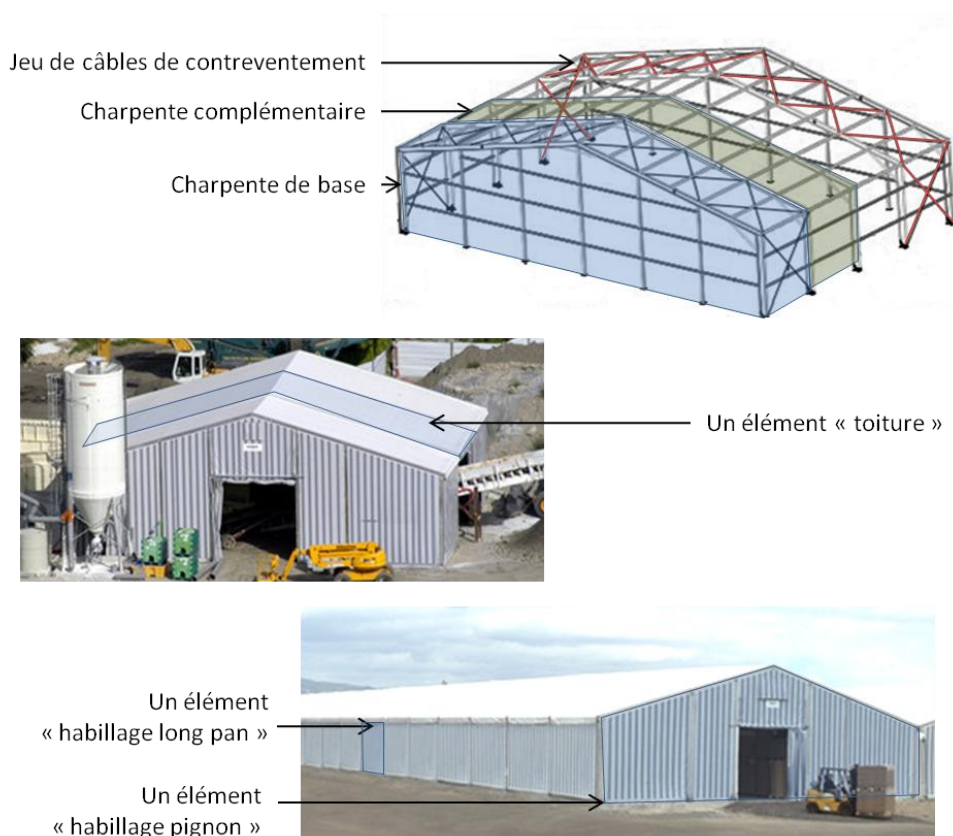
### 3.1.1.2. Modélisation des structures

#### 3.1.1.2.1. Décomposition des structures en éléments de base

Une structure est décomposée en six éléments :

- la charpente de base (première travée de cinq mètres) ;
- des charpentes complémentaires (travées de cinq mètres supplémentaires) ;
- des jeux de câbles de contreventement (un jeu toutes les trois travées) ;
- deux habillages « pignon » (un à l'avant et un à l'arrière de la structure) ;
- des habillages « long pan » sur les côtés de la structure (deux par charpente) ;
- des « toitures » (autant que de charpentes).

La figure 3.1-c montre ces six éléments sur un schéma et deux photos de structures.



**Figure 3.1-c. Les six éléments composant une structure métallo-textile. Photos Locabri©**

Chacun de ces éléments est lui-même composé d'un certain nombre de pièces (montants, goupilles, pièces de toile, etc.). La composition de chaque élément varie suivant la gamme de la structure, sa portée et sa hauteur. La composition des habillages pignon et long pan varie en particulier en fonction du type d'habillage : toile (on parle structure toilée, notée T) ou tôle (on parle de structure bardée, notée B).

Des ouvertures peuvent être placées. Dans cette étude, on choisit des structures avec une seule ouverture : un rideau coulissant pour les structures toilées, un portail pour les structures bardées. Ces choix semblent justifiés pour le stockage, chaque ouverture supplémentaire réduisant la capacité de stockage.

Cette décomposition en éléments de base puis en pièces de base, schématisée dans le diagramme 3.1-c, est celle utilisée par Locabri. Lorsqu'une structure est dimensionnée, le nombre de chacun de ces éléments de base est déterminé. La composition de chacun de ces éléments étant connus, la liste des pièces de base à prélever du stock peut facilement être générée.

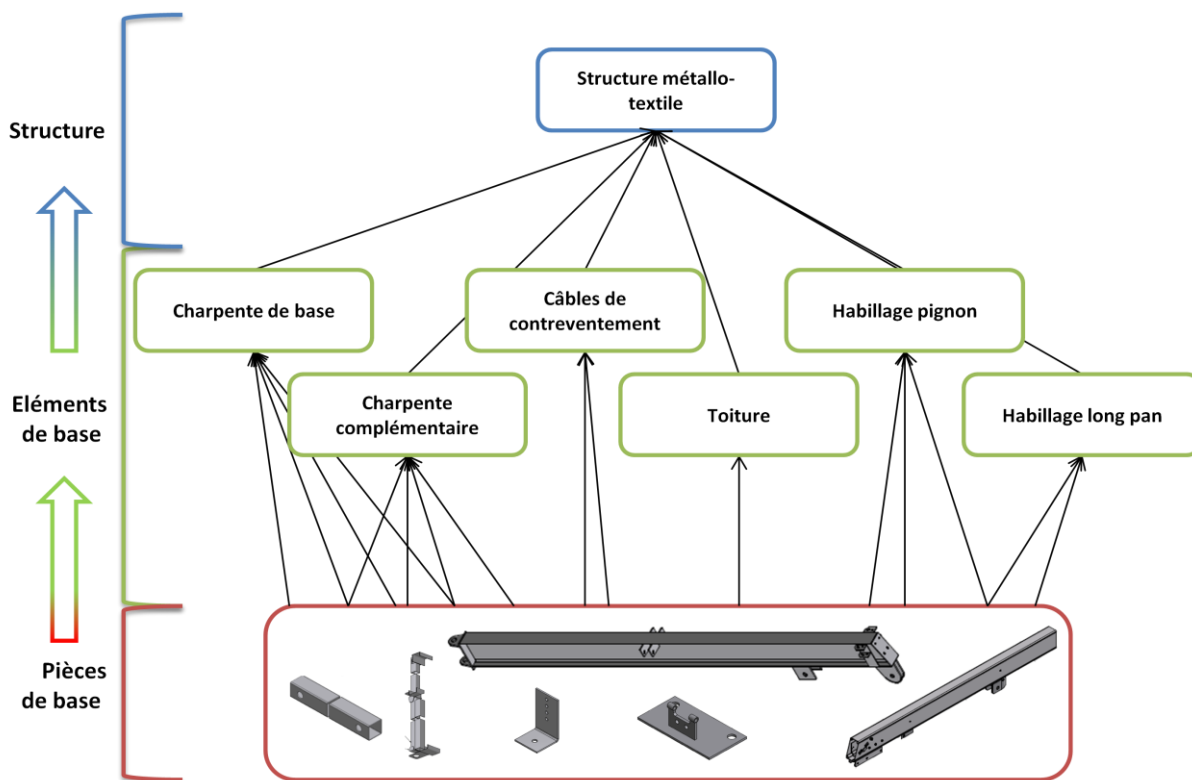


Diagramme 3.1-c. Schéma montrant la décomposition d'une structure en éléments en base et en pièces de base

Soit  $M$  le nombre de module constituant une structure. Soit  $B$  un paramètre qui vaut 1 si la structure est bardée, 0 si elle est toilée. Le nombre d'éléments constituant la structure peut être calculé de la façon suivante :

Tableau 3.1-b. Calcul du nombre d'éléments composant une structure de  $M$  module, bardée ( $B=0$ ) ou toilée ( $B=1$ )

Élément	Formule
Charpente de base	1
Jeu de câble	$E(M/3)+1^{\S}$
Toiture	$M$
Charpente complémentaire T	$(1-B).(M-1)$
Pignon habillage T	$(1-B).2$
Long pan habillage T	$(1-B).2.M$
Charpente complémentaire B	$B.(M-1)$
Pignon habillage B	$B.2$
Long pan habillage B	$B.2.M$

Ce tableau forme un vecteur, appelé  $\mathbf{V}(M ; B)$ , dit vecteur de formation. C'est un vecteur à 9 composants :

$$(1 \quad E(M/3) + 1 \quad M \quad (1 - B) * (M - 1) \quad (1 - B) * 2 \quad (1 - B) * 2 * M \quad B * (M - 1) \quad B * 2 \quad B * 2 * M)$$

<sup>§</sup>  $E$  est la fonction qui à un réel associe sa partie entière.

Le tableau 3.1-c présente la composition par éléments des deux structures étudiés dans les scénarios de référence.

**Tableau 3.1-c. Décomposition en éléments de base des deux structures étudiées dans les scénarios, avec ou sans bardage métallique**

Élément	MG4x15x25		MG4x20x40	
	Toilée V(5 ;0)	Bardée V(5 ;1)	Toilée V(8 ;0)	Bardée V(8 ;1)
Charpente de base	1	1	1	1
Jeu de câble	2	2	3	3
Toiture	5	5	8	8
Charpente complémentaire toilée	4	0	7	0
Pignon habillage toilé	2	0	2	0
Long pan habillage toilé	10	0	16	0
Charpente complémentaire bardée	0	4	0	7
Pignon habillage bardé	0	2	0	2
Long pan habillage bardé	0	10	0	16

On rappelle la convention décrite section 2.2.2.1 pour la description des structures :

‘GAMME’x‘PORTEE’x‘LONGUEUR-HABILLAGE’

- où GAMME = AB3 pour les Abritex (qui ont pour hauteur 3 mètres), MG4 pour les Megatex de hauteur 4 mètres et MG5 pour les Megatex de hauteur 5 mètres ;
- PORTEE = 5, 10, 15, 20 mètres ;
- LONGUEUR est un multiple de 5 ;
- HABILLAGE = T si la structure est toilée, B si elle est bardée.

Par exemple MG4x15x25-T correspond à une structure toilée de type Megatex, de hauteur 4 mètres, de portée 15 mètres et de longueur 25 mètres.

### 3.1.1.2.2. Décomposition des éléments de bases en flux de matières

#### 3.1.1.2.2.1. Définition de « matrices de composition » des structures

Dans le modèle, chaque élément de base est caractérisé par la quantité de matériaux qu’il contient :

- la masse d’aluminium,
- la masse d’acier,
- la masse de tôle,
- la masse de toile Ferrari 502,
- la masse de toile Ferrari 602.

Les éléments de base diffèrent généralement en fonction de la gamme à laquelle ils appartiennent (Abritex, MegatexH4 ou MegatexH5), et, au sein de chaque gamme, selon la portée pour laquelle ils ont été conçus. Par exemple, l'élément « charpente de base » d'une structure de type AB3x5 est différent de celui d'une structure de type MG4x15. Toutefois, certains éléments peuvent être communs à plusieurs portées, voire à plusieurs gammes. Les toitures ne dépendent que de la portée, (la toiture MG4x20 est identique à la toiture AB3x20), les long pans ne dépendent que de la hauteur (le long pan MG4x15 est identique au long pan MG4x20).

Pour une gamme et une portée données, la composition des 9 éléments en profilés d'aluminium, pièces d'acier, tôles, toiles 502 et toiles 602 est regroupée en une matrice (9x5), dite matrice de composition, notée  $\mathbf{C}_{\text{GAMME} \times \text{PORTEE}}$ . Par exemple, la première ligne de  $\mathbf{C}_{\text{MG4} \times 15}$  donne la masse de profilés d'aluminium, de pièces d'acier, de tôles, de toiles 502 et de toiles 602 de l'élément « charpente de base ».

L'intérêt de ce formalisme matriciel que est le produit matriciel  $\mathbf{V}_{\text{GAMME} \times \text{PORTEE}}$  (M;B).  $\mathbf{C}_{\text{GAMME} \times \text{PORTEE}}$  forme un vecteur qui contient les masses de chaque catégorie de pièces contenues dans la structure décrite par le vecteur de formation. Le produit  $\mathbf{V}_{\text{MG4},15}$  (5;0).  $\mathbf{C}_{\text{MG4},15}$  permet donc de connaître la masse de la structure MG4x15x25-T par catégorie de pièces (aluminium, acier, tôle, toile 502, toile 602).

#### 3.1.1.2.2.2. Collecte des données

Pour calculer ces matrices, il faut d'abord connaître la décomposition de chaque élément en pièces élémentaires. Cette liste a été générée par Locabri (voir l'annexe 7.1.2 pour les MG4x15 et l'annexe 7.1.3 pour les MG4x20).

Une différence est à noter entre les 9 éléments utilisés pour l'étude et les éléments au sens de Locabri. En effet, Locabri possède des éléments pour les ouvertures : les « rideaux coulissants » et les « portails ». Dans l'étude, on ne souhaite pas modifier le nombre d'ouverture ; on choisit de n'avoir qu'une seule ouverture sur l'un des pignons (un rideau coulissant pour les structures toilées et un portail pour les structures bardées). Il a donc été choisi de fusionner les pignons avec les ouvertures. Puisqu'il y a toujours deux pignons par structure, l'élément « pignon toile » (resp. « pignon tôle ») au sens de l'étude contient l'élément « pignon toile » (resp. « pignon tôle ») au sens de Locabri et la moitié de l'élément « rideau coulissant » (resp. « portail »).

Pour calculer les éléments des matrices de composition, il faut ensuite connaître la nature et la masse de ces pièces élémentaires (profilé d'aluminium, pièce d'acier, tôle, toile 502 ou 602). Ces données ont été collectées de différentes manières.

- La quasi-totalité des pièces disposaient d'une fiche technique. Certaines de ces fiches donnaient la masse et la nature des pièces.
- D'autres fiches n'en donnaient que les dimensions. Dans ce cas, après validation du type de matériaux auprès du personnel de Locabri, la masse a été évaluée à partir des dimensions et de la densité des matériaux.
- Pour les quelques pièces n'ayant pas de fiches techniques, une extrapolation à partir de pièces semblables a été effectuée après consultation du personnel de Locabri.

La liste de l'ensemble des pièces nécessaires pour former les deux structures étudiées est présentée en annexe 7.1.4.  $\mathbf{C}_{\text{MG4},15}$  est représentée dans le tableau 3.1-d, et  $\mathbf{C}_{\text{MG4},20}$  est représentée dans le tableau 3.1-e.

**Tableau 3.1-d. Représentation en tableau de la matrice  $C_{MG4,15}$  contenant la masse de chaque élément d'une structure MG4x15 par catégorie de matières.**

Elément	MG4x15				
	Masse d'aluminium (kg)	Masse d'acier (kg)	Masse de tôle (kg)	Masse de toile Ferrari 502 (kg)	Masse de toile Ferrari 602 (kg)
Charpente de base	682	251	0	0	0
Jeu de câble	0	137	0	0	0
Toiture	0	0	0	0	53
Charpente complémentaire habillage toile	386	124	0	0	0
Pignon habillage toile	63	135	0	43	14
Long pan habillage toile	0	12	0	12	0
Charpente complémentaire habillage tôle	386	149	0	0	0
Pignon habillage tôle	63	277	625	0	14
Long pan habillage tôle	0	0	177	0	0

**Tableau 3.1-e. Représentation en tableau de la matrice  $C_{MG4,20}$  contenant la masse de chaque élément d'une structure MG4x20 par catégorie de matières.**

Elément	MG4x20				
	Masse d'aluminium (kg)	Masse d'acier (kg)	Masse de tôle (kg)	Masse de toile Ferrari 502 (kg)	Masse de toile Ferrari 602 (kg)
Charpente de base	1073	250	0	0	0
Jeu de câble	0	145	0	0	0
Toiture	0	0	0	0	69
Charpente complémentaire habillage toile	594	121	0	0	0
Pignon habillage toile	164	173	0	23	46
Long pan habillage toile	0	12	0	12	0
Charpente complémentaire habillage tôle	594	146	0	0	0
Pignon habillage tôle	164	419	749	0	23
Long pan habillage tôle	0	0	177	0	0



### 3.1.1.3. Préparation de la prestation

#### 3.1.1.3.1. Modélisation



Diagramme 3.1-d. Schéma des flux connectés à la transition « Préparation »

Cette étape est primordiale puisqu'il s'agit de traduire un service demandé en une quantité de matière à mobiliser. Le service demandé est caractérisé par une série de paramètres présentée dans le tableau 3.1-f.

Tableau 3.1-f. Paramètres permettant de caractériser la prestation à effectuer

Paramètre	Nom	Valeur (scénario 1)	Valeur (scénario 2)	Unité
surface demandée	SURF	375	800	m <sup>2</sup>
durée d'utilisation demandée	DUREE	0,5	1,5	années
portée demandée (15 / 20)	PORTE	15	20	m
bardage métallique (1 oui / 0 non)	BARDE	0	0	
nombre de palettes à stocker	PAL	270	660	palettes

Les caractéristiques des structures étant déjà précisées dans chaque scénario, ce paramétrage pourrait paraître superflu. En fait, elle permet de pouvoir facilement tester d'autres structures, de différentes surfaces, toilées ou bardées.

A partir de ces paramètres, la transition « Préparation » effectue les opérations suivantes :

- Amorce du calcul par la réception d'une demande de prestation, notée  $DP$ .  $DP$  est un flux virtuel qui vaut 1 si la prestation ainsi définie est effectivement demandée, 0 sinon. Ce flux est de grande importance puisqu'il permet d'amorcer le calcul.
- Calcul du nombre de modules requis pour former la surface demandée. La formule associée est :

$$\begin{cases} M = \frac{SURF}{5 \cdot PORTE} \text{ si } E\left(\frac{SURF}{5 \cdot PORTE}\right) = \frac{SURF}{5 \cdot PORTE} \\ M = E\left(\frac{SURF}{5 \cdot PORTE}\right) + 1 \text{ sinon} \end{cases}$$

Cette formule permet, dans le cas où la surface demandée et la portée demandée ne sont pas compatibles (par exemple une structure de 850 m<sup>2</sup> pour une portée de 20 m), et impliqueraient un nombre de module non entier, alors cette formule permet d'arrondir par excès ce nombre de modules.

Pour le scénario 1, la surface demandée est 375 m<sup>2</sup>, la portée demandée de 15 mètres, donc la longueur requise est de 25 mètres.  $M$  vaut donc 5.

Pour le scénario 2, la surface demandée est 800 m<sup>2</sup>, la portée demandée de 20 mètres, donc la longueur requise est de 40 mètres.  $M$  vaut donc 8.

- La connaissance de M permet de calculer le vecteur de formation  $V(M;B)$  de la structure souhaitée. Pour les scénarios de l'étude, les vecteurs de formation sont donnés dans le tableau 3.1-c.
- Les flux de pièces à mobiliser sont ensuite calculés à partir du vecteur de formation et de la matrice de composition correspondante à la gamme et la portée souhaitée.
- Ces flux sont transmis en aval ( $Y$ ) pour la tournée et le montage de la structure, ainsi qu'en amont ( $X$ ) où ces flux seront prélevés dans le stock de pièces.

La transition est donc définie de la manière suivante :

$$(Y;X) = \text{Préparation (DP) avec}$$

$$\begin{cases} X = DP * V_{\text{GAMME} \times \text{PORTEE}}(M;B) * C_{\text{GAMME} \times \text{PORTEE}} \\ Y = X \end{cases}$$

Par ce paramétrage, le modèle peut générer les résultats pour une variété de surface, avec ou sans bardage métallique, pour des MG4x15 et MG4x20.

### 3.1.1.3.2. Application numérique

#### Scénario 1 :

Demande de prestation (flux virtuel amorçant le calcul)

$$DP = 1$$

Nombre de modules nécessaires et type de bardage

$$M = 5 \text{ et } B = 0$$

Vecteur de composition

$$V(5;0) = (1 \quad 2 \quad 5 \quad 4 \quad 2 \quad 10 \quad 0 \quad 0 \quad 0)$$

Quantités à prélever dans le stock de pièces

$$X = (2351 \quad 1408 \quad 0 \quad 202 \quad 291) \text{ kg}$$

Quantités à envoyer pour le montage de la structure

$$Y = (2351 \quad 1408 \quad 0 \quad 202 \quad 291) \text{ kg}$$

#### Scénario 2 :

Demande de prestation (flux virtuel amorçant le calcul)

$$DP = 1$$

Nombre de modules nécessaires et type de bardage

$$M = 8 \text{ et } B = 0$$

Vecteur de composition

$$V(8;0) = (1 \quad 3 \quad 8 \quad 7 \quad 2 \quad 16 \quad 0 \quad 0 \quad 0)$$

Quantités à prélever dans le stock de pièces

$$X = (5559 \quad 2066 \quad 0 \quad 231 \quad 646) \text{ kg}$$

Quantités à envoyer pour le montage de la structure

$$Y = (5559 \quad 2066 \quad 0 \quad 231 \quad 646) \text{ kg}$$

### 3.1.1.1. Pose de la structure

#### 3.1.1.1.1. Modélisation

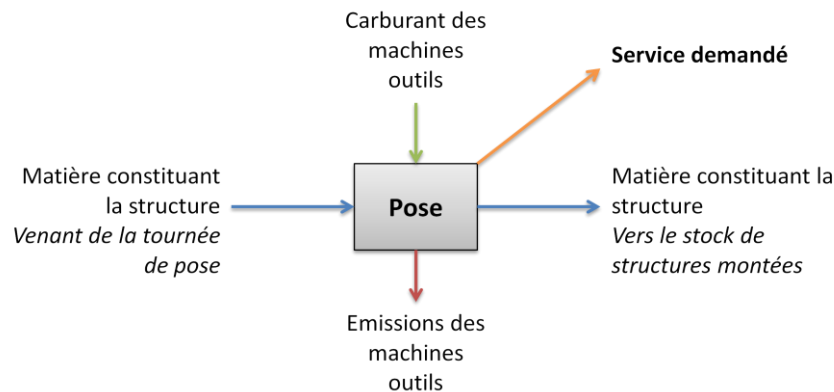


Diagramme 3.1-e. Schéma des flux connectés à la transition « Pose »

La transition « Pose » modélise l’installation de la structure. Le flux de pièce entrant (**X**) est transmis en aval (**Y**) sans modification. En effet, les quantités de pièces ne sont pas modifiées, les pièces sont simplement assemblées. Cet assemblage mobilise un flux de carburant (noté *Carburant*) utilisé dans les machines outils et dans des groupes électrogènes et génère un flux de CO<sub>2</sub> (noté *CO2*). L’acheminement des machines outils sur le lieu d’installation est hors périmètre (cf section 2.3.3).

La quantité de carburant dépend de l’utilisation des machines outils. Sur un chantier, un groupe électrogène ainsi que trois types de machines outils sont généralement utilisés :

- un chariot élévateur de chantier 2,5 t ;
- un chariot télescopique/manuscopique 9 m ou 12 m ;
- une nacelle / plateforme 10 m.

L’utilisation des machines dépend de nombreux facteurs : le type de structure, la topographie, la proximité avec d’autres bâtiments, des exigences de sécurité. Généralement, dans des conditions standards, la pose et la dépose d’une mégatex de hauteur 4 mètres nécessitent l’utilisation d’un groupe électrogène, d’un chariot élévateur de chantier, d’un chariot manuscopique ; une nacelle est nécessaire lorsque la longueur de la structure excède 20 mètres et que le bardage est métallique.

On construit deux vecteurs de paramètres et un paramètre scalaire.

- un vecteur de consommation en diesel des 4 machines, **C<sub>machines</sub>**. Chaque composant correspond à la consommation journalière moyenne de la machine lors du montage d’une structure, en kg/jour.

$$(C_{gr\_électrogène} \quad C_{chariot} \quad C_{manusco} \quad C_{nacelle})$$

- un vecteur d’utilisation des machines. **U<sub>machines</sub>**. Chaque composant correspond au nombre de jours durant laquelle il faut mobiliser la machine pour le montage de la structure souhaitée. Ce vecteur dépend du type et des dimensions de la structure.

$$(U_{gr\_électrogène} \quad U_{chariot} \quad U_{manusco} \quad U_{nacelle})$$

- Le flux de CO<sub>2</sub> est calculé à partir de la quantité de carburant consommée. On note *E* la quantité de CO<sub>2</sub> générée par la combustion d’un kilogramme de carburant (en kg/kg).
- En outre, la transition génère un flux virtuel de service (*Service*) en palette.mois.

La transition est définie de la manière suivante (on note  $^T\mathbf{M}$  la transposée de la matrice  $\mathbf{M}$ ) :

$(Y; Carburant; CO_2; Service) = \text{Pose}(X)$  avec

$$\begin{cases} Y = X \\ Carburant = \mathbf{U}_{\text{machine}} * {}^T\mathbf{C}_{\text{machine}} \\ CO_2 = E * Carburant \\ Service = PAL * (DUREE * 12) \end{cases}$$

### 3.1.1.1.2. Collecte et traitement des données

Les groupes électrogènes appartiennent à Locabri. Les machines outils sont quant à elles mises à disposition par le client ou bien louées auprès d'entreprises spécialisées, généralement Loxam ou Kiloutou. Les factures émises par Loxam pendant les mois de novembre et décembre 2011 ont été analysées pour déceler les consommations moyennes journalières. Les données collectées sont présentées dans le tableau 3.1-g.

**Tableau 3.1-g. Données collectées pour la pose des structures**

Donnée	Valeur	Source
Consommation journalière du groupe électrogène (L/jour)	2	Communication personnel Locabri
Consommation journalière du chariot élévateur (L/jour)	12	Moyenne sur 20 factures (voir annexe 7.1.5)
Consommation journalière du chariot manuscopique (L/jour)	10	Moyenne sur 20 factures (voir annexe 7.1.5)
Consommation journalière de la nacelle (L/jour)	6	Moyenne sur 19 factures (voir annexe 7.1.5)
Durée de pose d'une MG4x15x25 (jour)	1	Entretien avec des employés de Locabri
Durée de pose d'une MG4x20x40 (jour)	2	Entretien avec des employés de Locabri
Emissions de CO <sub>2</sub> dues à la combustion de diesel dans machines (kg/kg)	3,12	Ecoinvent 2.2 – donnée « diesel, burned in building machine »
Masse volumique du diesel (kg/L)	0,84	à 15°C (température de référence)

Ces données permettent d'évaluer les paramètres du modèle :

$$E = 3,12 \text{ kgCO}_2 \text{ par kgCarburant}$$

$$\mathbf{C}_{\text{machine}} = (1,7 \quad 10 \quad 8,4 \quad 5,0) \text{ kg/jour}$$

$$\mathbf{U}_{\text{machine}} = \begin{cases} (1 & 1 & 1 & 1 * B) \text{ jours pour le scénario1} \\ (2 & 2 & 2 & 2 * B) \text{ jours pour le scénario2} \end{cases}$$

B vaut 1 si la structure est bardée, 0 sinon

### 3.1.1.1.3. Application numérique

Scénario 1 :

Quantités de pièces assemblées dans la structure

	$Y = (2351 \ 1408 \ 0 \ 202 \ 291) \text{ kg}$
Nombre de jours d'utilisation des machines outils	
	$U_{\text{machine}} = (1 \ 1 \ 1 \ 0) \text{ jours}$
Quantités de carburant consommé dans les machines outils pour la pose	
	$\text{Carburant} = 20 \text{ kg}$
Emissions de CO <sub>2</sub>	
	$\text{CO}_2 = 63 \text{ kg}$
Service rendu par la prestation	
	$\text{Service} = 320 * 12 = 3840 \text{ palettes. mois}$
<i>Scénario 2 :</i>	
Quantités de pièces assemblées dans la structure	
	$Y = (5559 \ 2066 \ 0 \ 231 \ 646) \text{ kg}$
Nombre de jours d'utilisation des machines outils	
	$U_{\text{machine}} = (2 \ 2 \ 2 \ 0) \text{ jours}$
Quantités de carburant consommé dans les machines outils pour la pose	
	$\text{Carburant} = 40 \text{ kg}$
Emissions de CO <sub>2</sub>	
	$\text{CO}_2 = 1,3.10^2 \text{ kg}$
Service rendu par la prestation	
	$\text{Service} = 770 * 36 = 27\ 720 \text{ palettes. mois}$

### 3.1.1.1. Dépose de la structure

#### 3.1.1.1.1. Modélisation

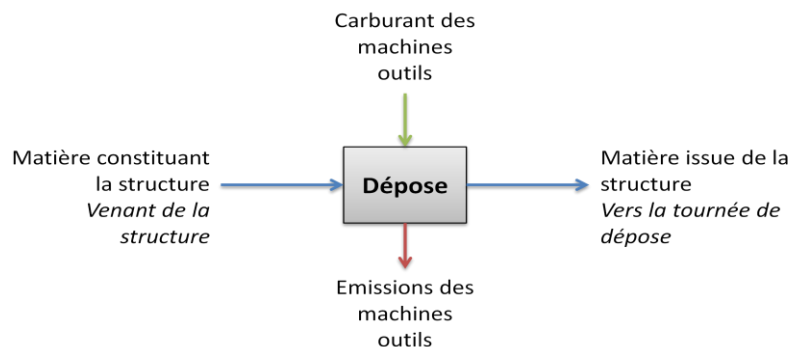


Diagramme 3.1-f. Schéma des flux connectés à la transition « Dépose »

La transition « Dépose » modélisant la dépose de la structure est bâtie sur le modèle de la transition « Pose ». Le flux de pièce entrant ( $X$ ) est transmis en aval ( $Y$ ) sans modification. On suppose que l'utilisation des machines est identique à la pose. La transition est donc définie de la manière suivante :

$(Y; \text{Carburant}; \text{CO}_2) = \text{Dépose}(X)$  avec

$$\begin{cases} Y = X \\ \text{Carburant} = U_{\text{machine}} \cdot {}^T C_{\text{machine}} \\ \text{CO}_2 = E. \text{Carburant} \end{cases}$$

### 3.1.1.1.2. Application numérique

#### Scénario 1 :

Quantités de pièces issues de la dépose de la structure

$$Y = (2351 \ 1408 \ 0 \ 202 \ 291) \text{ kg}$$

Quantités de carburant consommé dans les machines outils pour la dépose

$$\text{Carburant} = 20 \text{ kg}$$

Emissions de CO<sub>2</sub>

$$\text{CO}_2 = 63 \text{ kg}$$

#### Scénario 2 :

Quantités de pièces issues de la dépose de la structure

$$Y = (5559 \ 2066 \ 0 \ 231 \ 646) \text{ kg}$$

Quantités de carburant consommé dans les machines outils pour la dépose

$$\text{Carburant} = 40 \text{ kg}$$

Emissions de CO<sub>2</sub>

$$\text{CO}_2 = 1,3 \cdot 10^2 \text{ kg}$$

### 3.1.1.2. Tournées

#### 3.1.1.2.1. Modélisation

Les tournées interviennent à deux reprises : pour la pose (le matériel est charrié depuis Brignais vers le site du client), puis pour la dépose un ou trois ans plus tard suivant le scénario (le matériel est charrié depuis le site du client vers Brignais).

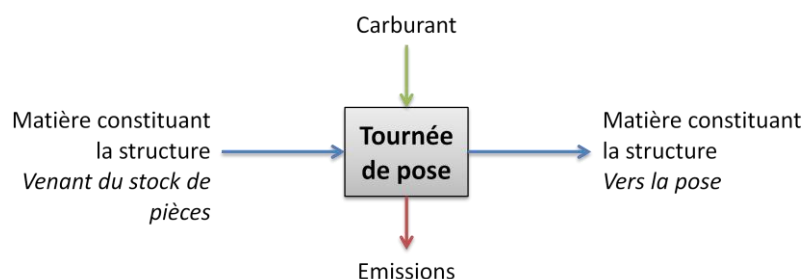


Diagramme 3.1-g. Schéma des flux connectés à la transition « Tournée de pose »

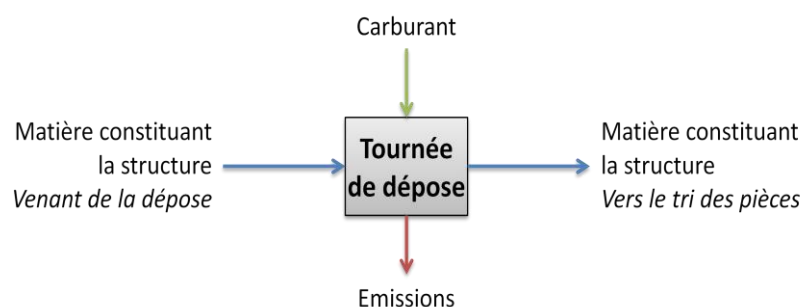


Diagramme 3.1-h. Schéma des flux connectés à la transition « Tournée de dépose »

Les tournées permettent d'acheminer les pièces depuis Brignais vers le lieu de prestation pour la pose, puis permettent le retour des pièces suite à la dépose. Ainsi la transition « Tournée » transmet le flux de pièces entrant ( $X$ ) est transmis en aval ( $Y$ ) sans modification.

Les tournées génèrent une consommation de carburant (*Carburant*) et des émissions de  $CO_2$  ( $CO_2$ ). Puisque les tournées permettent la réalisation de plusieurs prestations, il faut définir une règle pour allouer une part de la consommation de carburant d'une tournée à la prestation donnée.

Etant donné le rôle important pressenti du transport, il a été choisi de ne pas utiliser de données génériques issues, par exemple, de la base de données Ecoinvent 2.2. Il est en effet d'usage courant pour ce type de transport, d'utiliser des données qui, à partir de la distance entre le lieu de la prestation et l'entrepôt de base, de la masse charriée, et des caractéristiques des camions, permettent de calculer une consommation de carburant. Elles sont très génériques et calibrées pour des transporteurs professionnels. Ici, il a été choisi de construire une règle d'allocation permettant d'intégrer les caractéristiques spécifiques de Locabri. La construction de cette règle est donnée en annexe (7.2.1). La formule suivante en a été déduite. Elle permet de calculer la consommation de carburant allouée à une prestation de pose ou de dépose d'une structure de masse  $M$ , dont le lieu de pose est situé à une distance  $D$  de Brignais.

$$\text{Carburant}(M; D) = c \cdot D_{\text{moy}} \cdot \left( M + \frac{M_{\text{camion}}}{N_{\text{moy}}} \right) \cdot \left( \frac{D_{\text{tournée}}}{D_{\text{moy}} \cdot (N_{\text{moy}} \cdot M_{\text{moy}} + M_{\text{camion}})} \right) \text{ où}$$

- $\text{Carburant}(M; D)$  est le flux de carburant consommé attribué à l'opération de pose ou de dépose en kg;
- $c$  est la consommation moyenne de carburant des camions en kg/km ;
- $M_{\text{camion}}$  est la masse moyenne de l'ensemble camion – remorque vide en kg ;
- $N_{\text{moy}}$  est le nombre moyen de prestation par tournée ;
- $D_{\text{tournée}}$  est la distance moyenne parcourue lors d'une tournée en km ;
- $D_{\text{moy}}$  est la distance routière moyenne entre Brignais et les lieux de prestations en km ;
- $M_{\text{moy}}$  est la masse moyenne d'une prestation en kg ;

Comme pour les poses et déposes, un facteur d'émission, noté  $E_{\text{camion}}$ , est utilisé pour calculer les émissions de  $CO_2$  à partir de la consommation de carburant. Pour les cas de références des deux scénarios, la distance du lieu de prestation  $D$  est fixée à la distance moyenne  $D_{\text{moy}}$ . D'autres distances seront analysées (section 4.3.1.4). La masse de la structure est la somme des composants du vecteur  $X$  représentant les flux de pièces.  $M$  se calcule donc ainsi :

$$M = \mathbf{1} \cdot {}^T X \text{ où } \mathbf{1} \text{ est le vecteur } (1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1)$$

La transition « Tournée » est définie de la manière suivante.

$$(Y; \text{Carburant}; CO_2) = \text{Tournée}(X) \text{ avec}$$

$$\begin{cases} Y = X \\ \text{Carburant} = \text{Carburant}(\mathbf{1} \cdot {}^T Y; D) \\ CO_2 = E_{\text{camion}} \cdot \text{Carburant} \end{cases}$$

### 3.1.1.2.2. Collecte de données

Les paramètres nécessaires à l'utilisation de la formule ont été calibrés à partir de plusieurs jeux de données portant sur l'année 2011:

- la liste des prestations effectuées en 2011 et leurs caractéristiques ;
- les relevés kilométriques hebdomadaires de la flotte de camions ;
- les factures bimensuelles de l'entreprise Total fournissant le carburant ;
- les caractéristiques techniques des véhicules figurant sur leur carte grise.

Ces paramètres sont présentés dans le tableau 3.1-h.

**Tableau 3.1-h. Données utilisées pour le calcul de la consommation de carburant due à une prestation**

Donnée	Valeur	Source
Distance moyenne parcourue par tournée (km)	1102	Locabri –relevés des compteurs kilométriques. Le calcul et les données brutes sont en annexe 7.2.2.
Distance routière moyenne entre Brignais et le lieu de prestation (km)	360	Locabri – liste des prestations réalisées en 2011 et GoogleMaps pour les distances routières Le calcul et les données brutes sont en annexe 7.2.4.
Nombre de prestations par tournée <ul style="list-style-type: none"> <li>• nombre moyen de poses</li> <li>• nombre moyen de déposes</li> <li>• autres (réparations / finitions)</li> </ul>	2,3 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,3</li> <li>• 0,6</li> <li>• 0,4</li> </ul>	Locabri – liste des prestations réalisées en 2011 et fichier de relevé des compteurs kilométriques. Voir annexe 7.2.3.
Consommation moyenne des camions (L/100km)	35	Locabri – factures de carburant de l'année 2011 et fichier de relevé des compteurs kilométriques. Le calcul et les données brutes sont en annexe 7.2.5.
Masse moyenne des ensembles camion - remorque à vide (t)	14,3	Locabri – cartes grises des camions et remorques. Le calcul et les données brutes sont en annexe 7.2.6.
Masse moyenne des prestations (t)	2,2	Locabri – Le calcul et les données brutes sont en annexe 7.2.7.

Le facteur d'émission  $E_{\text{camion}}$  a été calculé à partir des données Ecoinvent 2.2 représentatives d'un camion typique de PTAC 24 tonnes à la norme EURO4. Le choix du PTAC a été guidé par les recommandations du fascicule de documentation FD P01-015 relative à la norme NF P01-010 (AFNOR, 2006). Le choix de la norme EURO4 est basé sur une étude analysant le renouvellement du parc de poids lourds français (CETU, 2002). Ce sera le même facteur qui sera appliqué tout au long de l'étude à toutes les consommations de carburant par des camions.



Donnée	Valeur	Source
Quantité de carburant consommé en moyenne par un camion de PTAC 16-32 t (en kg/km)	$2,0536 \cdot 10^{-1}$	Ecoinvent 2.2 – donnée « Operation, lorry 16-32t, EURO 4, RER »
Quantité de CO <sub>2</sub> généré en moyenne par un camion de PTAC 16-32 t (en kg/km)	$6,5147 \cdot 10^{-1}$	Ecoinvent 2.2 – donnée « Operation, lorry 16-32t, EURO 4, RER »

$$E = \frac{6,5147 * 10^{-1}}{2,0536 * 10^{-1}} = 3,17$$

### 3.1.1.2.3. Application numérique

#### Tournée de pose

##### Scénario 1 :

Quantités de pièces transportées

$$Y = (2351 \quad 1408 \quad 0 \quad 202 \quad 291) \text{ kg}$$

Quantités de carburant consommé

$$\text{Carburant} = 186 \text{ kg}$$

Quantités de CO<sub>2</sub> émis

$$\text{CO}_2 = 591 \text{ kg}$$

##### Scénario 2 :

Quantités de pièces transportées

$$Y = (5559 \quad 2066 \quad 0 \quad 231 \quad 646) \text{ kg}$$

Quantités de carburant consommé

$$\text{Carburant} = 263 \text{ kg}$$

Quantités de CO<sub>2</sub> émis

$$\text{CO}_2 = 834 \text{ kg}$$

#### Tournée de dépose

##### Scénario 1 :

Quantités de pièces transportées

$$Y = (2351 \quad 1408 \quad 0 \quad 202 \quad 291) \text{ kg}$$

Quantités de carburant consommé

$$\text{Carburant} = 186 \text{ kg}$$

Quantités de CO<sub>2</sub> émis

$$\text{CO}_2 = 591 \text{ kg}$$

##### Scénario 2 :

Quantités de pièces transportées

$$Y = (5559 \quad 2066 \quad 0 \quad 231 \quad 646) \text{ kg}$$

Quantités de carburant consommé

$$\text{Carburant} = 263 \text{ kg}$$

Quantités de CO<sub>2</sub> émis

$$\text{CO}_2 = 834 \text{ kg}$$

### ***3.1.1.3. Gestion des pièces de retour de chantier***

Cette partie de la modélisation est divisée en deux grandes étapes : la réparation et le nettoyage. Chacune de ces étapes est elle-même composée de deux sous-étapes : une étape préliminaire de tri et l'étape de réparation ou de nettoyage.

Au retour d'un chantier de dépose, l'état de la pièce est examiné.

1. Si la pièce est techniquement réutilisable, elle ne subit pas de réparation.
2. Certaines pièces usées ne peuvent pas être réparées, elles sont mises au rebut.
3. Certaines pièces usées peuvent être réparées.
  - a. Si la réparation réussie, elle est remise dans le stock.
  - b. Sinon, la pièce est mise au rebut

La modélisation de cette étape est cruciale puisqu'elle détermine en grande partie l'efficacité matérielle des prestations.

#### ***3.1.1.3.1. Modélisation***

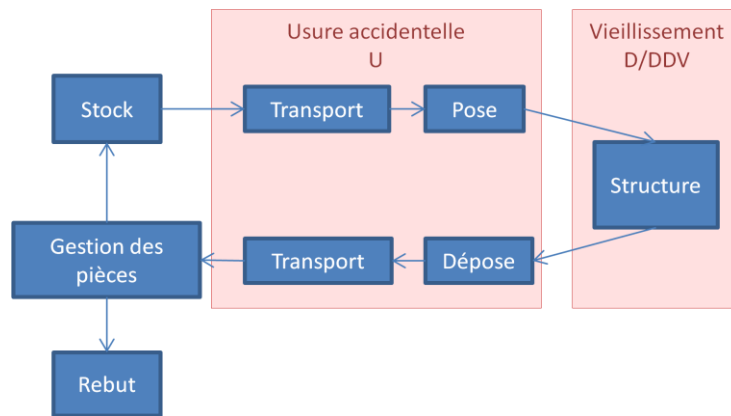
Plusieurs façons de modéliser l'usure et la réparation des pièces ont été envisagées. Le modèle retenu est un modèle simple permettant de rendre compte des données et informations collectées.

##### **3.1.1.3.1.1. Principe de modélisation**

Lorsque les pièces effectuent un cycle, elles s'usent. Deux types d'usure sont modélisés.

- L'usure accidentelle (casse, chocs, etc.) correspond à l'usure générée lors :
  - du transport du matériel (empilement et vibrations liées aux déplacements) ;
  - de la manutention du matériel (chute, etc.)
  - de la pose et de la dépose des structures (perçage des tôles, installation des toiles, etc.)
- Le vieillissement des pièces correspond à l'usure normale subie par la pièce lorsqu'elle est montée dans une structure. Cette usure provient :
  - des contraintes mécaniques inhérentes à la structure (les barres de charges subissent, par exemple, d'importantes contraintes) ;
  - des conditions climatiques (vieillissement des polymères par exposition aux UV, chutes de neige ou bourrasques de vent soumettant la charpente à des contraintes mécaniques intenses, etc.) ;
  - de conditions environnementales particulières (par exemple les toiles s'usent plus rapidement si elles sont installées à proximité d'installations chimiques – effet de l'acidité de l'air) ;
  - de l'utilisation de la structure par le client (les ouvrants, par exemple, s'usent par les va-et-vient).

Le diagramme 3.1-i met en lumière les étapes clefs de l'usure des pièces.



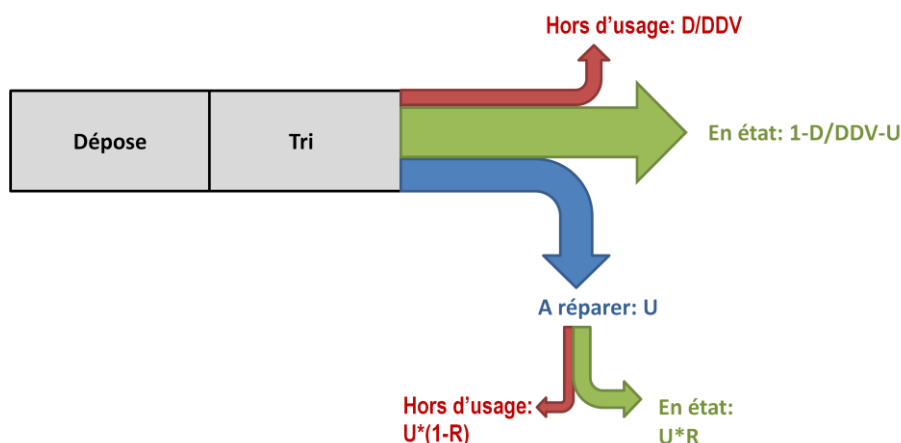
**Diagramme 3.1-i. Etapes clés contribuant à l'usure des pièces**

L'usure accidentelle est réparable. En revanche, le vieillissement des pièces n'est pas réparable.

Pour chaque catégorie de pièces, on définit une durée de vie technique, DDV. En supposant que l'âge des pièces utilisées pour une prestation est uniformément réparti sur l'intervalle  $[0 ; DDV]$ ,  $D/DDV$  représente la fraction de pièces qui, à l'issue de la prestation, auront dépassé leur durée de vie technique et ne pourront être utilisés pour une nouvelle prestation. Ces pièces sont hors d'usage. L'hypothèse d'uniforme répartition de l'âge des pièces dans le stock est cohérent au sein du modèle (l'usure accidentelle subit par une pièce ne dépend pas de son âge). D'autres modèles modulant le risque d'usure des pièces en fonction de leur âge ont également été explorés. Au vu des données permettant le calibrage des paramètres et des incertitudes associées, ces modèles n'ont pas été retenus.

D'autre part, on définit pour chaque catégorie de pièces le paramètre  $U$ , qui représente la part de pièces qui, à chaque cycle, subissent des dommages accidentels. Toutes ces pièces vont ensuite subir une tentative de réparation. Pour chaque catégorie de pièces, on définit le paramètre  $R$  représentant la part de pièces endommagées accidentellement qui sont réparées avec succès.

Le diagramme 3.1-j montre la division du flux de pièces revenant de la dépose de la structure en flux de pièces hors d'usage, en état et à réparer, et donne les expressions mathématiques permettant de calculer ces flux.



**Diagramme 3.1-j. Division du flux de pièces revenant de la dépose.**

L'intérêt de cette modélisation est qu'elle permet de moduler l'usure en fonction de la durée de pose. Ainsi, les pièces utilisées trois ans (scénario 2) subissent une usure plus forte que celles utilisées un an (scénario 1). En outre, la prise en compte de l'usure accidentelle permet de rendre compte du fait que la durée de vie effective des pièces est moindre que la durée de vie technique. Ainsi une pièce utilisée uniquement pour des prestations

très courtes (par exemple trois mois) sera utilisée de nombreuses fois. Cependant, chaque utilisation comportant un risque d'usure accidentelle, la durée de vie effective de la pièce sera bien moindre que celle d'une pièce utilisée pour des prestations de longue durée.

### 3.1.1.3.1.2. Etape de tri avant réparation

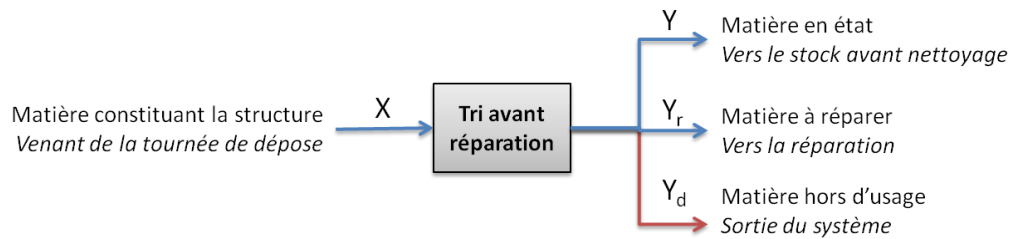


Diagramme 3.1-k. Schéma des flux connectés à de la transition « Tri avant réparation »

L'étape élémentaire « Tri avant réparation » reçoit en entrée le vecteur des flux de matière venant de la tournée de dépose  $X$ , et génère en sortie en trois vecteurs :

- $Y$  représente les flux de matières en état (ces pièces peuvent réintégrer le stock) ;
- $Y_r$  représente les flux de matières à réparer (usure accidentelle) ;
- $Y_d$  représente les flux de matières hors d'usage (vieillessement) ;

Deux matrices diagonales de paramètres sont générées :

- la matrice d'usure accidentelle  $U$ , dont les composants sont

$$\begin{pmatrix} U_{\text{alu}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & U_{\text{acier}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & U_{\text{tole}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & U_{502} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & U_{602} \end{pmatrix}$$

- la matrice des durées de vie  $DDV$ , dont les composants sont

$$\begin{pmatrix} DDV_{\text{alu}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & DDV_{\text{acier}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & DDV_{\text{tole}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & DDV_{502} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & DDV_{602} \end{pmatrix}$$

On écrira  $1/DDV$  la matrice dont les composants sont

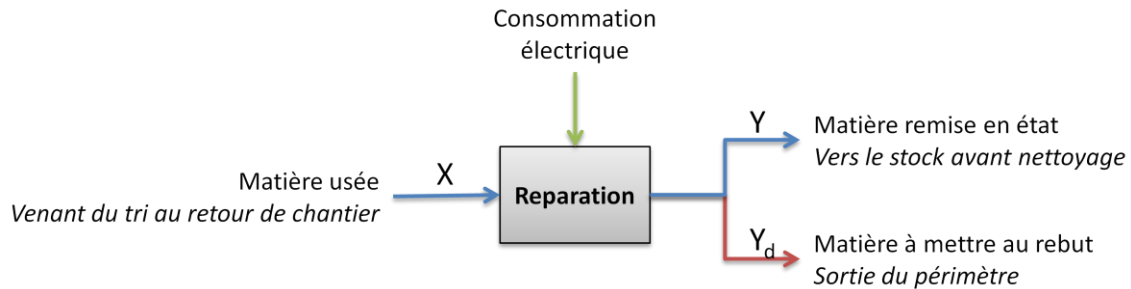
$$\begin{pmatrix} \frac{1}{DDV_{\text{alu}}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{DDV_{\text{acier}}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{DDV_{\text{tole}}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{DDV_{502}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{DDV_{602}} \end{pmatrix}$$

La transition « Tri avant réparation » est définie de la manière suivante :

$$(Y; Y_r; Y_d) = \text{Tri} (X) \text{ avec}$$

$$\begin{cases} Y = X * \left( 1 - U - D * \frac{1}{DDV} \right) \\ Y_r = X * U \\ Y_d = X * D * \frac{1}{DDV} \end{cases}$$

### 3.1.1.3.1.3. Etape de réparation



**Diagramme 3.1-I. Schéma des flux connectés à la transition « Réparation »**

Cette étape est modélisée par une transition appelée « Réparation ». Cette transition reçoit en entrée le vecteur des flux de matière venant du tri  $X$ , et génère deux vecteurs et un scalaire :

- $Y$  représente les flux de pièces remises en état.
- $Y_d$  représente les flux de pièces qui sont mises au rebut. Ces flux sortent du périmètre restreint.
- $ConsoElec$  (kWh) représente le flux d'électricité entrant nécessaire à la réparation.

Deux matrices de paramètres sont générées :

- la matrice de réparation réussie  $R$  :

$$\begin{pmatrix} R_{alu} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_{acier} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{tole} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{502} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{602} \end{pmatrix}$$

- le vecteur de consommation électrique  $CElec$ , dont les composants sont en kWh/kg :  
( $CElec_{alu}$   $CElec_{acier}$   $CElec_{tole}$   $CElec_{502}$   $CElec_{602}$ )

La transition est définie de la manière suivante :

$$(Y; Y_d; ConsoElec) = \text{Reparation}(X) \text{ avec}$$

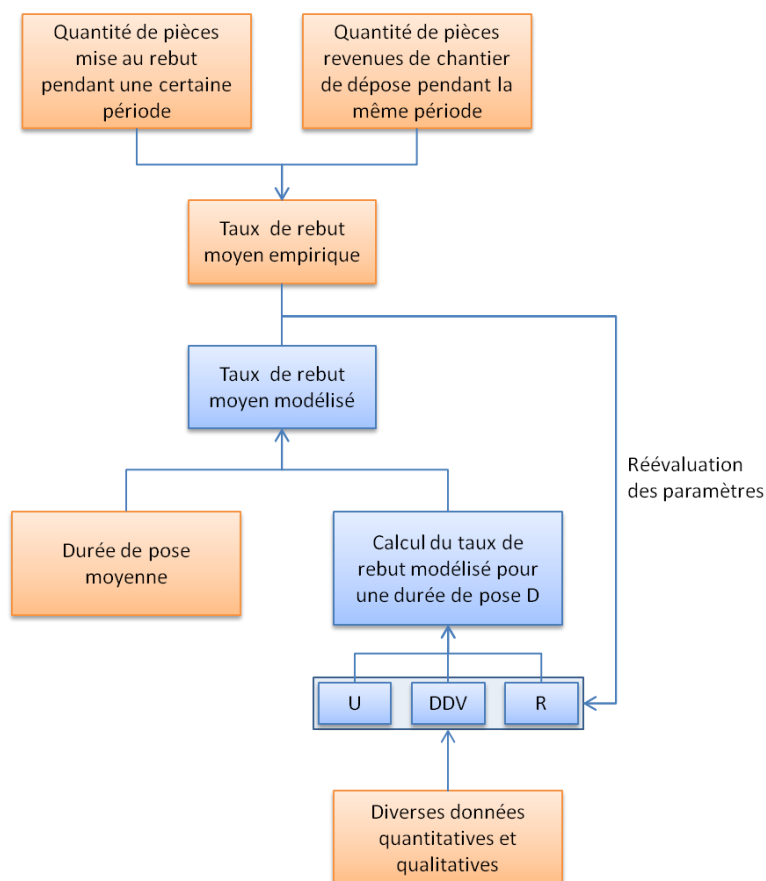
$$\begin{cases} Y = X * R \\ Y_d = X * (1 - R) \\ ConsoElec = X * CElec \end{cases}$$

A partir du modèle, il est possible de déduire les taux de rebut moyens des cinq catégories de pièces suite à une prestation de durée  $D$ . Par exemple, le taux de rebut moyen des profilés d'aluminium issu du modèle est :

$$TxRebut_{ALU}(D) = \frac{D}{DDV_{ALU}} + U_{ALU} * (1 - R_{ALU})$$

### 3.1.1.3.2. Collecte des données et calibrage des paramètres

Les données qu'il a été possible de collecter ne permettaient pas d'évaluer directement tous les paramètres du modèle. Il n'était pas faisable de quantifier précisément l'usure générée par une prestation spécifique. L'étude statistique des données collectées a en revanche permis de dégager des moyennes annuelles. Ces moyennes annuelles ont été complétées par des données collectées lors d'entretiens avec des employés de Locabri et de Serge Ferrari. Les paramètres du modèle ont ensuite été choisis afin de générer des résultats en phase avec l'analyse des données, tout en tenant compte des nombreuses incertitudes qui entourent ces données.



**Diagramme 3.1-m. Processus de calibrage du modèle en fonction des données empiriques**

Le modèle est sous-déterminé : il présente un degré de complexité important au regard des données quantitatives disponibles. Il existe plusieurs combinaisons de paramètres pouvant générer des résultats acceptables au regard des données. Les choix de paramètres ont été largement guidés par des jugements qualitatifs collectés lors d'entretiens. Pour tenir en compte des nombreuses incertitudes, les choix de paramètres ont été faits de manière à maximiser les impacts environnementaux, conformément à l'approche comparative adoptée.

#### 3.1.1.3.2.1. Profils d'aluminium

Les données sont présentées dans le tableau 3.1-i.

**Tableau 3.1-i. Données utilisées pour les profilés d'aluminium**

Donnée	Valeur	Source
Durée de vie typique (années) du produit « Poutre en éléments minces en acier panne, lisse ou solide »	100	Base Iniès (SNPPA, 2011)
Durée de vie typique (années) du produit « Portique constitué de PRS en acier »	100	Base Iniès (CTICM, 2011b)
Durée de vie typique (années) du produit « Tube creux en acier »	100	Base Iniès (CTICM, 2011c)
Quantité d'aluminium envoyée chez le ferrailleur entre janvier et septembre 2011(kg)	2 840	Locabri – Factures émises par le ferrailleur (voir annexe 7.3.1).
Quantité d'aluminium revenu des chantiers de dépose entre janvier et septembre 2011 (t)	265	Locabri – Voir calcul annexe 7.3.2
Durée moyenne d'une prestation (semaines)	72	Locabri – liste des prestations réalisées, voir calcul annexe 7.3.3

Un profilé d'aluminium a une durée de vie technique très longue. Pour déterminer cette durée de vie, il a été choisi de se baser sur les durées de vie typiques de pièces similaires issues des fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) de la base Iniès. Aucun élément de charpente en aluminium ne figurant dans la base, les éléments en acier ont été choisis comme proxy.

Des entretiens et visites de l'atelier ont permis de mettre à jour le fait que le taux de casse est faible, et qu'un profilé d'aluminium endommagé peut être facilement réparé ou transformé en une autre pièce.

Les factures du ferrailleur consultées couvraient la période janvier – septembre 2011. Le calcul de l'annexe 7.3.2 permet d'évaluer la quantité d'aluminium issu des chantiers de dépose : 265 tonnes. Le taux de rebut empirique est calculé comme suit :

$$\begin{aligned}
 & \frac{\text{quantité d'aluminium envoyée chez le ferrailleur de janvier à septembre 2011}}{\text{quantité d'aluminium revenue des chantiers de déposes de janvier à septembre 2011}} \\
 &= \frac{2,84 \cdot 10^3}{2,65 \cdot 10^5} = 1,1\%
 \end{aligned}$$

Les sources d'incertitudes sont cependant nombreuses :

- Des effets de stocks sont susceptibles de brouiller le lien entre le matériel revenant des chantiers et ce qui part au rebut. Tout ce qui revient à Brignais n'est pas forcément trié sur le champ. Certaines pièces peuvent être stockées avant d'être rebutées. A l'inverse, des opérations de déstockage peuvent avoir lieu périodiquement pour évacuer du stock accumulé.
- Le calcul des quantités de pièces de retour de chantier a omis la spécificité des Modubat, autre gamme locative de Locabri. Bien que rares, ces structures sont susceptibles de représenter d'importantes quantités de matières.
- Le calcul des quantités de pièces de retour de chantier a omis les déposes partielles, car il n'a pas été possible de déterminer les parties des structures démontées. Cela a vraisemblablement un effet mineur vu qu'on n'en compte que cinq sur la période considérée.
- Une voie de sortie des pièces non prise en compte est la vente de matériel d'occasion.

Les paramètres choisis figurent dans le tableau 3.1-j.

**Tableau 3.1-j. Paramètres choisis pour modéliser l'usure et la réparation des profilés d'aluminium**

Paramètre	Description	Valeur
DDV <sub>alu</sub>	Durée de vie sur pied (années)	100
U <sub>alu</sub>	Taux d'usure accidentelle	2%
R <sub>alu</sub>	Taux de réparation réussie	90%

Sachant que la durée de prestation moyenne est de 72 semaines (voir tableau 3.1-i), le taux de rebut moyen calculé avec ces paramètres est de :

$$\frac{72}{\frac{52}{100}} + 0,02 * (1 - 0,9) = 1,6 \%$$

La différence de 0,5% par rapport à l'estimation du taux de rebut empirique est laissée comme marge de précaution au vu des importantes sources d'incertitude.

#### 3.1.1.3.2.2. Pièces d'acier et tôles

Les pièces d'acier de la charpente et les tôles sont traitées ensemble car les données empiriques de rebut ne permettent pas de différencier l'acier provenant des tôles de celui provenant des pièces de charpente. ECes deux catégories de pièces ont néanmoins des comportements à l'usure très différents. Les tôles s'usent en effet très vite à cause de leur fragilité au montage/démontage, alors que les pièces d'acier constituant la charpente sont en général très robustes.

Comme pour les profilés d'aluminium, la durée de vie technique des pièces d'acier et des tôles ont été déterminées à partir de durées de vie typiques de pièces similaires issues des fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) de la base Iniès.

Ces données sont présentées dans le tableau 3.1-k.



**Tableau 3.1-k. Données utilisées pour les pièces d'acier et les tôles**

Donnée	Valeur	Source
Durée de vie typique (années) de l'élément « Bardage en acier simple peau »	50	Base Iniès (SNPPA, 2006)
Durée de vie typique (années) du produit « Contreventement en acier »	100	Base Iniès (CTICM, 2011a)
Durée de vie typique (années) du produit « Poutre en éléments minces en acier panne, lisse ou solide »	100	Base Iniès (SNPPA, 2011)
Durée de vie typique (années) du produit « Portique constitué de PRS en acier »	100	Base Iniès (CTICM, 2011b)
Durée de vie typique (années) du produit « Tube creux en acier »	100	Base Iniès (CTICM, 2011c)
Quantité d'acier envoyée chez le ferrailleur (kg)	22 650	Locabri – Factures émises par le ferrailleur (voir annexe 7.3.1).
Quantité de pièces d'acier revenues des chantiers de dépose entre janvier et septembre 2011 (t)	180	Locabri – Voir calcul annexe 7.3.2
Quantité de tôles revenues des chantiers de dépose entre janvier et septembre 2011 (t)	151	Locabri – Voir calcul annexe 7.3.2
Durée moyenne d'une prestation (semaines)	72	Locabri – liste des prestations réalisées, voir calcul annexe 7.3.3

Le taux de rebut d'acier de janvier à septembre 2011 est donc :

$$= \frac{22,65 \cdot 10^3}{(1,9+1,51) \cdot 10^5} = 6,6\%$$

Des entretiens et visites de l'atelier ont permis de mettre à jour certains faits guidant le choix des paramètres.

- Les tôles sont robustes lorsqu'elles sont installées. En revanche, les opérations de manutention, de pose et de dépose entraînent d'importants dommages (chocs, torsions, etc.). Ainsi le nombre d'utilisations des tôles est très faible, entre 2 et 4.
- Les pièces d'acier sont robustes et l'activité de réparation est très importante.

Le tableau 3.1-l résume le choix des paramètres pour les pièces d'acier et les tôles.

**Tableau 3.1-l. Paramètres choisis pour modéliser l'usure et la réparation des profilés d'aluminium**

Paramètre	Description	Valeur
DDV <sub>acier</sub>	Durée de vie sur pied des pièces d'acier (années)	100
U <sub>acier</sub>	Taux d'usure accidentelle des pièces d'acier	5%
R <sub>acier</sub>	Taux de réparation réussie des pièces d'acier	80%
DDV <sub>tôle</sub>	Durée de vie sur pied des tôles (années)	50
U <sub>tôle</sub>	Taux d'usure accidentelle des tôles	30%
R <sub>tôle</sub>	Taux de réparation réussie des tôles	5%

Le taux de rebut calculé avec ces paramètres pour la durée de prestation moyenne est de :

$$\frac{D_{\text{moy}}}{DDV} + U * (1 - R) = \begin{cases} 2,4\% \text{ pour les pièces d'acier} \\ 31\% \text{ pour les tôles} \end{cases}$$

La moyenne pondérée par la quantité de pièces d'acier et de tôles revenues des déposes (cf tableau 3.1-k) est de :

$$\frac{0,024 * 180 + 0,31 * 151}{180 + 151} = 15\%$$

Le nombre d'utilisations possibles des tôles avec ces paramètres s'élève à :

$$\frac{1}{1 - \frac{D_{\text{moy}}}{DDV} - U * (1 - R)} \approx 3$$

ce qui correspond au jugement des équipes de Locabri.

La différence est notable avec l'estimation du taux de rebut empirique (6,6%). Il a été choisi de garder cette marge par précaution, étant données les incertitudes fortes qui entourent ce calcul :

- Incertitudes lors du calcul des pièces revenues des déposes (voir section 3.1.1.3.2.1)
- En outre, de nombreuses tôles qui ne sont plus utilisables pour une application commerciale ou de stockage sont données ou bien utilisées sur des chantiers de dépollution. Dans ce dernier cas, les tôles sont ensuite directement mises au rebut sur place et ne rentrent donc pas dans la comptabilité de Locabri.

De plus, cette différence va dans le sens d'une maximisation des impacts de cette option, ce qui est cohérent avec l'approche comparative adoptée.

### 3.1.1.3.2.3. Toiles

Les données disponibles ne permettaient pas de différencier les toiles 502 et 602. Il a donc été supposé qu'elles ont un comportement similaire face à l'usure, et ont été traitées de la même manière. Le tableau 3.1-m présente les données collectées.

**Tableau 3.1-m. Données utilisées pour les toiles**

Donnée	Valeur	Source
Quantité de toiles nettoyées en 2011 (m²)	236797	Locabri – service comptabilité. Document de suivi des toiles.
Quantité de toiles réparées en 2011 (m²)	105128,6	Locabri – service comptabilité. Document de suivi des toiles.
Quantité de toiles mises au rebut en 2011 (m²)	7414	Locabri – service comptabilité. Document de suivi des toiles.
Durée de vie maximale des toiles (années)	7	Entretien avec le bureau d'étude et les équipes des ateliers de Locabri
Durée de vie moyenne des toiles (années)	5	Entretien avec le bureau d'étude et les équipes des ateliers de Locabri
Durée moyenne d'une prestation (semaines)	72	Locabri – liste des prestations réalisées, voir calcul annexe 7.3.3

Toutes les toiles issues des chantiers de déposes sont nettoyées (à l'exception de celles qui sont rebutées). Par conséquent la quantité de toiles nettoyées et rebutées en 2011 est égale à la quantité de toiles issues des chantiers des déposes en 2011.

Le taux de rebut peut donc être calculé comme suit :

$$\frac{\text{quantité de toiles mises au rebut en 2011}}{\text{quantité de toiles nettoyées en 2011} + \text{quantité de toiles mises au rebut en 2011}} = \frac{7414}{236797 + 7414} = 3 \%$$

En supposant que toutes les toiles mises au rebut ont subi une tentative de réparation, on peut extraire de ces données un taux de réparation réussie :

$$\frac{\text{quantité de toiles réparées en 2011}}{\text{quantité de toiles réparées en 2011} + \text{quantité de toiles mises au rebut en 2011}} = \frac{105128,6}{105128,6 + 7414} = 93\%$$

On peut calculer également le taux de toiles réparées.

$$\frac{\text{quantité de toiles réparées en 2011}}{\text{quantité de toiles nettoyées en 2011}} = \frac{105128,6}{236797} = 44\%$$

En calculant la quantité de toiles revenues des chantiers de déposes en utilisant la méthode utilisée pour les autres pièces, on trouve un résultat très différent : 130 000 m². Il a été choisi de garder la valeur collectée puisqu'elle est issue d'un travail de comptabilité précis de la part de Locabri, et fait parti du même jeu de données que la quantité de toiles mises au rebut.

L'écart peut provenir de plusieurs sources, dont l'extrapolation des matrices de compositions. Toutefois la source d'erreur vraisemblablement la plus grande est l'hypothèse que les toiles nettoyées en 2011

correspondent à la quantité de toiles revenues de chantier. Il est probable que Locabri ait envoyé au nettoyage des toiles ayant été mobilisées sur des structures démontées en 2010, fait confirmé par Locabri.

Le tableau 3.1-n résume le choix des paramètres pour les toiles.

**Tableau 3.1-n. Paramètres choisis pour modéliser l'usure et la réparation des profilés d'aluminium**

Paramètre	Description	Valeur
DDV <sub>toile</sub>	Durée de vie sur pied des toiles (années)	7
U <sub>toile</sub>	Taux d'usure accidentelle des toiles	52%
R <sub>toile</sub>	Taux de réparation réussie des toiles	85%

A partir de ces paramètres, le taux de réparation réussi de l'ensemble des toiles revenant d'un chantier de dépose est de :

$$U * R = 0,85 * 0,52 = 44\%$$

La durée de vie moyenne est de :

$$\frac{1}{1 - \frac{D_{moy}}{DDV} - U * (1 - R)} * D_{moy} = 5 \text{ ans}$$

Ce qui correspond à la donnée empirique (voir tableau 3.1-m).

Le taux de rebut moyen calculé à partir de ce paramètre est de :

$$\frac{D_{moy}}{DDV} + U * (1 - R) = 28\%$$

Le rebut constaté chez Locabri est très inférieur (3%). La raison principale est que la mise au rebut est l'ultime voie de sortie pour une toile « hors d'usage » (i.e. qui ne peut plus être utilisée pour une prestation de location). Locabri procède à des ventes d'occasion de son matériel usagé, voire à des dons. Par exemple, en 2012 Locabri a procédé à d'importants dons de toiles à des agriculteurs, qui s'en servent de bâches pour leurs activités. Ces toiles n'ont plus de valeur d'usage pour les structures, mais en ont encore pour d'autres utilisations. Dans le modèle, toutes les toiles impropres à la location sont mises au rebut, alors qu'en réalité seule une partie l'est.

#### 3.1.1.3.2.4. Consommation énergétique causée par la réparation

La consommation énergétique causée par la réparation est une consommation d'électricité. Elle a été déterminée à partir de factures EDF. Jusqu'à mars 2012, l'atelier de production et de réparation des « fers » (pièces métalliques) était situé sur un site différent du site principal. Il a donc été possible d'évaluer la consommation annuelle de cet atelier (voir tableau 3.1-o).

**Tableau 3.1-o. Données utilisées pour évaluer la consommation énergétique due par la réparation**

Donnée	Valeur	Source
Consommation électrique de l'atelier fer du 09/11/2010 au 11/11/2011 (kWh)	68 292	Facture EDF

L'atelier sert majoritairement à la production de pièces. Il a été établi que la réparation couvre approximativement 20% de l'activité de l'atelier.

Afin de déduire une quantité d'électricité par kg de matière métallique réparée, il faut connaître la quantité de matière ayant été réparée sur la même période. On utilise pour cela des résultats issus du modèle pour calculer la quantité de pièces réparées avec succès (il est supposé que les pièces qui n'ont pas pu être réparées n'ont pas causées de consommation électrique).

$$\begin{aligned}
 M_{\text{réparée}}^{2011}_{\text{métal}} &= M_{\text{dépose}}^{2011}_{\text{alu}} * U_{\text{alu}} * R_{\text{alu}} \\
 &+ M_{\text{dépose}}^{2011}_{\text{acier}} * U_{\text{acier}} * R_{\text{acier}} \\
 &+ M_{\text{dépose}}^{2011}_{\text{tôle}} * U_{\text{tôle}} * R_{\text{tôle}} \\
 &= 27 \text{ tonnes}
 \end{aligned}$$

Ainsi la quantité d'électricité attribuée à la réparation d'un kg de matière est de :

$$\frac{0,2 * 68292}{27.10^3} = 0,5 \text{ kWh/kg}$$

Etant donné l'absence de données de consommations énergétiques pour l'atelier de réparation des toiles, le même résultat a été utilisé.

Ainsi le vecteur de paramètre **CElec** s'écrit :

$$\begin{aligned}
 &(\text{CElec}_{\text{alu}} \quad \text{CElec}_{\text{acier}} \quad \text{CElec}_{502} \quad \text{CElec}_{602} \quad \text{CElec}_{\text{toile}}) \\
 &= (0,5 \quad 0,5 \quad 0,5 \quad 0,5 \quad 0,5) \text{ kWh/kg}
 \end{aligned}$$

### 3.1.1.3.3. Application numérique

#### Tri avant réparation

##### Scénario 1 :

Quantités de pièces qui peuvent être réutilisées directement

$$Y = (2280 \quad 1324 \quad 0 \quad 68 \quad 98) \text{ kg}$$

Quantités de pièces qui sont mises au rebut (vieillessement)

$$Y_d = (24 \quad 14 \quad 0 \quad 29 \quad 42) \text{ kg}$$

Quantités de pièces qui vont vers la réparation (usure accidentelle)

$$Y_r = (47 \quad 70 \quad 0 \quad 105 \quad 151) \text{ kg}$$

##### Scénario 2 :

Quantités de pièces qui peuvent être réutilisées directement

$$Y = (5281 \quad 1900 \quad 0 \quad 12 \quad 34) \text{ kg}$$

Quantités de pièces qui sont mises au rebut (vieillessement)

$$Y_d = (167 \quad 62 \quad 0 \quad 99 \quad 277) \text{ kg}$$

Quantités de pièces qui vont vers la réparation (usure accidentelle)

$$Y_r = (111 \quad 103 \quad 0 \quad 120 \quad 335) \text{ kg}$$

#### Réparation

##### Scénario 1 :

Quantités de pièces réparées avec succès

$$Y = (42 \quad 56 \quad 0 \quad 89 \quad 128) \text{ kg}$$

Quantités de pièces mises au rebut

$$Y_d = (5 \quad 14 \quad 0 \quad 16 \quad 20) \text{ kg}$$

Consommation d'électricité due à la réparation

$$\text{ConsoElec} = 158 \text{ kWh}$$

*Scénario 2 :*

Quantités de pièces réparées avec succès

$$Y = (100 \quad 83 \quad 0 \quad 102 \quad 284) \text{ kg}$$

Quantités de pièces mises au rebut

$$Y_d = (11 \quad 21 \quad 0 \quad 18 \quad 51) \text{ kg}$$

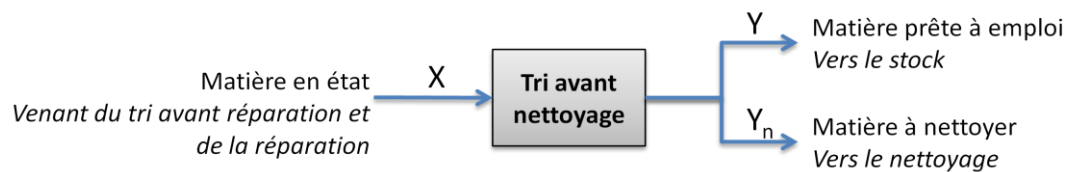
Consommation d'électricité due à la réparation

$$\text{ConsoElec} = 284 \text{ kWh}$$

### 3.1.1.4. Nettoyage des pièces

#### 3.1.1.4.1. Etape de tri avant nettoyage

Certaines pièces remises en état ou qui n'ont pas eu besoin d'être réparées doivent être lavées avant d'être réintégrées au stock. Il a été établi que toutes les toiles sont lavées. Le nettoyage des fers est très rare et n'est pas pris en compte dans le modèle (voir section 2.3.3).



**Diagramme 3.1-n. Schéma des flux entant et quittant la transition « Tri avant nettoyage »**

Cette étape est modélisée par une transition appelée « Tri avant nettoyage ». Cette transition reçoit en entrée le vecteur des flux de matière venant du tri  $X$ , et génère en sortie deux vecteurs :

- $Y$  représente les flux de pièces qui n'ont pas besoin d'être nettoyées ;
- $Y_n$  représente les flux de pièces qui doivent être nettoyées.

Une matrice de paramètres est définie :

- la matrice de nettoyage  $N$ , dont les composants sont :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

La transition est définie de la manière suivante :

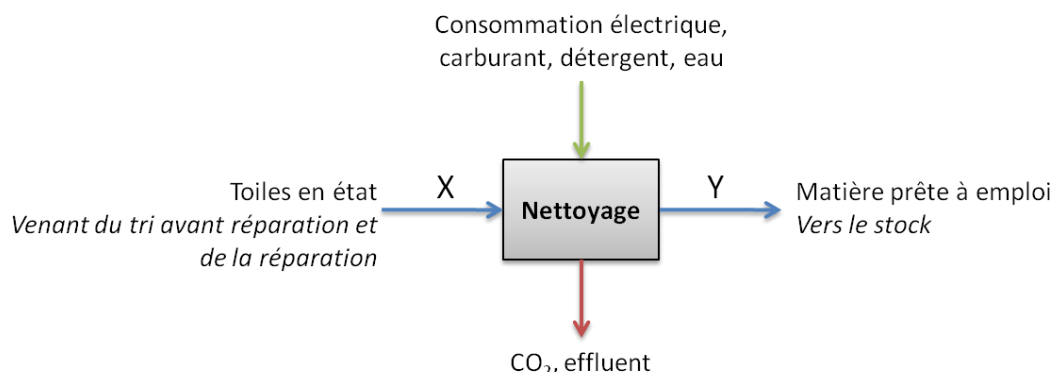
$$(Y; Y_n) = \text{Reparation } (X) \text{ avec}$$

$$\begin{cases} Y = X * (1 - N) \\ Y_n = X * N \end{cases}$$

### 3.1.1.4.2. Etape de nettoyage

Le nettoyage des toiles est effectué par un prestataire situé à Romanèche-Thorins (71). Chaque semaine, un camion récupère les toiles à nettoyer à Brignais et dépose les toiles propres.

Cette étape de nettoyage consomme de l'eau, de l'électricité et du détergent. Elle génère de l'eau usée. Le transport consomme du carburant et génère des émissions. On suppose en outre que les toiles 502 et 602 se comportent de la même manière.



**Diagramme 3.1-o. Schéma des flux entant et quittant la transition « Nettoyage »**

Cette étape est modélisée par une transition appelée « Nettoyage ». Cette transition reçoit en entrée le vecteur des flux de toiles  $X_t$  à deux composants (correspondant au flux de toile 502 et 602). Elle génère un vecteur et cinq scalaires :

- $Y_t$  représente les flux de toiles nettoyées ;
- *Elec* représente le flux d'électricité mobilisée pour le nettoyage
- *Eau* représente le flux d'eau mobilisée pour le nettoyage
- *Détergent* représente le flux de détergent mobilisé pour le nettoyage
- *Effluent* représente le flux d'effluent
- *Carburant* représente le flux de carburant mobilisé lors du transport
- *CO2* représente le flux de CO<sub>2</sub> généré par le transport

La transition fait intervenir 7 paramètres :

- $D_{\text{nettoyage}}$  (km), la distance séparant Locabri de son prestataire ;
- $S_{m_{\text{nettoyée}}}$  (m<sup>2</sup>), la surface moyenne de toiles nettoyées par semaine
- $C_{\text{carburant}}$  (kg/km), la consommation de carburant moyenne par km du type de camion utilisé
- $C_{\text{eau}}$  (kg/m<sup>2</sup>), la consommation d'eau par m<sup>2</sup> de toile
- $C_{\text{elec}}$  (kWh/m<sup>2</sup>), la consommation d'électricité par m<sup>2</sup> de toile
- $C_{\text{détergent}}$  (kg/m<sup>2</sup>), la consommation de détergent par m<sup>2</sup> de toile
- $D_{502}$  (kg/m<sup>2</sup>), la masse surfacique des toiles 502
- $D_{602}$  (kg/m<sup>2</sup>), la masse surfacique des toiles 602

- $E_{\text{camion}}$  (kg/kg), représente la quantité de CO<sub>2</sub> formée par kg de carburant consommé (précédemment déterminé – voir section 3.1.1.2).

On note Surf la surface totale de toile nettoyée. On a :

$$\text{Surf} = X_t * \left( \frac{1}{\frac{D_{502}}{1}} \right)$$

Pour calculer la quantité de carburant consommé pour le transport aller retour d'une certaine quantité de toiles, on utilise une règle d'allocation. On calcule la quantité de carburant moyenne consommée par le camion pour faire un aller retour :

$$2 * C_{\text{carburant}} * D_{\text{nettoyage}}$$

Cette quantité de carburant sert au transport d'une quantité moyenne de toile. La quantité de carburant mobilisée pour le transport d'une quantité de toile Surf est allouée selon une clef de répartition surfacique.

$$2 * C_{\text{carburant}} * D_{\text{nettoyage}} * \frac{\text{Surf}}{S_{m_{\text{nettoyé}}}}$$

La transition « Nettoyage » est définie de la manière suivante :

$$(Y_t; Elec; Eau; Detergent; Effluent; Carburant; CO_2) = \text{Nettoyage}(X_t) \text{ avec}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_t = X_t \\ Elec = \text{Surf} * C_{\text{elec}} \\ Eau = \text{Surf} * C_{\text{eau}} \\ Detergent = \text{Surf} * C_{\text{detergent}} \\ Effluent = Eau + Detergent \\ Carburant = 2 * C_{\text{carburant}} * D_{\text{nettoyage}} * \frac{\text{Surf}}{S_{m_{\text{nettoyé}}}} \\ CO_2 = E_{\text{camion}} * Carburant \end{array} \right.$$

#### 3.1.1.4.3. Collecte et traitement des données

Le tableau 3.1-p représente les données collectées.



**Tableau 3.1-p. Données collectées pour le lavage des toiles**

Donnée	Valeur	Source
Consommation d'eau par m <sup>2</sup> de toiles lavées (L/m <sup>2</sup> )	1,7	Bourgogne Lavage
Nombre de produits utilisés	2	Bourgogne Lavage
Consommation du produit 1 par m <sup>2</sup> de toiles lavées (L/m <sup>2</sup> )	0,01	Bourgogne Lavage
Densité du produit 1	1,11	Bourgogne Lavage
Consommation du produit 2 par m <sup>2</sup> de toiles lavées (L/m <sup>2</sup> )	0,01	Bourgogne Lavage
Densité du produit 2	1	Bourgogne Lavage
Nombre d'aller retour vers Brignais par semaine	1	Bourgogne Lavage
Le camion est-il dédié à ce transport ?	Oui	Bourgogne Lavage
PTAC du camion utilisé (tonnes)	15 et 44	Bourgogne Lavage
Consommation moyenne de diesel par km parcouru d'un camion de PTAC 15 tonnes (kg/km)	0,15731	Ecoinvent 2.2 – donnée « operation, lorry 7.5-16t, EURO 4 »
Consommation moyenne de diesel par km parcouru d'un camion de PTAC 44 tonnes (kg/km)	0,25294	Ecoinvent 2.2 – donnée « operation, lorry >32t, EURO 4 »
Distance Romanèche Thorins – Brignais (km)	60	Google maps
Quantité de toiles nettoyées en 2011 (m <sup>2</sup> )	236 797	Locabri – service comptabilité. Document de suivi des toiles.
Densité surfacique des toiles Ferrari 502 (kg/m <sup>2</sup> )	0,59	Serge Ferrari
Densité surfacique des toiles Ferrari 602 (kg/m <sup>2</sup> )	0,65	Serge Ferrari

Le produit 1 est un détergent alcalin, composé à 25% de matière active. Le produit 2 est un autoséchant. Par commodité, ces deux produits ont été regroupés au sein du même flux *Détergent*.

A partir de ces données, il est possible de déterminer certains paramètres :

$$D_{\text{nettoyage}} = 60 \text{ km}$$

$$S_{\text{nettoyées}} = \frac{\text{quantité de toiles nettoyées en 2011}}{\text{nombre de semaines par an}} = \frac{236797}{52} = 4554 \text{ m}^2$$

$$C_{\text{carburant}} = \text{moyenne des consommations des camions de PTAC 15 et 44} = \frac{0,15731 + 0,25294}{2} = 0,20513 \text{ kg/km}$$

$$C_{\text{eau}} = 1,7 \text{ kg/m}^2$$

$$C_{\text{détergent}} = 0,01 * 1,11 + 0,01 * 1 = 0,02 \text{ kg/m}^2$$

En l'absence de données décrivant la consommation électrique causée par le nettoyage, il a été choisi d'utiliser la valeur appliquée à la réparation. Un analyse de sensibilité sera effectuée sur ces choix (section 4.2.3.1). Ainsi :

$$C_{elec} = \text{consommation électrique par kg de pièces} * \text{moyenne des masses surfaciques} = 0,5 * \frac{0,59 + 0,65}{2} = 0,3 \text{ kWh/m}^2$$

#### 3.1.1.4.4. Application numérique

##### Tri avant nettoyage

###### Scénario 1 :

Pièces qui ne sont pas nettoyées

$$Y = (2323 \quad 1380 \quad 0 \quad 0 \quad 0) \text{ kg}$$

Pièces à nettoyer

$$Y_n = (0 \quad 0 \quad 0 \quad 157 \quad 227) \text{ kg}$$

###### Scénario 2 :

Pièces qui ne sont pas nettoyées

$$Y = (5381 \quad 1983 \quad 0 \quad 0 \quad 0) \text{ kg}$$

Pièces à nettoyer

$$Y_n = (0 \quad 0 \quad 0 \quad 114 \quad 318) \text{ kg}$$

##### Nettoyage

###### Scénario 1 :

Quantités de toiles nettoyées

$$Y_n = (157 \quad 227) \text{ kg}$$

Surface de toiles nettoyées

$$Surf = 614 \text{ m}^2$$

Quantité d'électricité mobilisée

$$Elec = 1,8.10^2 \text{ kWh}$$

Quantité d'eau mobilisée

$$Eau = 1,1.10^3 \text{ kg}$$

Quantité de détergent mobilisé

$$Detergent = 13 \text{ kg}$$

Quantité d'effluent rejeté

$$Effluent = 1,1.10^3 \text{ kg}$$

Quantité de carburant consommé lors du transport aller et retour des toiles

$$Carburant = 3,3 \text{ kg}$$

Quantité de CO<sub>2</sub> émis

$$CO_2 = 11 \text{ kg}$$

###### Scénario 2 :

Quantités de toile nettoyées

$$Y_n = (114 \quad 318)$$

Surface de toile nettoyée

$$Surf = 682 \text{ m}^2$$

Quantité d'électricité mobilisée

$$Elec = 2,1.10^2 \text{ kWh}$$

Quantité d'eau mobilisée

$$Eau = 1,2.10^3 \text{ kg}$$

Quantité de détergent mobilisé

$$Detergent = 14 \text{ kg}$$

Quantité d'effluent rejeté	$Effluent = 1,2 \cdot 10^3 \text{ kg}$
Quantité de carburant consommé lors du transport aller et retour des toiles	$Carburant = 3,7 \text{ kg}$
Quantité de CO <sub>2</sub> émis	$CO_2 = 12 \text{ kg}$

### 3.1.1.5. Gestion du stock de pièces prêtes à usage

#### 3.1.1.5.1. Modélisation

La transition « Gestion du stock » modélise la préparation des pièces pour la prestation. Ces pièces sont prises en priorité parmi les pièces réparées. Selon le besoin, des pièces neuves sont utilisées.



Diagramme 3.1-p. Flux connectés à la transition « Gestion des pièces »

La transition lie le flux de pièces nécessaires à la prestation  $Y$  au flux de pièces réparées  $X$  et au flux de pièces neuves  $X_n$ . Elle est définie de la manière suivante :

$$X_n = \text{Gestion}(X; Y) \text{ avec}$$

$$X_n = Y - X$$

La quantité de pièces neuves est égale à la quantité de pièces mises au rebut. Ainsi les nouvelles pièces viennent remplacer les pièces usées par la prestation. Ceci correspond à une situation de régime permanent : le stock final de pièces fonctionnelles est le même que le stock initial. L'impact de la prestation correspond donc à ce qu'il faut apporter et retirer du système pour que ce dernier retourne à son état initial, le service ayant été rendu.

#### 3.1.1.5.2. Application numérique

<b>Scénario 1 :</b>	
Pièces à mobiliser pour la prestation	$Y = (2351 \quad 1408 \quad 0 \quad 202 \quad 291) \text{ kg}$
Pièces disponibles en stock grâce à la boucle de réemploi	$X = (2322 \quad 1380 \quad 0 \quad 157 \quad 227) \text{ kg}$
Quantités de pièces à renouveler pour retrouver un stock final de pièces fonctionnelles identique au stock initial	
	$X_n = (28 \quad 28 \quad 0 \quad 45 \quad 65) \text{ kg}$
<b>Scénario 2 :</b>	
Pièces à mobiliser pour la prestation	$Y = (5559 \quad 2066 \quad 0 \quad 231 \quad 646) \text{ kg}$
Pièces disponibles en stock grâce à la boucle de réemploi	$Y = (5381 \quad 1982 \quad 0 \quad 114 \quad 318) \text{ kg}$

Quantités de pièces à renouveler pour retrouver un stock final de pièces fonctionnelles identique au stock initial

$$X_n = (178 \quad 83 \quad 0 \quad 117 \quad 328) \text{ kg}$$

### 3.1.1.6. Synthèse

Le tableau 3.1-q montre l'inventaire des flux de service, d'énergie et de matière traversant les frontières du périmètre restreint pour le scénario 1. Le tableau 3.1-r dresse ce même inventaire pour le scénario 2.

**Tableau 3.1-q. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « structure métallo-textile » pour le scénario 1**

Intrants		Extrants	
Demande de prestation	1	Service rendu (palette.mois)	3840
Profilés d'aluminium neufs (kg)	28	Profilés d'aluminium en fin de vie (kg)	28
Pièces neuves en acier (kg)	28	Pièces acier en fin de vie (kg)	28
Tôles neuves (kg)	0	Tôles en fin de vie (kg)	0
Pièces neuves en toile Ferrari 502 (kg)	45	Pièces toile Ferrari 502 en fin de vie (kg)	45
Pièces neuves en toile Ferrai 602 (kg)	65	Pièces toile Ferrai 602 en fin de vie (kg)	65
Carburant (kg)	418	CO <sub>2</sub> (kg)	1,32.10 <sup>3</sup>
Electricité (kWh)	3,4.10 <sup>3</sup>		
Eau (kg)	1,1.10 <sup>3</sup>	Effluent (kg)	1,1.10 <sup>3</sup>
Détergent (kg)	13		

**Tableau 3.1-r. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « structure métallo-textile » pour le scénario 2**

Intrants		Extrants	
Demande de prestation	1	Service rendu (palette.mois)	27720
Profilés d'aluminium neufs (kg)	178	Profilés d'aluminium en fin de vie (kg)	178
Pièces neuves en acier (kg)	83	Pièces acier en fin de vie (kg)	83
Tôles neuves (kg)	0	Tôles en fin de vie (kg)	0
Pièces neuves en toile Ferrari 502 (kg)	117	Pièces toile Ferrari 502 en fin de vie (kg)	117
Pièces neuves en toile Ferrai 602 (kg)	328	Pièces toile Ferrai 602 en fin de vie (kg)	328
Carburant (kg)	607	CO <sub>2</sub> (kg)	1,92.10 <sup>3</sup>
Electricité (kWh)	4,9.10 <sup>3</sup>		
Eau (kg)	1,2.10 <sup>3</sup>	Effluent (kg)	1,2.10 <sup>3</sup>
Détergent (kg)	14		

### 3.1.2. Entrepôt simple

Le principe de modélisation de cette option est plus aisé puisqu'elle ne fait pas intervenir de boucle de réemploi. Les matériaux de construction sont apportés depuis leur lieu de distribution vers le chantier, l'entrepôt est construit par Locabri et livré à son client. Le client possède l'entrepôt, qui est démoli en fin de vie (la durée de vie considérée est de 50 ans).

Seule la fraction des quantités de matière allouées au service demandé est calculée. Ceci permet d'obtenir un inventaire du périmètre restreint homogène avec celui de l'option « structure métallo-textile ». Pour bien comprendre, tout se passe comme si « seule la partie de l'entrepôt permettant de réaliser le service voulue était construite puis démolie ».

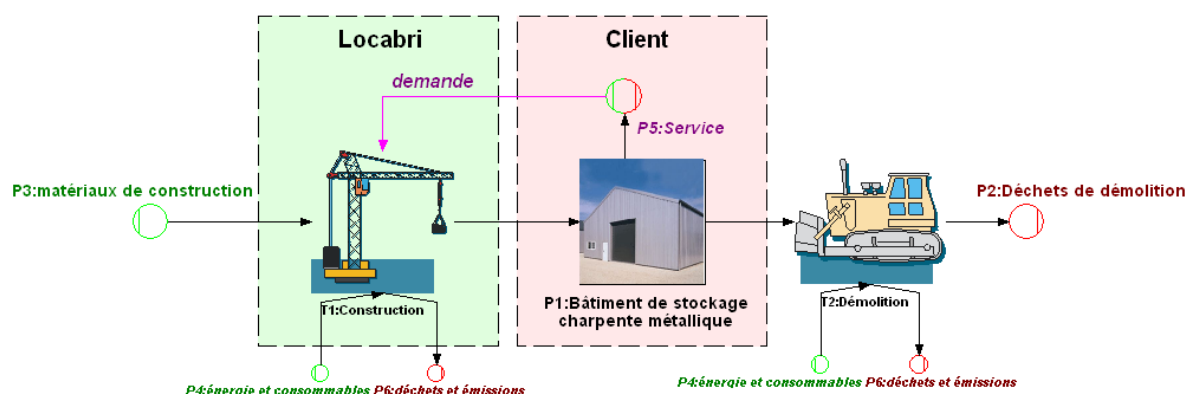


Diagramme 3.1-q. Représentation graphique du modèle de l'option « entrepôt simple » dans Umberto®

Le tableau 3.1-s présente les intrants et extrants du périmètre restreint.

Tableau 3.1-s. Liste des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « entrepôt simple »

Intrants	Extrants
Demande (sans unité)	Service (palette.mois)
Sable (kg)	Déchets d'aluminium (kg)
Gravier (kg)	Déchets d'acier (kg)
Ciment (kg)	Déchets inertes (kg)
Profilés d'aluminium (kg)	Déchets non dangereux (kg)
Charpente en acier galvanisé (kg)	CO2 (kg)
Tôles (kg)	
Armature en acier (kg)	
Laine de roche (kg)	
Laine de verre (kg)	
Carburant diesel (kg)	
Electricité (kWh)	
Eau (kg)	

#### 3.1.2.1. Facteur d'allocation

La règle d'allocation choisie effectue une allocation simple. On suppose que, pendant la durée de l'entreposage (3 ans), l'entrepôt sert uniquement au service, et son taux de remplissage est de 75%. Ensuite, l'entrepôt sert à

d'autres besoins d'entreposage de l'entreprise, avec un taux de remplissage similaire. La règle d'allocation est donc :

$$ALLOC = \frac{DUREE}{DDV} \text{ avec}$$

- DUREE la durée de stockage en années ;
- DDV la durée de vie de l'entrepôt ;

Ainsi, le flux de matériaux alloués au stockage souhaité (**X**) se déduit du flux de matières nécessaires à la construction de l'entrepôt (**XTOTAL**) par la relation :

$$X = ALLOC * XTOTAL$$

Scénario 2 :

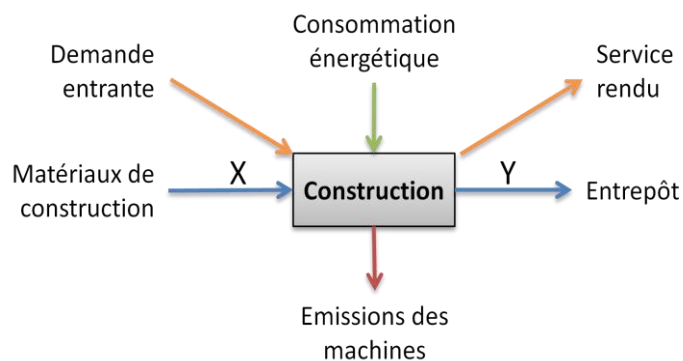
$$ALLOC = \frac{3}{50} = 0,06$$

### 3.1.2.2. Construction de l'entrepôt

L'entrepôt installé est de 685 m<sup>2</sup>. La surface a été définie dans la description du scénario 2 (voir section 2.2.2.2.2).

#### 3.1.2.2.1. Modélisation

La transition « Construction » mobilise des quantités de matériaux de construction et d'énergie pour former l'entrepôt. L'allocation a lieu à cette étape : ce ne sont pas les quantités de matériaux nécessaires à la construction de l'entrepôt en entier, mais uniquement celles allouées au stockage des 770 palettes pendant trois ans.



**Diagramme 3.1-r. Flux connectés à la transition « Construction »**

La transition opère à partir d'un flux virtuel : la commande du bâtiment (*Demande*). Il vaut 1 si la construction est lancée, 0 sinon. En fonction des paramètres d'allocation, la transition calcule les flux de matériaux de construction. Ces flux sont au nombre de neuf, regroupés dans le vecteur **X**:

- sable ( $X_{sable}$ ) ;
- gravier ( $X_{gravier}$ ) ;
- ciment ( $X_{ciment}$ ) ;
- profilés d'aluminium ( $X_{alu}$ ) ;
- élément de charpente en acier galvanisé ( $X_{acier}$ ) ;

- tôles ( $X_{tôles}$ ) ;
- armature d'acier ( $X_{armature}$ ) ;
- laine de roche ( $X_{roche}$ ) ;
- laine de verre ( $X_{verre}$ ).

Le vecteur  $X$  calculé est donc une allocation du vecteur  $XTOTAL$ .

La construction nécessite de l'eau ( $Eau$ ) et de l'énergie. La transition mobilise un flux d'électricité ( $Electricité$ ) et de diesel ( $Carburant$ ). La combustion du diesel génère un flux de  $CO_2$  ( $CO2$ ).

Outre le paramètre d'allocation (voir section précédente), la transition utilise de nouveaux paramètres :

- EAU la quantité totale d'eau nécessaire à la construction de l'entrepôt, en kg ;
- ELECTRICITE la quantité totale d'électricité nécessaire à la construction de l'entrepôt, en kWh ;
- CARBURANT la quantité totale de carburant nécessaire à la construction de l'entrepôt, en kg ;
- $E_{machine}$  le facteur d'émission, en  $kgCO_2$  par kg de diesel consommé dans les machines.

En sortie, la transition « Construction » transmet la fraction de matériaux de construction qui a été nécessaire au service fourni (vecteur sortant  $Y$ ). Un flux immatériel de service est également généré ( $Service$ ).

La transition est définie de la manière suivante :

$(X; Y; Eau; Electricité; Carburant; CO2; Service) = \text{Construction (Commande)}$  avec

$$\left\{ \begin{array}{l} X = ALLOC * XTOTAL \\ Y = X \\ Eau = ALLOC * EAU \\ Electricité = ALLOC * ELECTRICITE \\ Carburant = ALLOC * CARBURANT \\ CO2 = E_{machine} * Carburant \\ Service = PALLETES * DUREE \end{array} \right.$$

### 3.1.2.2.2. Données

#### 3.1.2.2.2.1. Quantité de matériaux de construction

Les données concernant les matériaux de construction sont issues de Locabri. Elles figurent dans l'annexe 7.4.1, ainsi que les étapes de calcul permettant d'obtenir le vecteur  $XTOTAL$  et le paramètre EAU, représentant l'eau nécessaire au béton des fondations. Une analyse de sensibilité sera effectuée sur les données (voir section 4.2.2.1)

$$XTOTAL(685m^2) = (19786 \quad 34465 \quad 9574 \quad 2053 \quad 27207 \quad 9579 \quad 1064 \quad 3936 \quad 684) \text{ kg}$$

La quantité de d'eau nécessaire à la construction du bâtiment <sup>2</sup> est :

$$EAU(685m^2) = 3 \, 833 \text{ kg}$$

### 3.1.2.2.2. Consommation d'électricité et de carburant

Peu de données ont été collectées à ce sujet. Des données très génériques issues de la base de données Ecoinvent 2.2 ont été utilisés (voir tableau 3.1-t).

**Tableau 3.1-t. Données utilisées pour la consommation électrique et de carburant lors de la construction du bâtiment**

Donnée	Valeur	Source
Quantité d'électricité nécessaire à la construction, la maintenance et la démolition d'un hangar en acier (kWh/m²)	10,5	Ecoinvent 2.2 – donnée « Building Hall Steel »
Quantité de diesel nécessaire à la construction et à la démolition d'un hangar en acier (kg/m²)	5,57	Ecoinvent 2.2 – donnée « Building Hall Steel »
Emissions de CO2 dues à la combustion de diesel dans les machines (kg/kg)	3,12	Ecoinvent 2.2 – donnée « diesel, burned in building machine »

Dans Ecoinvent 2.2, l'hypothèse est faite que l'utilisation de diesel dans la construction est principalement liée à l'excavation, et que l'énergie nécessaire à la démolition est deux fois plus importante que l'énergie nécessaire à la construction. La quantité de diesel figurant dans le tableau 3.1-t peut donc être répartie entre la construction (1/3) et la démolition (2/3).

En revanche, aucune hypothèse n'est faite dans Ecoinvent 2.2 pour répartir la quantité d'électricité entre la construction et la démolition. En l'absence d'élément de décision, cette quantité est répartie à parts égales entre la construction et la démolition. Ce choix de répartition n'a pas d'influence sur les résultats globaux qui, même dans le périmètre restreint, prend en compte à la fois la construction et la démolition.

Cette quantité d'électricité couvre également la maintenance, qui est cependant hors périmètre. Etant donnée l'absence de données complémentaires et de l'impact minime de ce flux sur les résultats, il a été choisi de garder cette valeur telle quelle. De plus, cela est en cohérence avec l'approche comparative adoptée.

Une analyse de sensibilité sera effectuée section 4.2.2.2 pour évaluer l'importance de ces paramètres.

Ces données permettent d'évaluer les paramètres suivants :

$$CARBURANT = \frac{1}{3} * 5,57 * 685 = 1,27.10^3 \text{ kg}$$

$$ELECTRICITE = \frac{1}{2} * 10,5 * 685 = 3,60.10^3 \text{ kWh}$$

$$E_{machine} = 3,12$$

#### 3.1.2.2.1. Application numérique

Scénario 2 :

Quantités de matériaux de construction alloués au service rendu

$$X = (1188 \quad 2070 \quad 575 \quad 123 \quad 1634 \quad 575 \quad 64 \quad 236 \quad 41) \text{ kg}$$

Quantité de carburant consommé dans les camions et les machines outils

$$Carburant = 76 \text{ kg}$$

Quantité de CO<sub>2</sub> émis

$$CO_2 = 238 \text{ kg}$$



Quantité d'électricité consommée

$$Electricité = 216 \text{ kg}$$

Quantité d'eau consommée

$$Eau = 230 \text{ kg}$$

### 3.1.2.3. Transport des matériaux de construction vers le chantier

#### 3.1.2.3.1. Modélisation et données

Le périmètre restreint de l'option structure métal-textile inclut l'acheminement des pièces de bases depuis Brignais vers le lieu de la prestation. De même, le périmètre restreint de l'option « entrepôt simple » inclus le transport des matériaux de construction depuis leur lieu de distribution vers le chantier.

La transition « Transport des matériaux » transmet sans modification les flux de matériaux de construction (notés  $X$  en entrée et  $Y$  en sortie), et génère un flux de carburant (*Carburant*) et un flux de  $CO_2$  issu de la combustion du carburant ( $CO_2$ ).

On suppose que le transport est effectué par une entreprise spécialisée dans le transport de marchandises. En suivant les hypothèses retenues dans le fascicule de documentation FD P01-015 relatif à la norme NF P01-010 (AFNOR, 2006), on suppose que le transport est effectué par un camion dont le PTAC est de 24 tonnes. On utilise pour cela des données Ecoinvent 2.2 relatif aux camions dont le PTAC est compris entre 16 et 32 tonnes, et dont la norme d'émission est EURO 4.

Tableau 3.1-u. Données utilisées pour le transport des matériaux de construction

Donnée	Valeur	Source
Quantité de carburant consommé en moyenne par un camion de PTAC 16-32 t (en kg/km)	$2,0536 \cdot 10^{-1}$	Ecoinvent 2.2 – donnée « Operation, lorry 16-32t, EURO 4, RER »
Fraction de véhicule de PTAC 16-32 t nécessaire au déplacement d'un kg de marchandise (en $kg^{-1}$ )	$1,7346 \cdot 10^{-4}$	Ecoinvent 2.2 – donnée « Transport, lorry 16-32t, EURO 4, RER »

Le produit de ces deux données représente la quantité de carburant consommé en moyenne pour le transport d'un kg par un camion de PTAC 16-32 tonnes sur un km, notée  $C_{\text{carburant}}$ .

$$C_{\text{carburant}} = 2,0536 \cdot 10^{-1} \cdot 1,7346 \cdot 10^{-4} = 3,5621 \cdot 10^{-5} \text{ kg/kg/km}$$

La masse des matériaux à transporter est contenue dans le vecteur  $Y$ , généré par la transition « Construction ».

Reste donc à connaître la distance (noté DISTANCE) entre le lieu d'achat et le chantier de chacun des matériaux. En adoptant le scénario de base du fascicule de documentation FD P01-015, cette distance est de 30 km. Le choix d'une telle distance, relativement faible, est conforme à l'approche comparative adoptée.

Enfin, les émissions de  $CO_2$  sont calculées comme précédemment en appliquant un facteur d'émission  $E$  à la quantité de carburant consommée. Ce facteur a déjà été déterminé (cf section 3.1.1.2.2). Il est de 3,17.

La transition est donc définie de la manière suivante :

$$(X; \text{Carburant}; CO_2) = \text{Transport} (Y) \text{ avec}$$

$$\begin{cases} X = Y \\ \text{Carburant} = C_{\text{carburant}} * \text{DISTANCE} * (1 * {}^T X) \\ CO_2 = E_{\text{camion}} * \text{Carburant} \end{cases}$$

où  $1 = (1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1)$

### 3.1.2.3.2. Application numérique

Scénario 2 :

Quantité de matériaux de construction à transporter

$$X = (1188 \quad 2070 \quad 575 \quad 123 \quad 1634 \quad 575 \quad 64 \quad 236 \quad 41) \text{ kg}$$

Quantité de matériaux de construction transportés

$$Y = (1188 \quad 2070 \quad 575 \quad 123 \quad 1634 \quad 575 \quad 64 \quad 236 \quad 41) \text{ kg}$$

Quantité de carburant consommé dans les camions

$$\text{Carburant} = 7,0 \text{ kg}$$

Quantité de CO<sub>2</sub> émis

$$CO_2 = 22 \text{ kg}$$

### 3.1.2.1. Phase de stockage

Ayant éliminé du périmètre l'aménagement intérieur, la maintenance et les consommations énergétiques liées à l'éclairage et au chauffage, aucun flux de matière ni d'énergie n'est à prendre en compte durant la phase de stockage.

### 3.1.2.2. Démolition

#### 3.1.2.2.1. Modélisation

Lorsque l'entrepôt devient obsolète, il est détruit. Cette phase de démolition transforme les flux de matériaux de construction  $X$  en flux de déchets.

On distingue quatre types de déchets :

- Les déchets de construction inertes, composés de sable, de gravier et de béton (armé ou non) – ces déchets comprennent l'acier des armatures, car on suppose que lors de la démolition ces matériaux ne sont pas séparés du béton dans lequel ils sont incorporés ;
- Les déchets d'aluminium (on suppose que les profilés d'aluminium sont séparés du flux de déchets inertes lors de la démolition) ;
- Les déchets d'acier issu de la charpente et de l'habillage (même hypothèse) ;
- Les déchets non dangereux, composés des matériaux d'isolation (même hypothèse).

Ces quatre flux sortent du périmètre restreint. Ils forment le vecteur de déchets  $Y$ .

$$(Y_{\text{alu}} \quad Y_{\text{acier}} \quad Y_{\text{inerte}} \quad Y_{\text{autres}})$$

On construit le vecteur  $L1$  qui permet de sélectionner les composants de  $X$  qui se transforment en déchets d'aluminium. Il s'agit seulement du quatrième composant, les profilés d'aluminium. On pose :

$$\mathbf{L1} = (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

De part cette construction, le produit matriciel  $\mathbf{X} \cdot \mathbf{L1}$  permet de calculer  $Y_{\text{alu}}$ .

De même on construit le vecteur  $\mathbf{L2}$  qui permet de sélectionner les flux de  $\mathbf{X}$  qui se transforment en déchets d'acier. Ces flux sont : la charpente acier et les tôles. On pose :

$$\mathbf{L2} = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

De part cette construction, le produit matriciel  $\mathbf{X} \cdot \mathbf{L2}$  permet de calculer  $Y_{\text{acier}}$ .

On construit pareillement  $\mathbf{L3}$  pour les déchets inertes (le sable, le gravier, le ciment et l'acier d'armature) et  $\mathbf{L4}$  pour les déchets non dangereux (laine de roche et laine de verre).

$$\mathbf{L3} = (1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0)$$

$$\mathbf{L4} = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1)$$

Enfin, on construit la matrice **DECHETS** composée de  $\mathbf{L1}$ ,  $\mathbf{L2}$ ,  $\mathbf{L3}$  et  $\mathbf{L4}$ :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Ainsi, le produit matriciel  $\mathbf{X} \cdot \mathbf{DECHETS}$  permet de calculer  $\mathbf{Y}$ .

En outre, à l'image de la transition « Construction », « Démolition » génère :

- une consommation électrique (*Electricité*) calculée à partir du paramètre ELECTRICITE, qui exprime la quantité totale d'électricité nécessaire à la démolition de l'entrepôt, en kWh ;
- une consommation de carburant (*Carburant*) calculée à partir du paramètre CARBURANT, qui exprime la quantité totale de carburant nécessaire à la démolition de l'entrepôt, en kg ;
- des émissions de CO<sub>2</sub> (CO2) calculées avec le facteur d'émission  $E_{\text{machines}}$ .

La transition est définie de la manière suivante :

$(\mathbf{Y}; \text{Carburant}; \text{Electricité}; \text{CO2}) = \text{Démolition}(\mathbf{X})$  avec

$$\begin{cases} \mathbf{Y} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{DECHETS} \\ \text{Carburant} = \text{ALLOC} \cdot \text{CARBURANT} \\ \text{Electricité} = \text{ALLOC} \cdot \text{ELECTRICITE} \\ \text{CO2} = E_{\text{machine}} \cdot \text{Carburant} \end{cases}$$

#### 3.1.2.2.2. Données

Les consommations énergétiques liées à la démolition sont les quantités complémentaires de la consommation énergétiques liées à la construction (voir section 3.1.2.2.2.2).

$$\text{CARBURANT} = \frac{2}{3} * 5,57 * 685 = 2,54.10^3 \text{ kg}$$

$$\text{ELECTRICITE} = \frac{1}{2} * 10,5 * 685 = 3,60.10^3 \text{ kWh}$$

#### 3.1.2.2.1. Application numérique

| Scénario 2 :

Déchets liés au service rendu	$Y = (3896 \quad 2209 \quad 123 \quad 277)$
Quantité de carburant consommé dans les camions et les machines outils	$Carburant = 153 \text{ kg}$
Quantité de CO <sub>2</sub> émis	$CO_2 = 476 \text{ kg}$
Quantité d'électricité consommée	$Electricité = 216 \text{ kg}$

### 3.1.2.3. Synthèse

Le tableau 3.1-x dresse le bilan de matière, énergie et service du périmètre restreint pour le scénario 2.

**Tableau 3.1-v. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « entrepôt simple » pour le scénario 2**

Intrants		Extrants	
Demande de prestation	1	Service rendu (palette.mois)	27720
Sable (kg)	1188	Déchets d'aluminium (kg)	123
Gravier (kg)	2070	Déchets d'acier (kg)	2209
Ciment (kg)	575	Déchets inertes (kg)	3896
Profilés d'aluminium (kg)	123	Déchets non dangereux (kg)	277
Charpente en acier galvanisé (kg)	1634	CO <sub>2</sub> (kg)	$7,4.10^2$
Tôles (kg)	575		
Armature en acier (kg)	64		
Laine de roche (kg)	236		
Laine de verre (kg)	41		
Carburant diesel (kg)	$2,4.10^2$		
Eau (kg)	$2,3.10^2$		
Electricité (kWh)	$4,3.10^2$		

### 3.1.3. Prestation logistique

La modélisation de la prestation logistique combine une phase de transport entre l'entreprise désirant stocker et l'entrepôt logistique, et la construction/démolition de cet entrepôt, dont le principe de modélisation est identique à la construction de l'entrepôt simple.

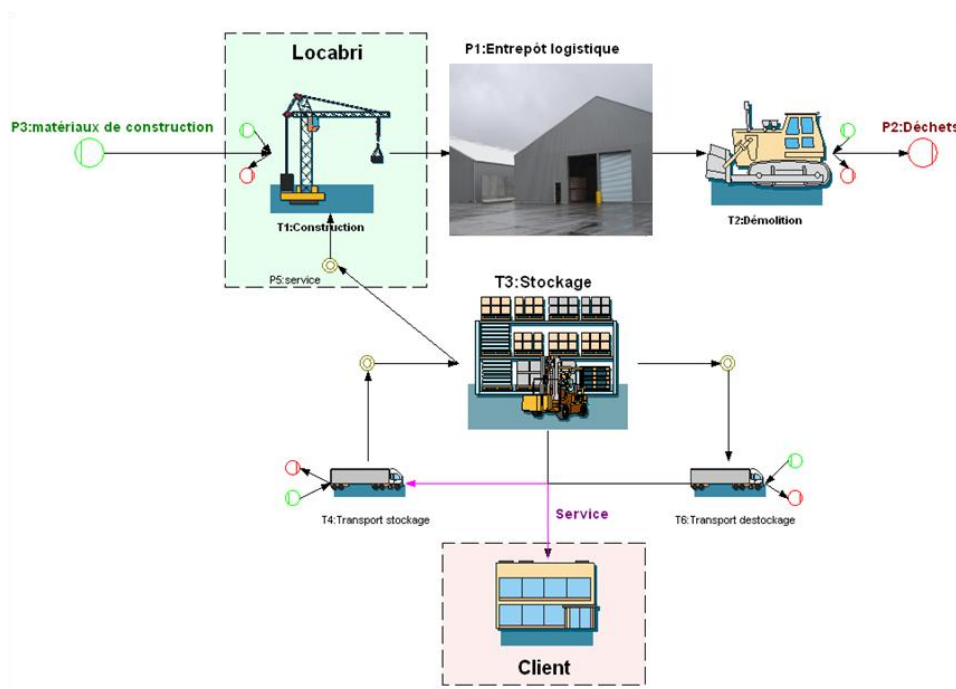


Diagramme 3.1-s. Schéma du périmètre restreint de l'option « prestation logistique » dans Umberto©

Le tableau 3.1-w présente l'ensemble des intrants et extrants du périmètre restreint.

Tableau 3.1-w. Liste des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « prestation logistique »

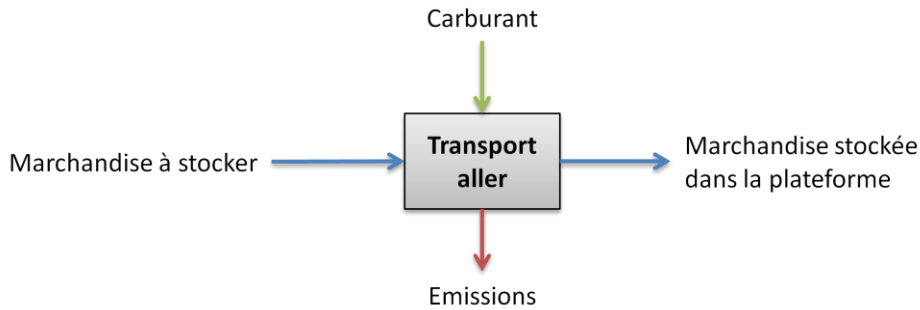
Intrants	Extrants
Demande Sable (kg) Gravier (kg) Ciment (kg) Profilés d'aluminium (kg) Charpente en acier galvanisé (kg) Tôles (kg) Armature en acier (kg) Laine de roche (kg) Laine de verre (kg) Carburant diesel (kg) Electricité (kWh) Eau (kg)	Service (palette.mois) Déchets d'aluminium (kg) Déchets d'acier (kg) Déchets inertes (kg) Déchets non dangereux (kg) CO2 (kg)

### 3.1.3.1. Transport aller et retour des marchandises

#### 3.1.3.1.1. Modélisation et données

Le transport se décompose en deux étapes : le transport aller des marchandises, et le transport retour.

La transition « Transport aller » transmet sans modification le flux de palettes (notés  $X$  en entrée et  $Y$  en sortie), et génère un flux de carburant (*Carburant*) et un flux de  $CO_2$  issu de la combustion du carburant ( $CO_2$ ).



**Diagramme 3.1-t. Schéma des flux de la transition « Transport aller »**

On suppose que le transport est effectué par une entreprise spécialisée dans le transport de marchandises, avec poids lourds de PTAC 24 tonnes. On peut utiliser, comme pour la modélisation du transport des matériaux de construction, les données de consommation de carburant par tonne transporté et par km parcouru. On utilise donc le paramètre  $C_{\text{carburant}}$  et calculé section 3.1.2.3.

$$C_{\text{carburant}} = 3,5621 \cdot 10^{-5} \text{ kg/kg/km}$$

La description du scénario 1 précise que la masse des palettes  $M_{\text{palette}}$  est de 500 kg, et que la distance séparant l'entreprise désirant stocker et la plateforme de stockage,  $D_{\text{plateforme}}$ , est de 30 km.

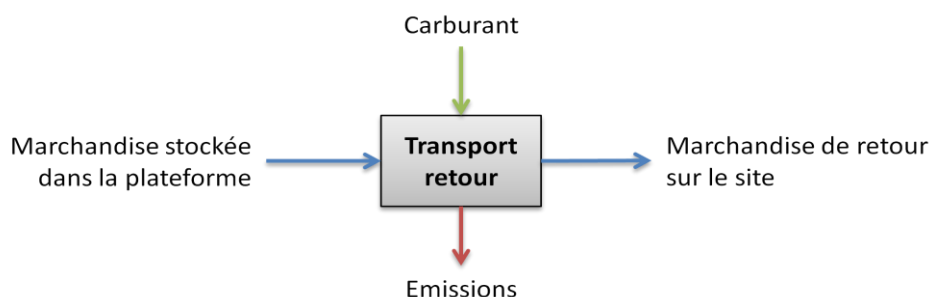
Le nombre de palettes à transporter est plus grand que le nombre de palettes à stocker. En effet, un certain taux de rotation des marchandises par mois a été défini dans le scénario 1. Ce taux, noté  $T_x$ , vaut 20%. Autrement dit, chaque mois, 20% des 320 palettes quittent l'entrepôt et le même nombre doivent venir les remplacer, et ce, pendant toute la durée de stockage, notée DUREE (en mois). Le nombre total de palettes à transporter est donc :

$$320 + 12 * (0,2 * 320) = 1088$$

La transition est définie de la manière suivante :

$(Y; \text{Carburant}; CO_2) = \text{Transport aller } (X)$  avec

$$\begin{cases} Y = X \\ \text{Carburant} = C_{\text{carburant}} * D_{\text{plateforme}} * M_{\text{palette}} * X * (1 + 0,2 * \text{DUREE}) \\ CO_2 = E_{\text{camion}} * \text{Carburant} \end{cases} \quad \mathbf{b}$$



**Diagramme 3.1-u Schéma des flux de la transition « Transport retour »**

Le transport retour est défini de la même manière :

$(Y; Carburant; CO_2) = \text{Transport retour } (X)$  avec

$$\begin{cases} Y = X \\ Carburant = C_{\text{carburant}} * D_{\text{plateforme}} * M_{\text{palette}} * X * (1 + 0,2 * DUREE) \\ CO_2 = E_{\text{camion}} * Carburant \end{cases}$$

### 3.1.3.1.2. Application numérique

*Scénario 1 :*

Nombre de palettes à stocker (transport aller)

$$X = 320 \text{ palettes}$$

Nombre de palettes stockées (transport aller)

$$Y = 320 \text{ palettes}$$

Carburant consommé (transport aller)

$$Carburant = 581 \text{ kg}$$

CO<sub>2</sub> émis (transport aller)

$$CO_2 = 1843 \text{ kg}$$

Nombre de palettes à stocker (transport retour)

$$X = 320 \text{ palettes}$$

Nombre de palettes stockées (transport retour)

$$Y = 320 \text{ palettes}$$

Carburant consommé (transport retour)

$$Carburant = 581 \text{ kg}$$

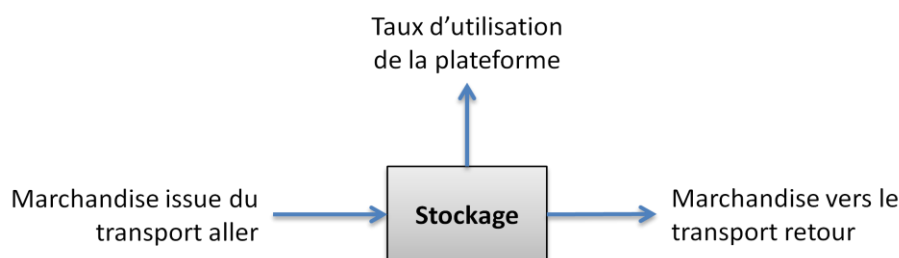
CO<sub>2</sub> émis (transport retour)

$$CO_2 = 1843 \text{ kg}$$

### 3.1.3.2. Calcul du facteur d'allocation de la plateforme logistique

#### 3.1.3.2.1. Modélisation et données

Entre le transport aller et le transport retour, une transition appelée « Stockage » calcule le taux d'utilisation de la plateforme logistique sur l'ensemble sa durée de vie pour la présente prestation (*TxUtilisation*). Ce taux d'utilisation sera transmis à la partie du modèle simulant la construction et la démolition de la plateforme logistique.



**Diagramme 3.1-v. Schéma des flux de la transition « Stockage »**

Le taux d'utilisation est similaire à un facteur d'allocation. Une double allocation est effectuée : une allocation temporelle (l'entrepôt n'est utilisé qu'un an sur toute sa durée de vie), et une allocation spatiale (seulement une partie de l'entrepôt est mobilisée pour la prestation). Ce calcul nécessite de connaître :

- la capacité de stockage de la plateforme logistique (CAPACITE, en nombre de palettes standards),
- le taux de remplissage (TXREPLISSAGE),
- la durée de vie de référence du bâtiment (DDV)
- et enfin la durée de la prestation (DUREE), fixée à 1 ans dans le scénario 1.

En outre, la transition stockage transmet le flux de palettes ( $Y=X$ , exprimés en nombre de palettes).

La transition « Stockage » est définie comme suit :

$$(Y; TxUtilisation) = \text{Stockage}(X) \text{ avec}$$

$$\begin{cases} Y = X \\ TxUtilisation = \frac{DUREE}{DDV} * \frac{X}{TXREPLISSAGE * CAPACITE} \end{cases}$$

Tous les paramètres ont été définis dans la description du scénario (voir section 2.2.2.2). Le tableau 3.1-x rappelle la valeur de ces paramètres.

**Tableau 3.1-x. Paramètres permettant l'allocation des flux de matière nécessaires à la construction et la démolition de l'entrepôt de l'option « entrepôt simple »**

Paramètre	Valeur
DUREE	1 an
DDV	50 ans
PALETTES	320
TXREPLISSAGE	85%
CAPACITE	1,5*4000=6000

### 3.1.3.2.2. Application numérique

*Scénario 1 :*

Nombre de palettes à stocker

$$X = 320$$

18 mois plus tard, nombre de palettes à déstocker

$$Y = 320$$

Taux d'utilisation de la plateforme logistique lié au stockage

$$TxUtilisation = \frac{1}{50} \cdot \frac{320}{0,85 \cdot 6000} = 0,001255 \%$$



### 3.1.3.3. Construction de la plateforme logistique

#### 3.1.3.3.1. Modélisation

La transition « Construction » modélisant la construction de l'entrepôt logistique est bâtie sur le même modèle que celle modélisant la construction de l'entrepôt simple. Ici, le flux *Commande* est remplacé par le flux *TxUtilisation* qui contient le facteur d'allocation. Les autres flux sont les suivants :

- Le vecteur **X** contient la part des flux de matériaux nécessaires à la construction (**XTOTAL**) qui sont alloués à la prestation. Ce vecteur **X** est similaire à celui de l'option « entrepôt simple » : il possède 7 composants correspondants aux flux en kg de :
  - sable ( $X_{sable}$ ) ;
  - gravier ( $X_{gravier}$ ) ;
  - ciment ( $X_{ciment}$ ) ;
  - profilés d'aluminium ( $X_{alu}$ )
  - élément de charpente en acier galvanisé ( $X_{acier}$ ) ;
  - tôles ( $X_{tôles}$ ) ;
  - armature d'acier ( $X_{armature}$ ) ;
  - laine de roche ( $X_{roche}$ ) ;
  - laine de verre ( $X_{verre}$ ).
- Ces flux de matériaux de construction sont transmis en aval (**Y**).
- *Electricité* correspond à la part de la consommation électrique totale nécessaire à la construction de la plateforme (ELECTRICITE) qui est allouée à la prestation.
- *Carburant* correspond à la part de carburant nécessaire à la construction de la plateforme (CARBURANT) qui est allouée à la prestation.
- *CO2* correspond au flux de CO<sub>2</sub> généré par l'utilisation du carburant.

La transition est donc définie de la manière suivante :

$(X; Y; Electricité; Carburant; CO2) = Construction(TxUtilisation)$  avec

$$\begin{cases} X = TxUtilisation * XTOTAL \\ Y = X \\ Electricité = TxUtilisation * ELECTRICITE \\ Carburant = TxUtilisation * CARBURANT \\ CO2 = E_{machine} * Carburant \end{cases}$$

#### 3.1.3.3.2. Données

##### 3.1.3.3.2.1. Quantité de matériaux de construction

Les données concernant les matériaux de construction sont issues de Locabri. Elles figurent dans l'annexe 7.4.1, ainsi que les étapes de calcul permettant d'obtenir le vecteur **XTOTAL**. Une analyse de sensibilité sera effectuée sur les données (voir section 4.2.2.1).

$XTOTAL(4000m^2) = (115630 \quad 201420 \quad 55950 \quad 12000 \quad 159000 \quad 55984 \quad 6217 \quad 23000 \quad 4000) \text{ kg}$

### 3.1.3.3.2. Consommation électrique et de carburant

On utilise le même raisonnement et les mêmes données que lors de la modélisation de l'option « entrepôt simple ». Le calcul des paramètres est donc le suivant :

$$CARBURANT = \frac{1}{3} * 5,57 * 6000 = 7,43.10^4 \text{ kg}$$

$$ELECTRICITE = \frac{1}{2} * 10,5 * 6000 = 2,10.10^5 \text{ kWh}$$

### 3.1.3.3.3. Application numérique

Scénario 2 :

Quantités de matériaux de construction allouées au service rendu

$$X = (145 \quad 253 \quad 70 \quad 15 \quad 200 \quad 70 \quad 8 \quad 29 \quad 5) \text{ kg}$$

Quantité de carburant consommé dans les machines outils

$$Carburant = 9 \text{ kg}$$

Quantité de CO<sub>2</sub> émis

$$CO_2 = 29 \text{ kg}$$

Quantité d'électricité consommée

$$Electricité = 26 \text{ kWh}$$

### 3.1.3.4. Transport des matériaux de construction vers le chantier

#### 3.1.3.4.1. Modélisation et données

On utilise le même raisonnement et les mêmes données que lors de la modélisation de l'option « entrepôt simple » (section 3.1.2.3). On a donc les paramètres suivants :

- La consommation de carburant par kg transporté et par km parcouru :

$$C_{\text{carburant}} = 3,5621.10^{-5} \text{ kg/kg/km}$$

- La distance à parcourir DISTANCE = 30km.

La transition est donc définie de la manière suivante :

$$(X; Carburant; CO_2) = \text{Transport}(Y) \text{ avec}$$

$$\begin{cases} X = Y \\ Carburant = C_{\text{carburant}} * DISTANCE * (1 * {}^T X) \\ CO_2 = E * Carburant \end{cases}$$

#### 3.1.3.4.2. Application numérique

Scénario 1 :

Matériaux de construction à transporter

$$X = (145 \quad 253 \quad 70 \quad 15 \quad 200 \quad 70 \quad 8 \quad 29 \quad 5) \text{ kg}$$

Matériaux de construction transportés

$$Y = (145 \quad 253 \quad 70 \quad 15 \quad 200 \quad 70 \quad 8 \quad 29 \quad 5) \text{ kg}$$

Carburant consommé

CO <sub>2</sub> émis	Carburant = 0,9 kg
	CO <sub>2</sub> = 2,7 kg

### 3.1.3.5. Démolition

#### 3.1.3.5.1. Modélisation

Lorsque l'entrepôt devient obsolète, il est détruit. On utilise le même raisonnement et les mêmes données que lors de la modélisation de l'option « entrepôt simple » (section 3.1.2.2).

- Quatre flux de déchets sont générés (**Y**) :
  - les déchets d'aluminium,
  - les déchets d'acier,
  - les déchets inertes,
  - les déchets non dangereux.
- On construit la matrice **DECHETS** comme dans la section 3.1.2.2.

La transition est définie de la manière suivante :

(**Y**; Carburant; Electricité; CO<sub>2</sub>) = Démolition (**X**) avec

$$\begin{cases} \mathbf{Y} = \mathbf{X} * {}^T\mathbf{DECHETS} \\ \text{Carburant} = \text{TxUtilisation} * \text{CARBURANT} \\ \text{Electricité} = \text{TxUtilisation} * \text{ELECTRICITE} \\ \text{CO}_2 = E_{\text{machine}} * \text{Carburant} \end{cases}$$

#### 3.1.3.5.2. Données

Les consommations énergétiques liées à la démolition sont les quantités complémentaires de la consommation énergétiques liées à la construction (voir section 3.1.2.2).

$$\text{CARBURANT} = \frac{2}{3} * 5,57 * 6000 = 1,49.10^5 \text{kg}$$

$$\text{ELECTRICITE} = \frac{1}{2} * 10,5 * 6000 = 2,10.10^5 \text{kWh}$$

#### 3.1.3.5.1. Application numérique

Scénario 2 :

Déchets liés au service rendu

$$\mathbf{Y} = (476 \quad 270 \quad 15 \quad 34) \text{ kg}$$

Quantité de carburant consommé dans les machines outils

$$\text{Carburant} = 19 \text{ kg}$$

Quantité de CO<sub>2</sub> émis

$$\text{CO}_2 = 58 \text{ kg}$$

Quantité d'électricité consommée

$$\text{Electricité} = 26 \text{ kWh}$$

### 3.1.3.1. Synthèse

Le tableau 3.1-y dresse le bilan de matière, énergie et service du périmètre restreint de l'option « plateforme logistique » pour le scénario 1.

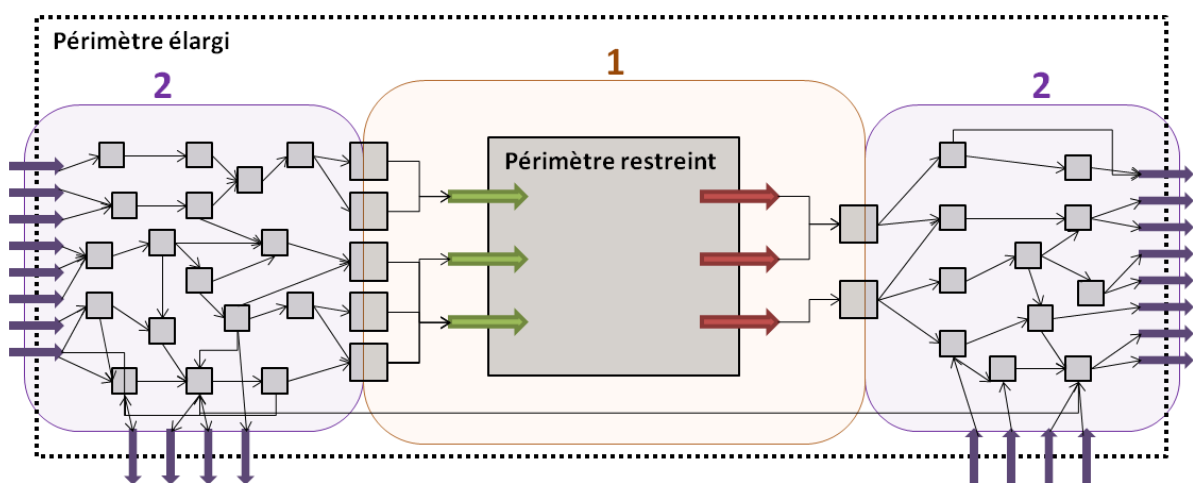
**Tableau 3.1-y. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « prestation logistique » pour le scénario 1.**

Intrants		Extrants	
Demande de prestation	1	Service rendu (palette.mois)	27720
Sable (kg)	145	Déchets d'aluminium (kg)	476
Gravier (kg)	253	Déchets d'acier (kg)	270
Ciment (kg)	70	Déchets inertes (kg)	15
Profilés d'aluminium (kg)	15	Déchets non dangereux (kg)	34
Charpente en acier galvanisé (kg)	200	CO2 (kg)	3,78.103
Tôles (kg)	70		
Armature en acier (kg)	8		
Laine de roche (kg)	29		
Laine de verre (kg)	5		
Carburant diesel (kg)	1,19.103		
Eau (kg)	28		
Electricité (kWh)	53		

## 3.2. Périmètre élargi

L'inventaire du périmètre restreint est un inventaire *gate-to-gate*. Connecter le *gate* amont et le *gate* aval à une base de données d'inventaires de cycle de vie (ICV) permet d'effectuer une analyse ACV *cradle-to-grave*. Cette modélisation est réalisée à l'aide de l'outil d'ACV SimaPro v7.3.3, et utilise la base de données Ecoinvent 2.2. Le principe est de construire une « brique élémentaire » correspondant au périmètre restreint. Cette brique est constituée des intrants et extrants calculés précédemment. Ces flux sont connectés à des données d'ICV issues de la base de données. L'architecture de la base permet à l'outil de calculer l'ensemble des flux de base du périmètre élargi (voir diagramme 3.2-a)

Les données d'ICV concernant les toiles Ferrari 502 et 602 sont des données primaires construites lors d'une étude réalisée par EVEA (2008).



1. Construction de la brique élémentaire du périmètre restreint avec des briques élémentaires de la base de données

2. Calcul de l'ICV à l'aide de l'outil SimaPro 7.3.3 utilisant la base de données Ecoinvent 2.2

Diagramme 3.2-a. Schéma illustrant le passage du périmètre restreint au périmètre élargi pour le calcul de l'ICV *cradle-to-grave* du système

### 3.2.1. Structure métallo-textile

Le tableau 3.2-a rappelle les intrants et extrants du périmètre restreint. Ils constituent la brique élémentaire « périmètre restreint ». Chacun de ces flux est à reconstruire à l'aide de briques élémentaires de la base de données Ecoinvent 2.2 ou de briques construites lors d'autres études, comme c'est le cas pour les toiles Ferrari 502 et 602.

Plusieurs changements mineurs ont été effectués par rapport au tableau 3.1-a des intrants et extrants du périmètre restreint.

- Le flux de CO<sub>2</sub> a été retiré car il est recalculé directement à partir de données d'ICV représentant la combustion du carburant (voir plus bas section 3.2.1.1.5).

- Le carburant a été divisé en deux flux : le carburant utilisé par les machines outils et le carburant utilisé par les camions. En effet, les facteurs d'émissions de ces deux types de combustion ne sont pas identiques.
- Le flux de demande n'est pas pris en compte. Ce dernier avait comme unique rôle d'amorcer le calcul des flux dans la modélisation faite dans Umberto®.

**Tableau 3.2-a. Intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « structure métallo-textile » qui sont à connecter à des données d'ICV**

Intrants	Extrants
Profilés d'aluminium neufs (kg)	Service rendu (palette.mois)
Pièces neuves en acier (kg)	Profilés d'aluminium en fin de vie (kg)
Tôles neuves (kg)	Pièces acier en fin de vie (kg)
Pièces neuves en toile Ferrari 502 (kg)	Tôles en fin de vie (kg)
Pièces neuves en toile Ferrai 602 (kg)	Pièces toile Ferrari 502 en fin de vie (kg)
Carburant des camions (kg)	Pièces toile Ferrai 602 en fin de vie (kg)
Carburant des machines outils (kg)	Effluent (kg)
Electricité (kWh)	
Eau (kg)	
Détergent (kg)	

### **3.2.1.1. Intrants**

#### *3.2.1.1.1. Profilés d'aluminium neufs*

Trois briques sont nécessaires aux profilés d'aluminium neufs :

- l'aluminium semi-manufacturé ;
- l'étape d'extrusion ;
- le transport depuis le lieu d'extrusion vers Locabri.

Le tableau 3.2-b détaille les données utilisées.

**Tableau 3.2-b. Données d'ICV connectées au flux « profilés d'aluminium neufs » du périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de profilé d'aluminium neufs	Aluminium, production mix, at plant/RER	1 kg	Représentatif de l'Europe. Un mix de production entre l'aluminium primaire et secondaire est utilisé.
	Section bar extrusion, aluminium/RER	1 kg	Représentatif de l'Europe. Inclus le transport depuis l'usine d'aluminium jusqu'au lieu d'extrusion ainsi que les chutes d'aluminium.
	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	On suppose que le lieu d'extrusion est situé à 30 km de Locabri, que le transporteur utilise camion de PTAC 24 tonnes, et que le camion est à la norme EURO 4.

### 3.2.1.1.2. Pièces d'acier neuves

Ce flux comprend des pièces d'une très grande diversité, aussi bien des câbles que des profilés ou des pièces de visserie. La majorité des pièces sont galvanisées, la couche de zinc est d'environ 30µm. Seule une partie, minoritaire, n'est pas galvanisée. Pour simplifier, on suppose que toutes les pièces le sont, ce choix étant conforme à l'approche comparative adoptée.

Quatre briques sont nécessaires aux pièces d'acier neuves :

- l'acier semi-manufacturé ;
- l'étape de confection des pièces ;
- la galvanisation ;
- le transport entre ces étapes et le transport final jusqu'à Locabri.

Le tableau 3.2-c détaille les données utilisées.

**Tableau 3.2-c. Données d'ICV connectées au flux « pièces d'acier neuves » du périmètre restreint**

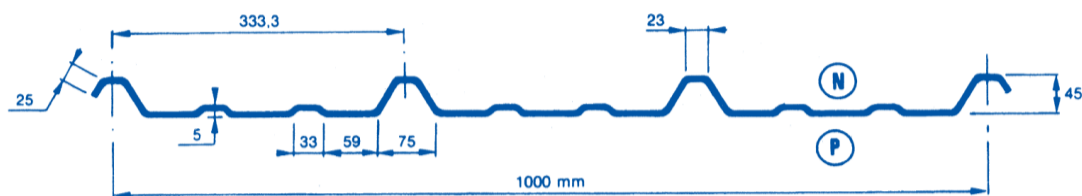
Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de pièces d'acier neuves	Steel, low-alloyed, at plant/RER	1 kg	Inclut un mix de production d'acier représentatif de l'Europe.
	Steel product manufacturing, average metal working/RER	1 kg	Cet ICV inclut une diversité de procédés industriels permettant d'obtenir un produit fini à partir d'acier semi-manufacturé. Le taux de chute est de 22,7%.
	Zinc coating, coils/RER	0.064 m <sup>2</sup>	Représente une étape de galvanisation générique. L'épaisseur de zingage est comprise entre 20 et 45 µm, ce qui correspond aux informations collectées chez Locabri (30 µm). La donnée Ecoinvent 2.2 précise qu'en moyenne, 1 kg de pièces d'acier correspond à une surface de zingage de 0.064 m <sup>2</sup> . Face à la diversité des pièces, cette valeur a été retenue. Inclus le transport vers le lieu de galvanisation.
	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	On suppose que le transporteur utilise un camion de PTAC 24 tonnes, et que le camion est à la norme EURO 4. On suppose que 30 km sont parcourus.

### 3.2.1.1.3. Tôles neuves

Quatre briques sont nécessaires aux tôles neuves :

- l'acier semi-manufacturé ;
- le laminage des tôles ;
- la galvanisation ;
- le transport.

Contrairement aux pièces d'acier qui constituent un ensemble hétérogène, le flux de tôles neuves est homogène. La masse surfacique d'une tôle est de 7,18 kg/m<sup>2</sup>. Toutes les tôles ont la même géométrie, exposée dans la figure 3.2-a.



**Figure 3.2-a. Caractéristiques géométriques des tôles utilisées par Locabri**

Cette géométrie permet de déduire la longueur curviligne d'un mètre linéaire de tôle : 1,397 m. Puisque la galvanisation est réalisée sur les deux faces, la surface à galvaniser d'une tôle d'un mètre linéaire par un mètre de hauteur est de :

$$2 * 1,397 = 2,794 \text{ m}^2$$

Puisque la masse de cette même tôle est de 7,18 kg, la surface à galvaniser par kg de tôle est de :



$$\frac{2,794}{7,18} = 0,389 \text{ m}^2/\text{kg}$$

Le tableau 3.2-d détaille les données utilisées.

**Tableau 3.2-d. Données d'ICV connectées au flux « tôles neuves » entrant le périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de tôles neuves	Steel, low-alloyed, at plant/RER	1 kg	Inclus un mix de production d'acier représentatif de l'Europe.
	Sheet rolling, steel/RER	1 kg	Représente un mix de procédés permettant d'obtenir des plaques fines d'acier ; technologies utilisées dans l'union européenne.
	Zinc coating, coils/RER	3.89 m <sup>2</sup>	Représente une étape de galvanisation générique. L'épaisseur de zingage est comprise entre 20 et 45 µm. Inclus le transport vers le lieu de galvanisation.
	Transport, lorry 16-32, EURO4/RER	30 kgkm	On suppose que le transporteur utilise un poids lourd de PTAC 24 tonnes, et que le camion est à la norme EURO 4. On suppose que 30 km sont parcourus.

#### 3.2.1.1.4. Pièces en toile Ferrari 502 et 602 neuves

Un ICV des toiles Ferrari 502 et 602 a déjà été réalisée par EVEA (2008). Cet ICV correspond à la production d'un mètre carré de toile, conditionné et prêt à l'expédition. La production a lieu à la Tour du Pin (38).

Pour connecter le flux de pièces de toiles neuves à cet ICV, il est nécessaire de prendre en compte une étape de découpe et de finition (pour, par exemple, la réalisation des joncs).

- Cette étape génère un taux de chute de 3% (chiffre communiqué par Serge Ferrari).
- On utilise la consommation électrique calculée pour la réparation d'un kg de toile, soit 0,5 kWh (cf section 3.1.1.3.2.4).
- Un transport de 65 km par camion de PTAC 24 tonnes est pris en compte (distance La Tour du Pin – Brignais).

On rappelle que la masse surfacique d'une toile Ferrari 502 est de 0,59 kg/m<sup>2</sup>, celle d'une toile Ferrari 602 est de 0,65 kg/m<sup>2</sup>.

Le tableau 3.2-e détaille les données utilisées.

**Tableau 3.2-e. Données d'ICV connectées aux flux « pièces de toile Ferrari 502 » et « pièces de toile Ferrari 602 » entrant le périmètre restreint**

Flux	Donnée	Valeur	Commentaires
1 kg de pièces en toile Ferrari 502	Precontraint 502	(1/0,59)*1,03 m <sup>2</sup>	Données créées par EVEA (2008). Cet ICV correspond à 1 m <sup>2</sup> de toile. Le taux de chute de 3% est pris en compte.
	Electricity, medium voltage, at grid/FR	0,5 kWh	Correspond au mix électrique français
	Transport, lorry 16-32, EURO4/RER	65 kgkm	On suppose que le transporteur utilise un poids lourd de PTAC 24 tonnes, et que le camion est à la norme EURO 4.
1 kg de pièces en toile Ferrari 602	Precontraint 602	(1/0,65)*1,03 m <sup>2</sup>	Données créées par EVEA (2008). Cet ICV correspond à 1 m <sup>2</sup> de toile. Le taux de chute de 3% est pris en compte.
	Electricity, medium voltage, at grid/FR	0,5 kWh	Correspond au mix électrique français
	Transport, lorry 16-32, EURO4/RER	65 kgkm	On suppose que le transporteur utilise un poids lourd de PTAC 24 tonnes, et que le camion est à la norme EURO 4.

#### 3.2.1.1.5. Carburant

On distingue le carburant utilisé par les camions du carburant utilisé dans les machines outils.

- Le flux de carburant utilisé par les camions est connecté à une donnée d'ICV représentant la combustion de carburant dans le type de camion habituellement pris dans cette étude, conformément au scénario de transport suggéré par le FD P01-015.
- Le flux de carburant utilisé par les machines outils est connecté à une donnée d'ICV représentant la combustion de carburant dans des machines outils utilisés dans la construction.

Le tableau 3.2-f détaille les données utilisées.

**Tableau 3.2-f. Données d'ICV connectées aux flux « carburant des camions » et « carburant des machines outils » entrant le périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de carburant des camions	Operation, lorry 16-32t, EURO4/RER	1/0,20539 km	La valeur choisie correspond à la consommation d'un kg de carburant
1 kg de carburant des machines outils	Diesel, burned in building machine/GLO	1/0,0234 MJ	La valeur choisie correspond à la consommation d'un kg de carburant

L'intérêt de choisir ces données d'ICV est qu'elles contiennent toutes les données d'émissions liées à la combustion de carburant, données importantes pour le calcul des impacts (NOx, COV, etc.).

### 3.2.1.1.6. Electricité et eau

Le tableau 3.2-g détaille les données utilisées.

**Tableau 3.2-g. Données d'ICV connectées aux flux « électricité » et « eau » entrant le périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kWh d'électricité	Electricity, medium voltage, at grid/FR	1 kWh	Toutes les consommations d'électricité ont lieu en France. La donnée d'ICV correspondant à l'électricité fournie sur le réseau français est sélectionnée.
1 kg d'eau	Tap water, at user/RER	1 kg	Donnée représentative de l'Europe

### 3.2.1.1.7. Détergent

Ce flux est composé d'un détergent alcalin et d'un autoséchant, dont les produits actifs représentent environ 25% de la composition. N'ayant pas de données de composition précise, des données génériques de détergents issus de la base Ecoinvent 2.2 ont été utilisés. L'analyse de sensibilité effectuée section 4.2.3.2 montre que ce choix n'influence pas les résultats de manière sensible. Le tableau 3.2-h détaille les données utilisées.

**Tableau 3.2-h. Données d'ICV connectées au flux « détergent » entrant le périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de détergent	Sodium perborate, monohydrate, powder, at plant/RER	0,1 kg	Agent blanchissant
	Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER	0,1 kg	Détergent
	Ethoxylated alcohols, unspecified, at plant/RER	0,1 kg	Tensio-actif
	Tap water, at user/RER	0,7 kg	Le détergent est une solution aqueuse
	Transport, lorry 16-32, EURO4/RER	30 kgkm	On suppose que le transporteur utilise un poids lourd de type routier, et que le camion est à la norme EURO 4. On suppose que 30 km sont parcourus.

### 3.2.1.2. Extrants

Les flux de déchets solides sortant du périmètre restreint sont tous envoyés en filière de recyclage. Comme précisé section 2.3.3, il a été choisi de se baser sur les recommandations de la norme NF P 01 010 relative aux matériaux de construction et du fascicule de documentation FD P01-015 (AFNOR, 2004 et 2006). Dans cette approche, seul le transport des déchets vers le lieu de valorisation est inclus dans le système. Les bénéfices du recyclage ne sont donc pas alloués au cycle de vie.

### 3.2.1.2.1. Profils d'aluminium, pièces d'acier et tôles en fin de vie

Tous les profils d'aluminium, pièces d'acier et tôles en fin de vie sont récupérés par une entreprise de ferrailage, premier chaînon de la filière de recyclage. Le transport vers le ferrailleur est négligé car ce dernier est situé dans la même commune. Ces trois flux issus du périmètre restreint sortent donc du périmètre élargi sans modification.

### 3.2.1.2.2. Toiles Ferrari 502 et 602 en fin de vie

Toutes les pièces de toiles hors d'usage pour la location sont :

- soit données à un tiers pour réutilisation (par exemple comme bâche agricole) ;
- soit recyclées par le procédé Vinyloop®. Elles sont acheminées à la Tour du Pin auprès de l'entreprise Taxyloop®, premier chaînon de la filière de recyclage. Le transport Brignais – la Tour du Pin (65 km) est pris en compte.

**Tableau 3.2-i. Données d'ICV connectées aux flux « pièces de toile Ferrari 502 en fin de vie » et « pièces de toile Ferrari 602 en fin de vie » sortant du périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de pièces de toile Ferrari 502 en fin de vie  ET 1 kg de pièces de toile Ferrari 602 en fin de vie	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	65 kgkm	On suppose que le transporteur utilise camion de PTAC 24 tonnes, et que le camion est à la norme EURO 4.  Ce transport a été pris en compte pour toutes les toiles en fin de vie, même si en réalité une partie d'entre elles sont données et ne subissent donc pas ce transport. Ce choix est conforme à l'approche comparative adoptée.

### 3.2.1.2.1. Effluent

Le flux d'effluent est envoyé vers une station d'épuration. En l'absence de meilleure donnée, une donnée de traitement des eaux usées domestiques est utilisée.

**Tableau 3.2-j. Données d'ICV connectées aux flux « pièces de toile Ferrari 502 en fin de vie » et « pièces de toile Ferrari 602 en fin de vie » sortant du périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg d'effluent	Treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2/CH	1 L	La Suisse est utilisée comme proxy.

## 3.2.2. Entrepôt simple

Le tableau 3.2-k rappelle les intrants et extrants du périmètre restreint pour l'option « entrepôt simple ». Comme pour l'option « structure métallo-textile », le flux de CO<sub>2</sub> a été retiré car il est recalculé directement à partir de la combustion du carburant, soit dans les camions, soit dans les machines outils de construction.

Chacun de ces flux est à reconstruire à l'aide de briques élémentaires de la base de données Ecoinvent 2.2.

**Tableau 3.2-k. Intrants et extrants du périmètre restreint de l'option « entrepôt simple » qui sont à connecter à des données d'ICV**

Intrants	Extrants
Sable (kg)	Service (palette.mois)
Gravier (kg)	Déchets d'aluminium (kg)
Ciment (kg)	Déchets d'acier (kg)
Profilés d'aluminium (kg)	Déchets inertes (kg)
Charpente en acier galvanisé (kg)	Déchets non dangereux (kg)
Tôles (kg)	
Armature en acier (kg)	
Laine de roche (kg)	
Laine de verre (kg)	
Carburant des camions (kg)	
Carburant des machines outils (kg)	
Electricité (kWh)	

### 3.2.2.1. Intrants

#### 3.2.2.1.1. Sable, gravier, ciment, armature en acier, laine de roche, laine de verre

Ces flux sont directement reliés à des données d'ICV correspondantes (voir tableau 3.2-l pour 1 kg de chaque flux). Pour chaque flux, une étape de transport de 30 km est ajoutée entre le lieu de production et le lieu de distribution.

**Tableau 3.2-I. Données d'ICV connectées aux flux « sable », « gravier », « ciment », « armature en acier », « laine de roche », « laine de verre » entrant le périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de sable	Sand, at mine/CH	1 kg	Données suisses, utilisées comme proxy
	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	Du lieu de production vers le lieu de distribution
1 kg de gravier	Gravel, unspecified, at mine/CH	1 kg	Données suisses, utilisées comme proxy
	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	Du lieu de production vers le lieu de distribution
1 kg de ciment	Portland calcareous cement, at plant/CH	1 kg	Données suisses, utilisées comme proxy
	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	Du lieu de production vers le lieu de distribution
1 kg d'armature en acier	Reinforcing steel, at plant/RER	1 kg	Données européennes
	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	Du lieu de production vers le lieu de distribution
1 kg de laine de roche	Rock wool, at plant/CH	1 kg	Données suisses, utilisées comme proxy
	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	Du lieu de production vers le lieu de distribution
1 kg de laine de verre	Glass wool mat, at plant/CH	1 kg	Données suisses, utilisées comme proxy
	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	Du lieu de production vers le lieu de distribution

### 3.2.2.1.2. *Profilés d'aluminium, charpente en acier, tôles, carburant, eau et électricité*

Les flux :

- profilés d'aluminium,
- charpente en acier galvanisé,
- tôles,
- carburant des camions,
- carburant des machines outils,
- eau,
- électricité

sont traités de la même manière que les flux correspondant de l'option « structure métallo-textile » (voir section 3.2.1.1.1 à 3.2.1.1.3 et 3.2.1.1.5 à 3.2.1.1.6).

### 3.2.2.2. Extrants

#### 3.2.2.2.1. Déchets d'acier et d'aluminium

On suppose que déchets d'aluminium et d'acier sont triés lors de la démolition, et envoyés en filière de recyclage. Cette hypothèse optimiste est conforme à l'approche comparative adoptée. Un transport sur 30 km est pris en compte, conformément au scénario de transport suggéré par le fascicule de documentation FD P01-015 relatif à la norme FD P 01-010.

**Tableau 3.2-m. Données d'ICV connectées aux flux « déchets d'acier » et « déchets d'aluminium » sortant du périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de déchets d'acier  ET 1 kg de déchets d'aluminium	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	Scénario de transport suggéré par le fascicule de documentation FD P01-015

#### 3.2.2.2.2. Déchets de construction inerte

Ces déchets sont issus du béton armé des fondations. D'après l'ADEME, ces déchets de construction sont valorisés à hauteur de 66,5%. Le reste est mis en décharge (ADEME, 2012). Ainsi, 66,5% de ce flux sort du périmètre élargi après une étape de transport. Le reste est mis en décharge. Dans les deux cas, on suppose qu'une distance de 30 km est parcourue par les déchets. Le tableau 3.2-n présente les données utilisées pour 1 kg de déchets inertes.

**Tableau 3.2-n. Données d'ICV connectées au flux « déchets inertes » sortant du périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de déchets inertes	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	Scénario de transport suggéré par le fascicule de documentation FD P01-015
	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	0,335 kg	33,5% du flux est mis en décharge. Cette donnée d'ICV d'enfouissement est représentatif de la Suisse, proxy de la situation française

#### 3.2.2.2.1. Déchets de construction non dangereux

Les déchets issus des matériaux d'isolation (laine de roche et laine de verre) sont des déchets non dangereux, mais non inerte. D'après un rapport ADEME (2010), seuls 36 % des déchets de BTP non dangereux sont valorisés.

**Tableau 3.2-o. Données d'ICV connectées au flux « déchets non dangereux » sortant du périmètre restreint**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de déchets inertes	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER	30 kgkm	Scénario de transport suggéré par le fascicule de documentation FD P01-015
	Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill/CH	0,64 kg	36 % de ce flux de déchet est valorisé, donc 64 % est mis en décharge. N'ayant pas de donnée d'enfouissement spécifique pour ce type de déchet, la donnée relative à l'enfouissement de déchets ménager est utilisée. Cette donnée d'ICV d'enfouissement est représentatif de la Suisse, proxy de la situation française

### 3.2.3.Prestation logistique

Pour cette option, tous les choix de modélisation ont été résolus dans les deux sections précédentes (3.2.1 et 3.2.2).



## ***3.3. Evaluation de la qualité des données***

### **3.3.1.Critères de qualités des données**

Plusieurs indicateurs existent pour qualifier la qualité des données. La méthode d'évaluation choisie est basée sur les travaux de Weidema et Wesnæs (1996). Six critères sont utilisés pour évaluer la qualité des données :

- *la fiabilité* découle de la méthode de mesure utilisée et des procédures de vérification,
- *l'exhaustivité* dépend du nombre d'entreprises considérées sur une période de temps données,
- *les corrélations géographiques, temporelles et technologiques* indiquent si les données utilisées couvrent le lieu, la période et la technologie du processus étudié,
- *la taille de l'échantillon*.

L'évaluation consiste à donner une note entre 1 et 5 pour chaque donnée sur chacun de ces critères. La note 1 correspond à une donnée de bonne qualité et la note 5 correspond à une donnée de mauvaise qualité.

Le tableau 3.3-a présente la matrice avec les 5 indicateurs de qualité de données.

**Tableau 3.3-a. Matrice de pédigrée de Weidema et Wesnæs (1996) permettant d'évaluer la qualité des données d'analyses de cycle de vie**

Score de qualité	Fiabilité	Exhaustivité	Corrélation temporelle	Corrélation géographique	Corrélation technologique	Taille de l'échantillon
<b>1</b>	Données vérifiées basées sur des mesures	Données représentatives d'un échantillon suffisant d'entreprises sur une période adéquate	Moins de 3 ans de différence avec l'année de l'étude	Données de la zone à l'étude	Données d'entreprises, de processus et de matériaux à l'étude	Supérieur à 100 Mesures continues
<b>2</b>	Données vérifiées partiellement basées sur des hypothèses ou données non vérifiées basées sur des mesures	Données représentatives d'un petit nombre d'entreprises mais pour des périodes adéquates	Moins de 6 ans de différence	Données moyennes d'une zone plus large dans laquelle la zone à l'étude est incluse	Données de processus et matériaux à l'étude mais de différentes entreprises	Supérieur à 20
<b>3</b>	Données non vérifiées partiellement basées sur des hypothèses	Données représentatives pour un nombre adéquat d'entreprises pour des périodes plus courtes	Moins de 10 ans de différence	Données d'une zone ayant des conditions similaires	Données de processus et matériaux à l'étude mais de différentes technologies	Supérieur à 10
<b>4</b>	Estimation qualifiée (par exemple par un expert industriel)	Données représentatives mais pour un petit nombre d'entreprises et pour des courtes périodes ou données incomplètes pour un nombre adéquat d'entreprises et périodes	Moins de 15 ans de différence	Données d'une zone ayant des conditions légèrement similaires	Données de processus ou matériaux relatifs mais de technologies identiques	Supérieur ou égal à 3
<b>5</b>	Estimation non qualifiée	Représentativité inconnue ou données incomplètes provenant d'un petit nombre d'entreprises et/ou pour des périodes plus courtes	Age des données inconnu ou plus de 15 ans de différence	Données d'une zone inconnue ou zone avec des conditions de production très différentes	Données sur processus ou matériaux relatifs mais de technologies différentes	Inconnu

L'évaluation de la qualité d'une donnée effectuée avec cette méthode permet de générer une distribution statistique. Plus les scores d'évaluation sont grands (qualité faible), plus la distribution sera étalée. A l'inverse, plus les scores d'évaluation sont petits (bonne qualité), plus la distribution sera piquée autour de la valeur entrée dans le modèle. Ces distributions statistiques permettront d'appliquer la méthode de Monte-Carlo pour analyser l'effet de l'incertitude sur les résultats.

### 3.3.2. Evaluation de la qualité des données

Dans les tableaux suivants, la qualité des données utilisées dans chaque option est évaluée selon les critères de la matrice de pédigrée. Les incertitudes des données d'inventaires de la base Ecoinvent 2.2 sont déjà évaluées, et sont également prises en compte dans l'analyse d'incertitude effectuée avec la méthode de Monte Carlo.

### 3.3.2.1. Option « structure métallo-textile » des scénarios 1 et 2

Tableau 3.3-b. Analyse de la qualité des données des options SMT1 et SMT2

Etape du cycle de vie	Donnée	Source	Fiabilité	Exhaustivité	Corrélation temporelle	Corrélation géographique	Corrélation technologique	Taille de l'échantillon	Contribution aux résultats
Production	Production des profilés d'aluminium	Ecoinvent 2.2	1	2	1	2	2	3	Forte
	Production des pièces d'acier	Ecoinvent 2.2	2	3	1	2	2	3	
	Production des toiles	EVEA	1	1	1	1	1	3	
	Composition des structures	Visite + analyse données primaires	2	2	1	1	1	2	
Transport tournée	Caractéristiques des camions	Visite + analyse données primaires	2	1	1	1	2	2	
	Caractéristiques des tournées		2	2	1	1	1	2	
	Caractéristiques des prestations moyennes		2	2	1	1	1	2	
Pose/Dépose	Consommation énergétique des machines outils	Visite + analyse données primaires	3	3	1	1	1	2	Moyenne
Gestion des pièces	Durée de vie des pièces	Bases de données + expert	2	2	1	1	1	3	Forte
	Taux d'usure accidentel	Visite + expert + analyse données primaires	3	3	1	1	1	3	
	Taux de réparation		3	3	1	1	1	3	
	Consommation énergétique de réparation / nettoyage		4	3	1	1	1	4	Faible
	Consommation d'eau et de détergent lors du nettoyage	Expert + données primaires	3	2	1	1	1	3	
Fin de vie	Filières de fin de vie	Visite + expert + bibliographie	3	3	1	1	1	3	Très faible

Les données sont globalement de bonnes qualités. Il s'agit en grande partie de données primaires, pour lesquelles la corrélation temporelle, géographique et technologique est excellente. Les principales aires d'incertitude concernent les données permettant le calcul du taux de rebut et de réparation. Du fait des multiples voix de sorties des pièces et de l'hétérogénéité des prestations, il n'a pas été possible de déterminer avec certitude les taux d'usure des prestations du scénario 1 et 2. Toutefois, les paramètres pris en compte correspondent à de nombreux faits observés (nombre de réemplois, durées de vie, taux de réparation, etc.), et ont été choisis de manière à maximiser les impacts.

### 3.3.2.2. Option « prestation logistique » du scénario 1 (PL1)

Tableau 3.3-c. Analyse de la qualité des données de l'option PL1

Etape du cycle de vie	Donnée	Source	Fiabilité	Exhaustivité	Corrélation temporelle	Corrélation géographique	Corrélation technologique	Taille de l'échantillon	Contribution aux résultats
<b>Production</b>	Production des profilés d'aluminium	Ecoinvent 2.2	1	2	1	2	2	3	Forte
	Production des pièces d'acier		2	2	1	2	2	3	
	Production des tôles		1	2	1	2	2	3	
	Production des matériaux d'isolation		1	2	1	2	2	3	
	Production du béton	Ecoinvent 2.2 + expert	1	2	1	2	2	3	
	Composition des bâtiments	Visite + analyse données primaires	2	2	1	1	1	1	
<b>Transport des matériaux</b>	Production et consommation de carburant	Ecoinvent 2.2	2	1	2	1	2	2	Moyenne
<b>Construction/démolition</b>	Consommation énergétique des machines outils	Ecoinvent 2.2	1	3	2	3	2	4	
<b>Transport des palettes</b>	Production et consommation de carburant	Ecoinvent 2.2	2	1	2	1	2	2	
<b>Fin de vie</b>	Filières de fin de vie	Ecoinvent 2.2 + bibliographie	3	3	1	1	1	3	Très faible

Pour cette option, les données afférentes au bâtiment sont de bonnes qualités puisqu'elles proviennent directement du constructeur (Locabri). Pour toutes les autres données, des données génériques de la base Ecoinvent 2.2 ont été utilisées. Dans certains cas (production des pièces d'acier par exemple), des choix de données ont été réalisés, augmentant le degré d'incertitude.

### 3.3.2.3. Scénario 2, option « entrepôt simple » (ES1)

Tableau 3.3-d. Analyse de la qualité des données de l'option PL1

Etape du cycle de vie	Donnée	Source	Fiabilité	Exhaustivité	Corrélation temporelle	Corrélation géographique	Corrélation technologique	Taille de l'échantillon	Contribution aux résultats
<b>Production</b>	Production des profilés d'aluminium	Ecoinvent 2.2	1	2	1	2	2	3	Forte
	Production des pièces d'acier		2	2	1	2	2	3	
	Production des tôles		1	2	1	2	2	3	
	Production des matériaux d'isolation		1	2	1	2	2	3	
	Production du béton	Ecoinvent 2.2 + expert	1	2	1	2	2	3	
	Composition des bâtiments	Visite + analyse données primaires	2	2	1	1	3	1	
<b>Transport des matériaux</b>	Production et consommation de carburant	Ecoinvent 2.2	2	1	2	1	2	2	Moyenne
<b>Construction/démolition</b>	Consommation énergétique des machines outils	Ecoinvent 2.2	1	3	2	3	2	4	
<b>Fin de vie</b>	Filières de fin de vie	Ecoinvent 2.2 + bibliographie	3	3	1	1	1	3	

La qualité des données de cette option est semblable à celle de données de l'option précédente, car elles proviennent des mêmes sources. La principale différence vient de l'extrapolation qui a été réalisée pour passer du bâtiment Locabri 4000m<sup>2</sup> à un bâtiment de 685m<sup>2</sup>, d'où une baisse de la corrélation technologique.



# 4. EVALUATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS





Deux types de résultats sont générés.

- Un inventaire comparatif des intrants et extrants du périmètre restreint, synthétisé en trois indicateurs : quantité d'intrants, quantité d'énergie, quantité d'extrants.
- Une évaluation comparative des impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie (5 indicateurs : demande énergétique totale, changement climatique, formation d'ozone photochimique, pollution de l'air, pollution de l'eau) (voir section 2.3.2 pour le choix et la description des indicateurs).

L'analyse des résultats se fait en trois étapes.

- Dans un premier temps, les résultats sont présentés pour les cas de référence des deux scénarios. Pour chaque résultat, les processus et flux contribuant le plus aux impacts estimés sont identifiés, permettant de comprendre l'origine des différences constatées (section 4.1). De surcroît, l'influence de l'incertitude des données, telle qu'évaluée en section 3.3.2, est testée via la méthode de Monte Carlo. Pour un indicateur, la différence entre deux options sera considérée comme significative si moins de 5% des résultats de l'analyse de Monte Carlo vont dans le sens inverse. Par ailleurs, pour conforter les tendances dégagées, un aperçu des résultats de tous les indicateurs de la méthode MatFrance v2.06 est exposé.
- Ensuite, des analyses de sensibilité sont effectuées pour tester la robustesse des résultats (section 4.2). Ces analyses portent sur la méthode de caractérisation et sur certaines données clefs.
- Enfin, des analyses de sensibilité s'attacheront à analyser l'influence du choix des paramètres définissant les scénarios. Des cas s'écartant des cas de référence seront explorés (section 4.3).

Tous les résultats présentés correspondent à l'unité fonctionnelle : le stockage d'une palette pendant un mois.

Dans le périmètre restreint, quatre étapes sont distinguées pour la faciliter la présentation des résultats :

- transport des pièces / matériaux de construction, appelée « transport » ;
- Construction – démolition des bâtiments / pose – dépose des structures, appelée « construction » ;
- transport des palettes pour l'option « prestation logistique », appelée « stockage » ;
- gestion des pièces pour l'option « structure métallo-textile », appelée « gestion pièces ».

Dans le périmètre élargi, ces mêmes étapes sont retenues, complétées par deux étapes :

- la production des pièces / matériaux de construction et leur transport, appelée « production » ;
- la gestion de la fin de vie des pièces / déchets de construction, appelée « fin de vie ».

Dans un souci de lisibilité :

- l'option « structure métallo-textile » du scénario 1 sera dénommée « SMT1 »,
- l'option « prestation logistique » du scénario 1 sera dénommée « PL1 »,
- l'option « structure métallo-textile » du scénario 2 sera dénommée « SMT2 »,
- l'option « entrepôt simple » du scénario 2 sera dénommée « ES2 ».

## 4.1. Cas de référence

### 4.1.1.Scénario 1

#### 4.1.1.1. Périmètre restreint

Le tableau 4.1-a présente les quantités de matières et d'énergie mobilisées pour le stockage d'une palette pendant un mois pour l'option SMT1.

**Tableau 4.1-a. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option SMT1**

Intrants		Extrants	
Profilés d'aluminium neufs (kg)	7,3E-03	Profilés d'aluminium en fin de vie (kg)	7,3E-03
Pièces neuves en acier (kg)	7,3E-03	Pièces acier en fin de vie (kg)	7,3E-03
Tôles neuves (kg)	0,0E+00	Tôles en fin de vie (kg)	0,0E+00
Pièces neuves en toile Ferrari 502 (kg)	1,2E-02	Pièces toile Ferrari 502 en fin de vie (kg)	1,2E-02
Pièces neuves en toile Ferrai 602 (kg)	1,7E-02	Pièces toile Ferrai 602 en fin de vie (kg)	1,7E-02
Carburant (kg)	1,1E-01	CO <sub>2</sub> (kg)	3,5E-01
Electricité (kWh)	9,7E-02		0,0E+00
Eau (kg)	2,7E-01	Effluent (kg)	2,8E-01
Détergent (kg)	3,4E-03		

Le tableau 4.1-b présente les quantités de matières et d'énergie mobilisées pour le stockage d'une palette pendant un mois pour l'option PL1.

**Tableau 4.1-b. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option PL1**

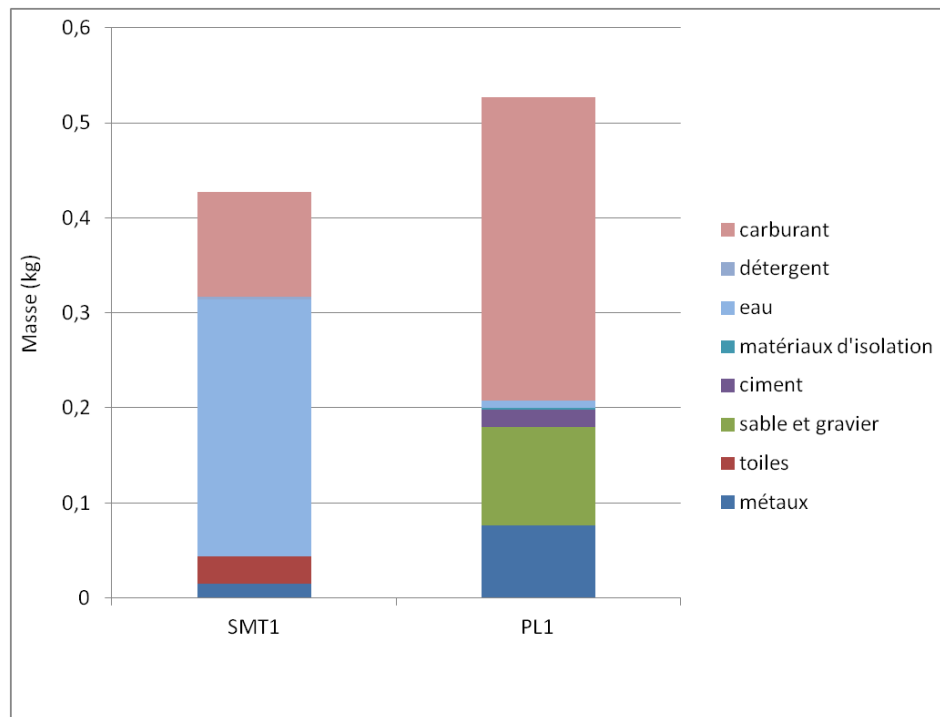
Intrants		Extrants	
Sable (kg)	3,8E-02	Déchets d'aluminium (kg)	1,2E-01
Gravier (kg)	6,6E-02	Déchets d'acier (kg)	7,0E-02
Ciment (kg)	1,8E-02	Déchets inertes (kg)	3,9E-03
Profilés d'aluminium (kg)	3,9E-03	Déchets non dangereux (kg)	8,8E-03
Charpente en acier galvanisé (kg)	5,2E-02	CO <sub>2</sub> (kg)	9,8E-01
Tôles (kg)	1,8E-02		
Armature en acier (kg)	2,0E-03		
Laine de roche (kg)	7,5E-03		
Laine de verre (kg)	1,3E-03		
Carburant diesel (kg)	3,2E-01		
Electricité (kWh)	1,4E-02		
Eau (kg)	7,3E-03		

#### 4.1.1.1.1. Intrants

Le graphique 4.1-a présente la comparaison des deux options pour les intrants matériels. Par souci de lisibilité, certains flux ont été regroupés :

- Les pièces de toiles,
- Les pièces métalliques,

- Le sable et le ciment,
- La laine de roche et la laine de verre.



**Graphique 4.1-a. Comparaison des quantités d'intrants du périmètre restreint de SMT1 et PL1**

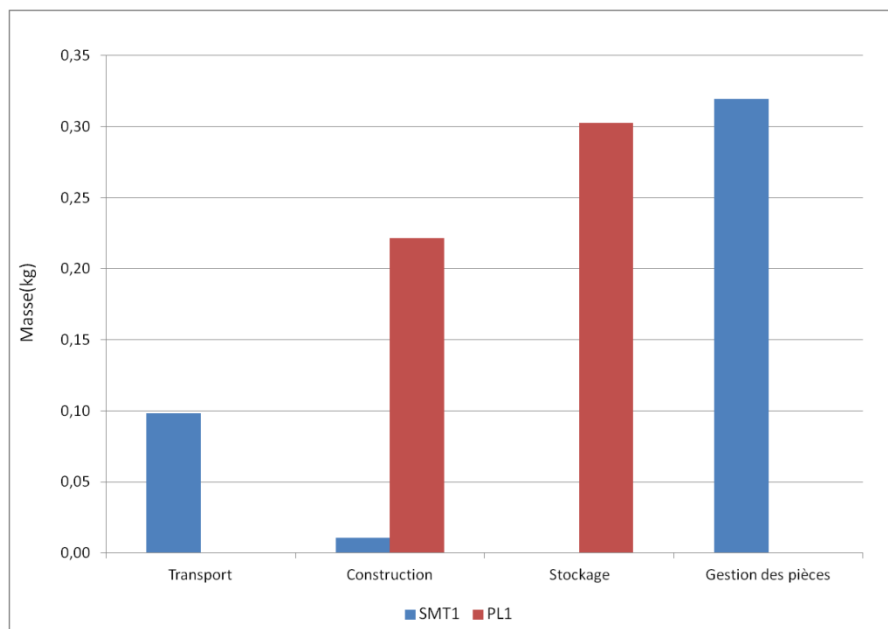
On constate une différence d'environ 0,1 kg entre les deux options. En outre, la composition des quantités de matière est très différente d'une option à l'autre.

#### **Principaux flux de matières mobilisées**

Pour SMT1, les matières mobilisées sont principalement des consommables (90% des quantités), en particulier du carburant (26%) et de l'eau (64%). Le fait que l'eau nécessaire au nettoyage des toiles contribue pour une part si importante est un résultat inattendu.

Pour PL1, c'est le carburant diesel qui domine les consommations matérielles (60%). Le reste est constitué des matériaux de construction, en particulier le sable et le gravier pour les fondations (19%) et la charpente et l'habillage en métal (14%).

Les résultats de SMT1 sont conformes au modèle d'économie de fonctionnalité : la fourniture du service mobilise avant tout des consommables. Le système matériel est lui amorti sur un nombre important de prestations.



**Graphique 4.1-b. Comparaison des quantités d'intrants du périmètre restreint de SMT1 et PL1 par étapes (voir section 4.1 pour la description des étapes)**

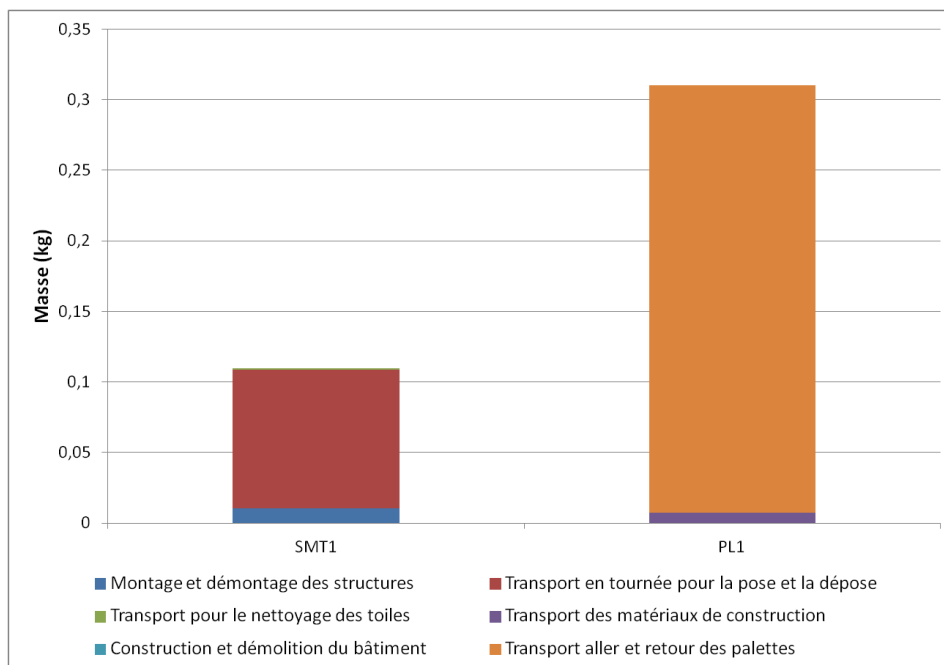
### Comparaison par étapes

Ces différences sont d'autant mieux illustrées par le graphique 4.1-b, où l'on constate que les consommations matérielles ont lieu à étapes bien différentes selon les options. Ainsi l'option SMT1 concentre l'essentiel de ses consommations matérielles sur l'étape de gestion des pièces : de nouvelles pièces sont achetées pour remplacer celles devenues hors d'usage, de l'eau est utilisée pour laver les toiles, du carburant est consommé pour acheminer les toiles vers le prestataire de nettoyage. Les tournées de pose/dépose représentent un poste de consommation important, puisque le diesel consommé pèse pour près de 25% des consommations matérielles. La consommation de diesel dans les machines outils pour la pose/dépose est quant à elle bien faible par rapport aux autres postes de consommation.

Les consommations matérielles de PL1 se répartissent de manière équilibrée entre le stockage (diesel mobilisé pour le transport des palettes) et la construction / démolition de l'entrepôt logistique.

### Analyse de la consommation de diesel

On constate que la consommation de diesel revêt une importance primordiale dans la comparaison des options. Le graphique 4.1-c décompose ce flux par poste de consommation. On constate que, pour SMT1, ce sont les tournées de pose/dépose qui domine largement la consommation de carburant. Pour PL1, la consommation de diesel vient presque exclusivement du transport des palettes.



**Graphique 4.1-c. Consommations de carburant du périmètre restreint des options SMT1 et PL1 par poste de consommation**

La consommation due au transport des palettes est trois fois plus grande que celle des tournées de pose/dépose. Pour mieux comprendre l'origine de cette différence, la comptabilisation des tonnes.km de chaque processus est réalisée. Cette grandeur permet d'estimer l'intensité d'une étape de transport.

SMT1 – tournées pose et déposes  $2 * 4,25 * 360 = 3060$  tonnes.km

PL1 – tranport palettes  $(320 * (1 + 12 * 0,2) * 0,5) * 30 = 16320$  tonnes.km

De ce calcul simple on constate que la quantité de tonnes.km du transport des palettes est plus de 5 fois plus grande, alors que la consommation de carburant associée est seulement 3 fois plus grande.

La différence provient des choix de modélisation. Pour le transport des palettes, les données Ecoinvent 2.2 relative à un camion de PTAC 24t à la norme EURO4 ont été utilisées. Pour les tournées, un modèle ad-hoc a été développé pour rendre compte des performances spécifiques de Locabri. Là se trouve l'origine de cet écart.

- La consommation moyenne de la flotte de Locabri a été évaluée à 35L/100km, alors que les données Ecoinvent 2.2 choisies arborent une consommation de 29L/100km.
- Le taux de chargement massique des données Ecoinvent 2.2 est plus important que celui des camions de Locabri. En effet, les palettes sont des palettes standards pour lesquelles le chargement des camions peut être optimisé. Dans le cas de Locabri, les pièces des structures sont souvent volumineuses, ce qui limite l'optimisation du chargement (exemple des profilés d'aluminium).

Cependant, l'organisation des tournées permet à Locabri de diminuer sensiblement la consommation de carburant par rapport à une organisation du transport en étoile. Pour une prestation moyenne (effectuée à 360 km de Brignais, masse mobilisée de 2 tonnes), la formule de la section 3.1.1.2.1 évaluant la consommation liée à cette prestation donne :

$$\text{Carburant}(2; 360) = 149 \text{ kg}$$

Sans ces tournées, le transport se ferait directement en étoile depuis Brignais. La consommation serait de (35L/100km, masse volumique du diesel : 0,85 kg/L) :

$$2 * 360 * (0,35 * 0,85) = 214,2 \text{ kg}$$

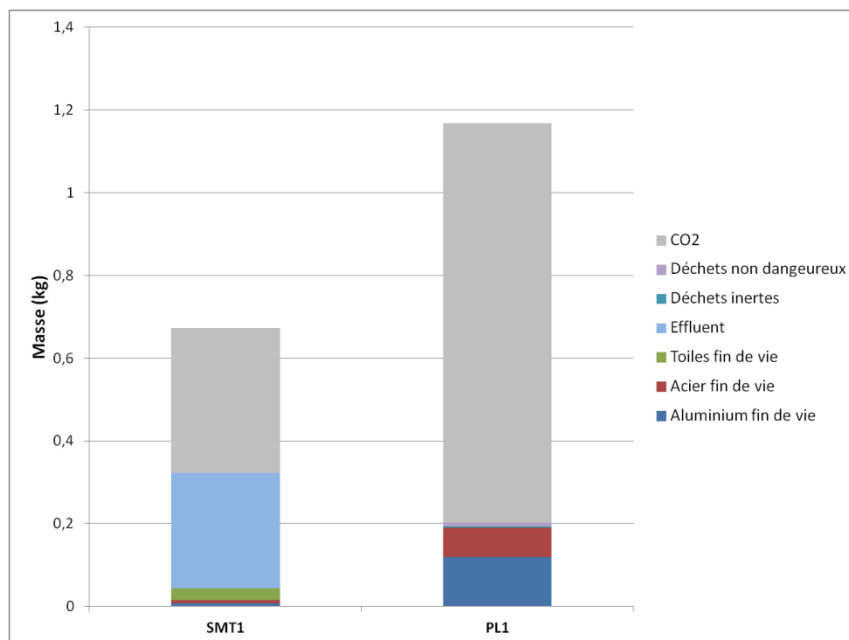
L'économie relative est de :

$$\frac{214,2 - 149}{214,2} = 30\%$$

L'organisation du transport en tournée permet donc à Locabri d'économiser en moyenne 30% de carburant par rapport à une organisation en étoile.

#### 4.1.1.1.2. Extrants

Le graphique 4.1-d présente la comparaison des deux options pour les flux sortant du périmètre restreint.



Graphique 4.1-d. Extrants du périmètre restreint des options SMT1 et PL1

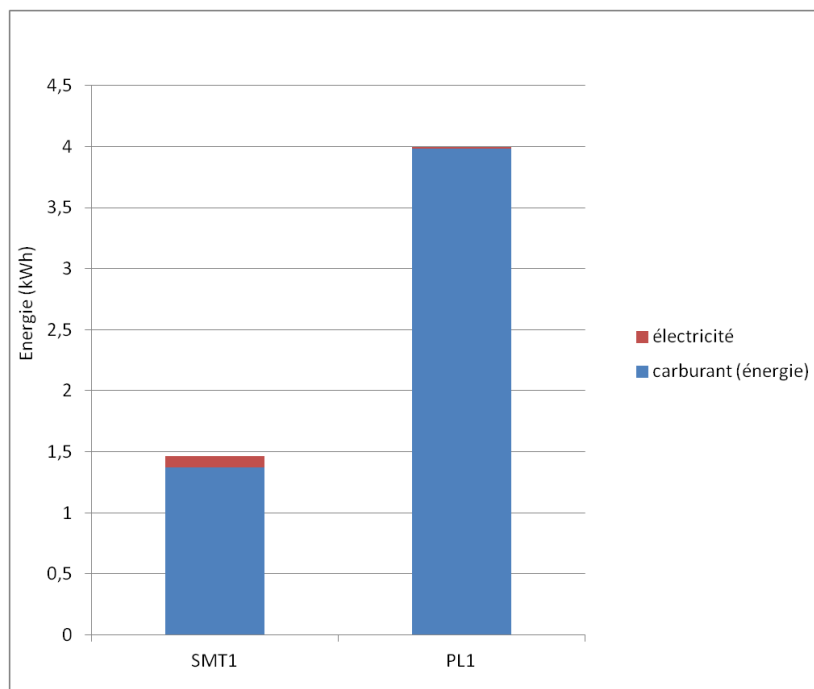
Les tendances sont semblables au résultat des indicateurs d'intrants. Néanmoins la différence est accentuée du fait de la transformation du carburant en émissions de gaz. En effet, la combustion d'un kg diesel entraîne la formation d'un peu plus de trois kg de CO<sub>2</sub>.

Les déchets solides de STM1 sont aux deux tiers des toiles. Ceux de PL1 sont majoritairement des déchets inertes (60%). La comparaison montre que les déchets solides de PL1 sont plus de cinq fois plus lourds que ceux de SMT1.

Tous les déchets solides de STM1 sont valorisés : l'aluminium et l'acier sont vendus à une entreprise de ferrailage, les toiles sont soit données pour une utilisation de seconde main (par exemple comme toile agricole), soit envoyées en filière de recyclage par le procédé Vinyloop®. Les déchets solides de PL1 sont eux aussi majoritairement valorisés (métaux et aluminium, deux tiers des déchets inertes, un tiers des déchets non dangereux, voir section 3.2.2.2), mais une part non négligeable ne l'est pas (23%). Ce taux de valorisation des déchets de l'entrepôt présuppose le tri des déchets par matière lors de la démolition (sauf pour l'acier des armatures qui est compté comme déchets inerte).

#### 4.1.1.1.3. Consommation énergétique

Le graphique 4.1-e présente la comparaison des deux options pour la consommation énergétique.



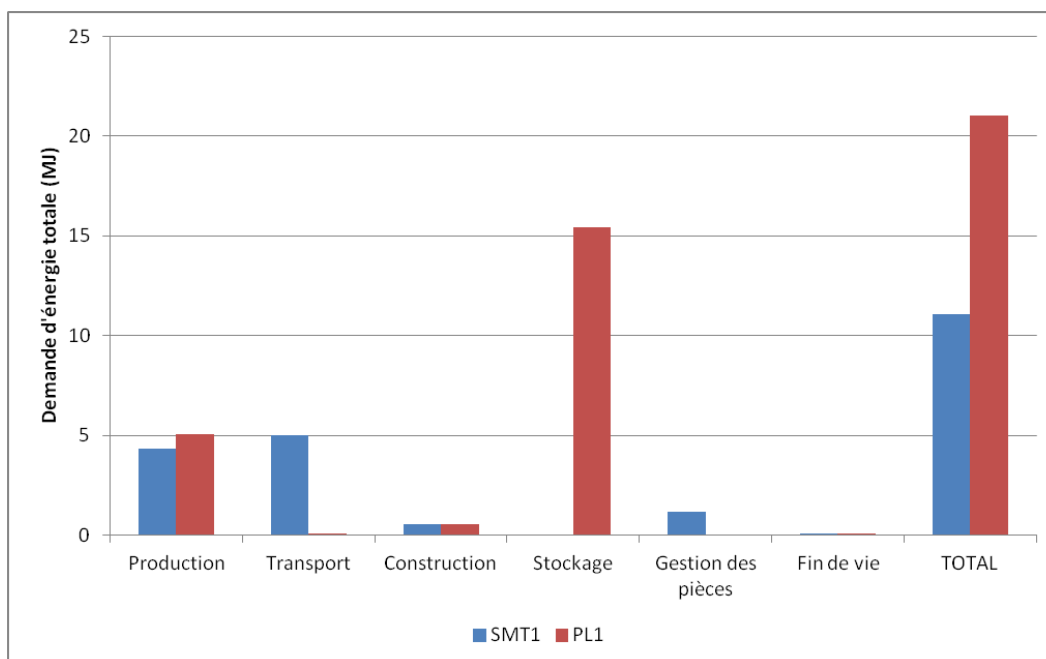
**Graphique 4.1-e. Consommation énergétique du périmètre restreint des options SMT1 et PL1.**

On constate que l'énergie est majoritairement mobilisée sous forme de carburant. Du fait du transport des palettes, PL1 consomme deux et demi fois plus d'énergie que SMT1.

Ces résultats sont fortement corrélés à l'analyse de la consommation de carburant (voir section 4.1.1.1.1). La consommation d'électricité compte en effet relativement peu, en particulier pour PL1. L'électricité utilisée dans SMT1 l'est principalement pour la réparation et le nettoyage.

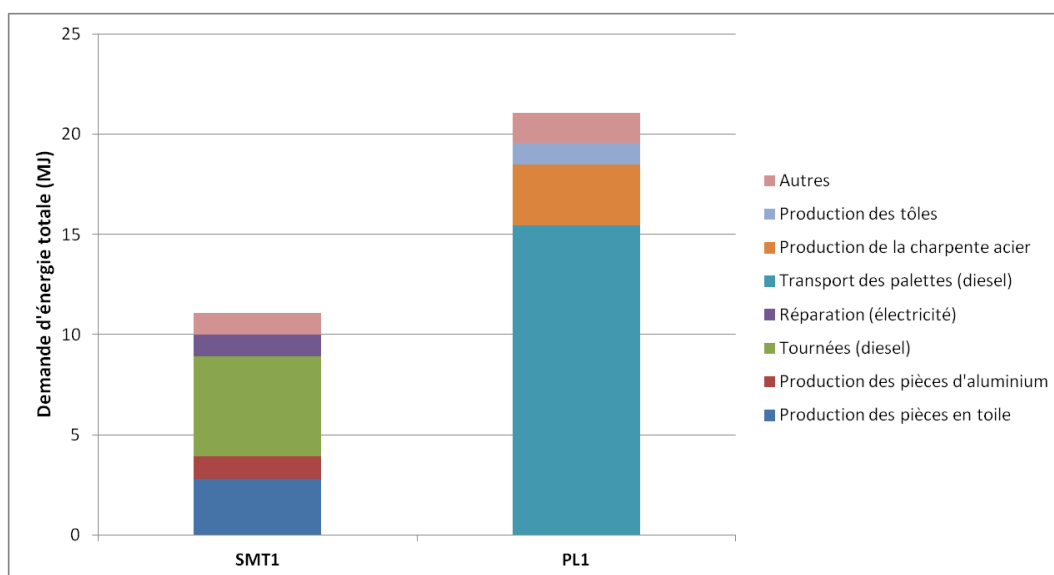
#### 4.1.1.2. Périmètre élargi

##### 4.1.1.2.1. Demande énergétique totale



**Graphique 4.1-f. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur l'indicateur de demande d'énergie totale (MJ) par étape du cycle de vie**

Le graphique 4.1-f présente la comparaison des deux options sur l'indicateur demande d'énergie totale. On constate que SMT1 contribue 45 % de moins que PL1 à cet indicateur. L'allure des contributions par étape du cycle de vie suit la même tendance que celle du périmètre restreint (voir section 4.1.1.1.1). L'étape de fin de vie est peu contributrice. En revanche, l'étape de production des matériaux de construction et des pièces des structures contribuent significativement à l'indicateur.



**Graphique 4.1-g. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur demande d'énergie totale pour le scénario 1 (MJ)**



### Principaux processus contributeurs

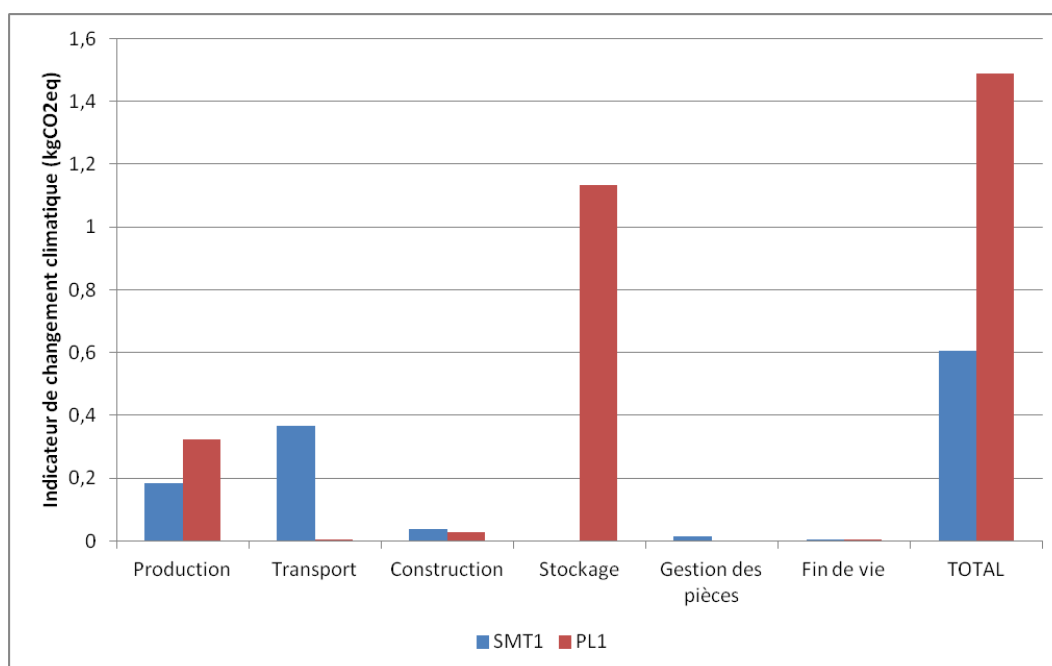
On constate que la consommation de diesel est de loin le contributeur majoritaire des deux options. Viennent ensuite la production des pièces en toile et des profilés d'aluminium pour SMT1, la production de la charpente acier et des tôles pour PL1.

Il est à noter que l'électricité utilisée pour la réparation des pièces endommagées et le nettoyage des toiles compte pour près de 10% de l'indicateur. Sachant que les toiles comptent pour près de 70% de la masse de pièces réparées (voir section 3.1.1.3), c'est essentiellement l'entretien des toiles (réparation et nettoyage) qui entraîne cette demande énergétique. Toutefois, la donnée de consommation électrique pour ces opérations (0,5 kWh/kg) est relativement incertaine.

### Principaux flux contributeurs

Le flux contribuant majoritairement à cet indicateur est le flux de pétrole extrait pour être utilisé comme carburant de transport (47% de l'indicateur de SMT1, 68% de PL1), ou comme combustible pour la production des matériaux (12% de SMT1, 5% de PL1).

#### 4.1.1.2.2. Changement climatique



Graphique 4.1-h. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur l'indicateur de changement climatique (kgCO<sub>2</sub>eq) par étape du cycle de vie

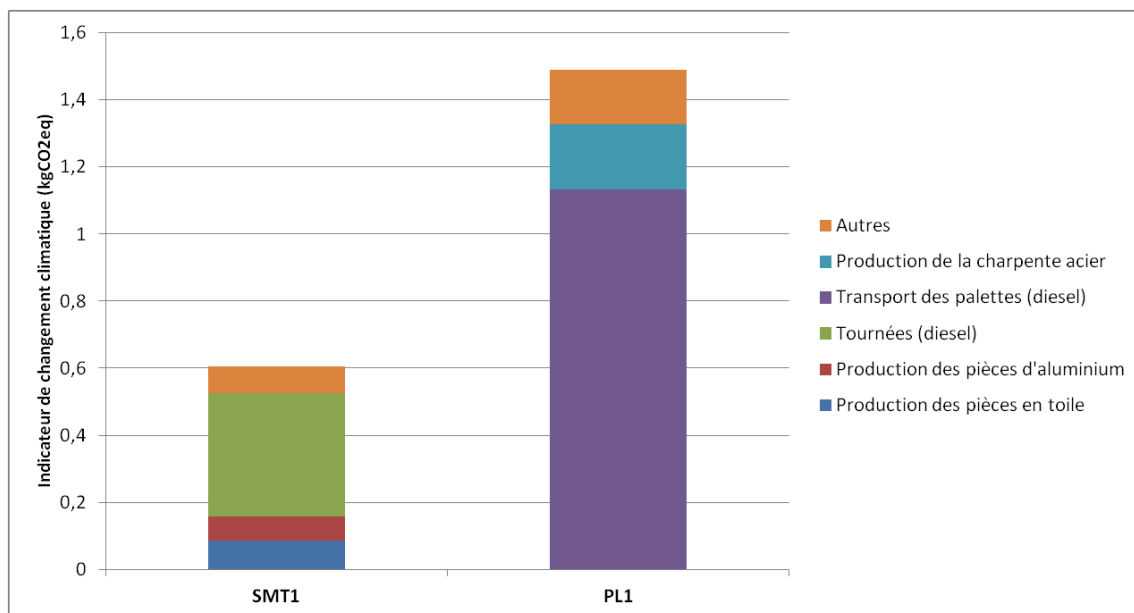
Le graphique 4.1-r présente la comparaison des deux options sur l'indicateur de changement climatique. On constate que SMT1 contribue 58 % de moins que PL1 à cet indicateur. La contribution de chaque étape du périmètre restreint suit la même tendance que pour l'indicateur demande d'énergie totale. C'est le transport des palettes de PL1 qui domine largement toutes les contributions.

Quelques différences sont à noter :

- la contribution de l'étape de production est en légère diminution ;
- l'étape gestion des pièces de SMT1 montre une très faible contribution pour cet indicateur. En effet, le principal flux mobilisé lors de cette étape est l'électricité. Or, l'électricité produite en France est

majoritairement d'origine nucléaire, et donc relativement peu contributrice au changement climatique.

L'étape de fin de vie reste peu contributrice.



Graphique 4.1-i. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur changement climatique pour le scénario 1 (kgCO2eq)

#### Principaux processus contributeurs

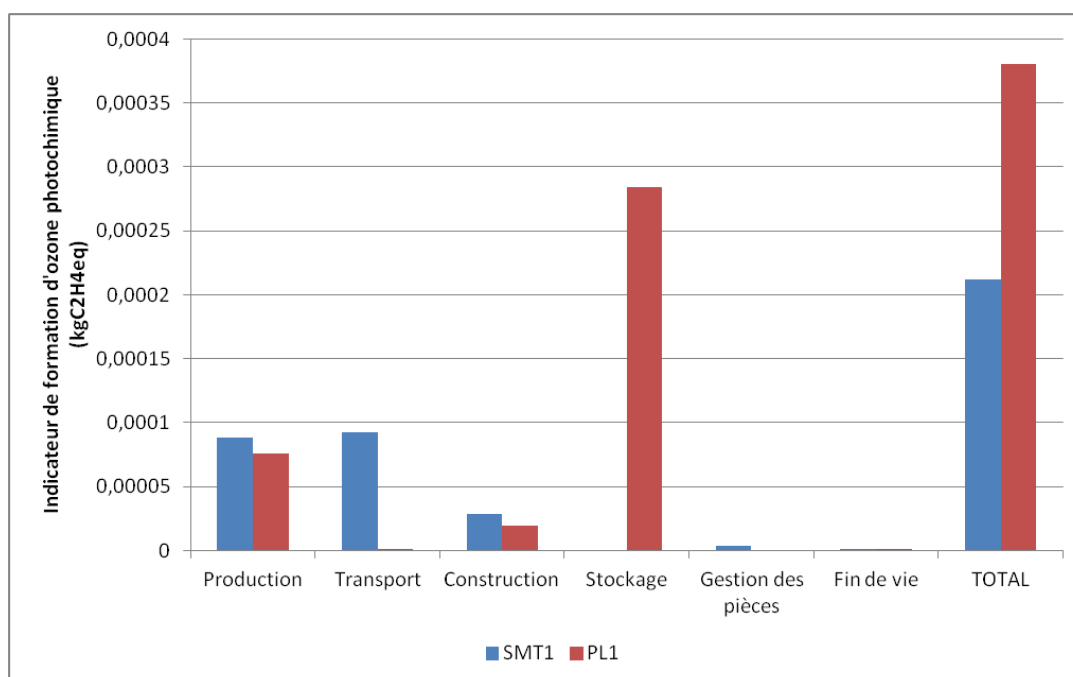
De manière encore plus marquée que pour l'indicateur demande d'énergie totale, c'est la consommation de diesel qui contribue très majoritairement au changement climatique dans les deux options. Viennent ensuite la production des pièces en toile et des profilés d'aluminium pour SMT1, et la production de la charpente acier pour PL1.

Cet indicateur, encore plus que le précédent, est largement tiré par les étapes de transport.

#### Principaux flux contributeurs

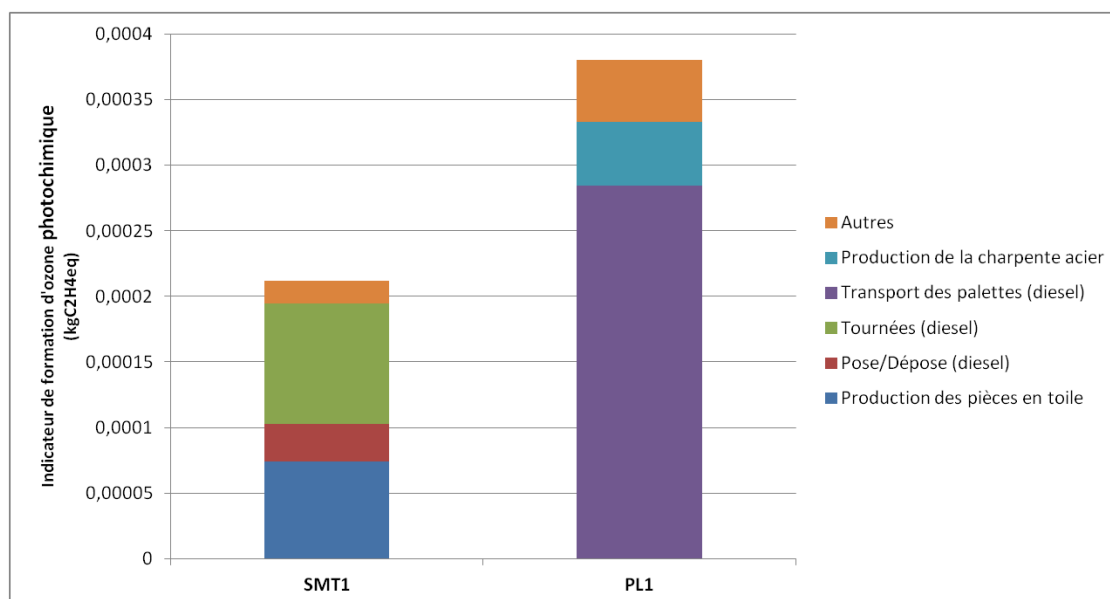
Le flux contribuant majoritairement à cet indicateur est le dioxyde carbone émis dans l'air (96% de SMT1, 95% de PL1), principalement lors des étapes de transports (53% de SMT1, 66% de PL1). Les autres émissions de CO<sub>2</sub> sont liées à la production des matériaux (extraction des ressources, fonctionnement des usines, étapes de transport). La consommation de carburant des machines outils contribue pour 34gCO2eq de SMT1 (6% de l'indicateur) et 23gCO2eq pour PL1 (2% de l'indicateur).

#### 4.1.1.2.3. Formation d'ozone photochimique



Graphique 4.1-j. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur l'indicateur formation d'ozone photochimique (kgC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>eq) par étape du cycle de vie

Le graphique 4.1-j présente la comparaison des deux options sur l'indicateur formation d'ozone photochimique. On constate que SMT1 contribue 44 % de moins que PL1 à cet indicateur. La contribution de chaque étape du périmètre restreint suit la même tendance que les deux indicateurs précédents. C'est une nouvelle fois le transport des palettes de PL1 qui domine largement toutes les contributions.



Graphique 4.1-k. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur changement climatique pour le scénario 1 (kgCO<sub>2</sub>eq)

### Principaux processus contributeurs

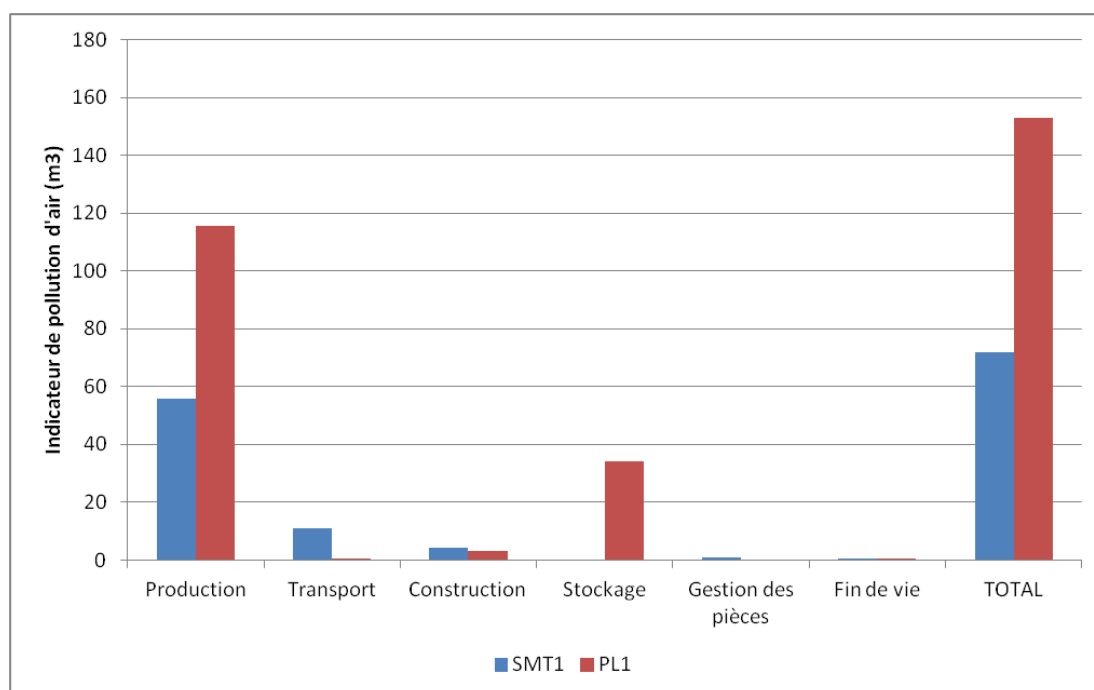
Comme pour les deux précédents indicateurs, la consommation de diesel contribue majoritairement à la formation d’ozone photochimique. Viennent ensuite la production des pièces en toile et des profilés d’aluminium pour SMT1, et la production de la charpente acier pour PL1. La contribution de la combustion du diesel lors de la pose/dépose contribue significativement à l’indicateur (13%).

### Principaux flux contributeurs

Le flux contribuant majoritairement à cet indicateur est le flux de composés volatiles organiques (hors méthane) émis dans l’air (77% pour SMT1, 73% pour PL1). Cet émission a principalement lieu lors de :

- La combustion du diesel dans les camions et les machines outils ;
- La production du diesel;
- La production du PVC, du PET, des phtalates et de l’antimoine des toiles.

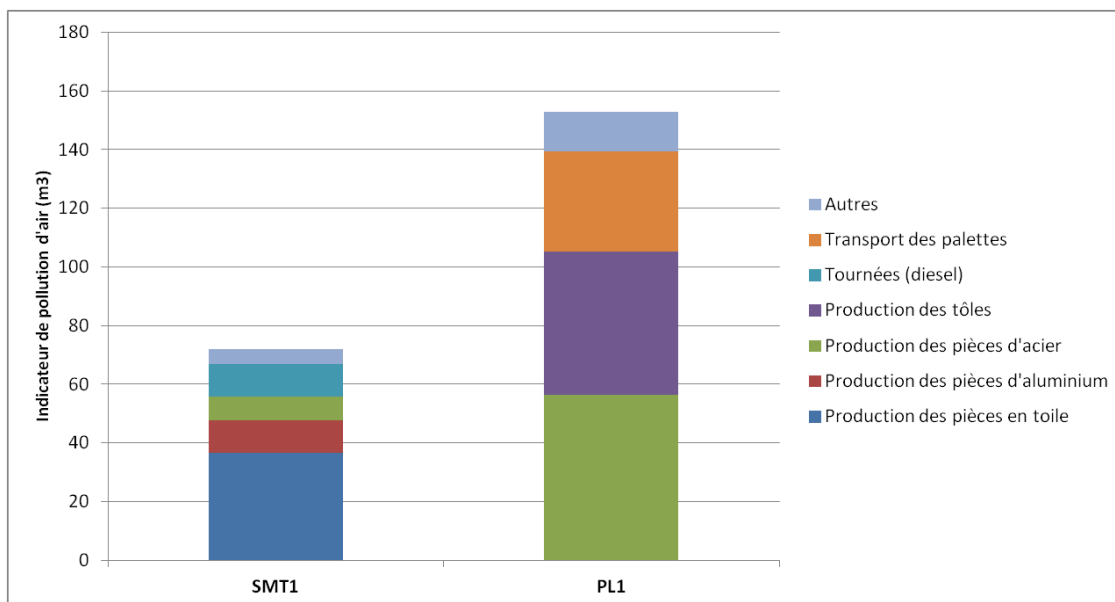
#### 4.1.1.2.4. Pollution de l’air



**Graphique 4.1-I. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur l’indicateur de pollution de l’air (m<sup>3</sup>) par étape du cycle de vie**

Le graphique 4.1-I présente la comparaison des deux options sur l’indicateur formation d’ozone photochimique. On constate que SMT1 contribue 53 % de moins que PL1 à cet indicateur.

Des différences sont à noter par rapport aux trois précédents indicateurs. La principale nouveauté est que c’est l’étape de production des matériaux qui est à présent la principale étape contributrice (77% pour SMT1, 76% pour PL1). Le transport des palettes et les tournées de pose/dépose deviennent contributeur minoritaire.



**Graphique 4.1-m. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur de pollution de l'air pour le scénario 1 (m³)**

### Principaux processus contributeurs

Les étapes de production des matériaux dominent les contributions. Pour SMT1, c'est la production des toiles qui est prépondérante (51%), en particulier l'étape d'extraction de la stibine, minerai duquel est extrait l'antimoine. Pour PL1, c'est la production de la charpente acier (37%) et tôles (32%) qui sont les contributeurs majoritaires, en particulier l'extraction et le raffinage des minerais de fer et la galvanisation. La combustion du diesel pour le transport des palettes contribue également significativement à l'indicateur.

### Principaux flux contributeurs

Différents flux contribuent de manières significatives à cet indicateur.

Pour SMT1 :

- Emissions d'aluminium lors de l'extraction de la stibine (19%)
- Emissions de monoxyde de carbone lors de la production de l'aluminium, du fer et de l'acier, et lors de l'utilisation des camions et des machines outils (14%)
- Emissions de sulfure de carbone lors de l'extraction de la stibine (12%)
- Emissions de NOx lors de la combustion du carburant (7%)
- Emissions de particules lors de l'extraction de la stibine (pour l'antimoine), de la bauxite (pour l'aluminium), de la combustion du carburant (pour les tournées et la pose/dépose), et lors l'extraction de charbon (22%). Cette production de charbon est due à la production d'électricité utilisée pour la production des métaux (ces métaux ne sont pas seulement produits en France mais viennent d'un mix de pays, d'où l'utilisation de charbon comme combustible).

Il est à noter que quelques données très incertaines contribuent largement à cet indicateur. Par exemple :

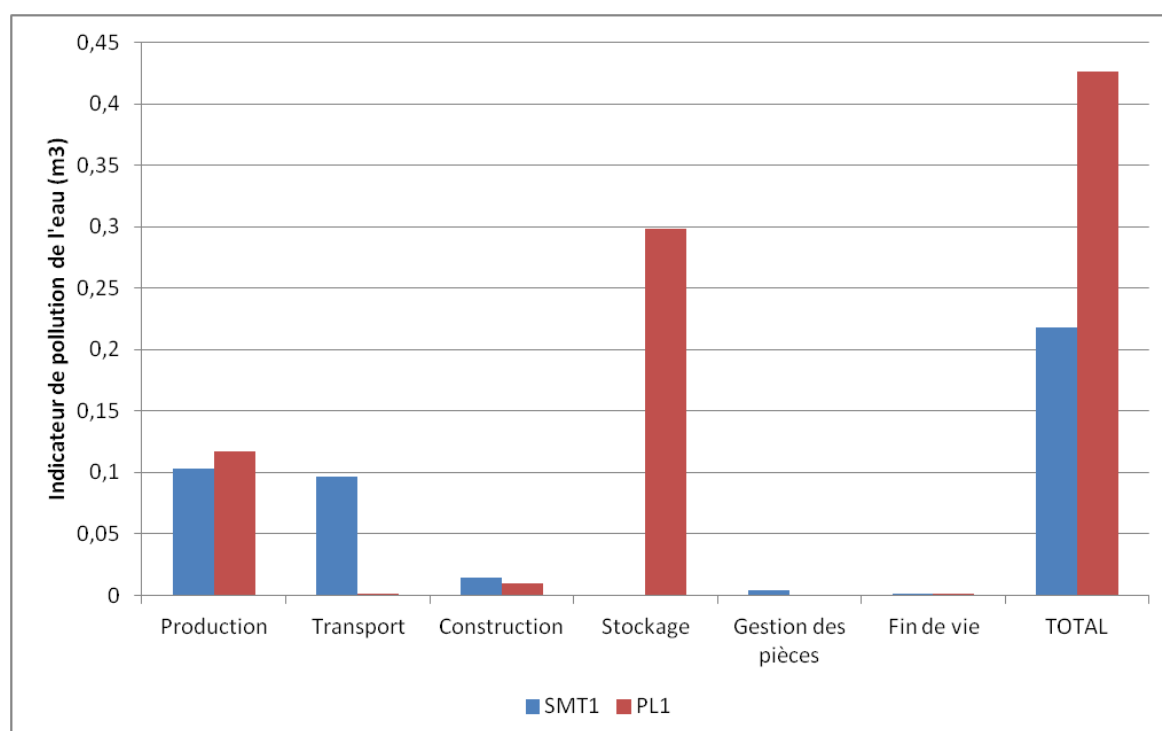
- La donnée d'émissions de sulfure de carbone lors de l'extraction de la stibine a été évaluée comme relativement incertaine par Ecoinvent 2.2 (score de la matrice de pédigrée : 4.2.2.5.4.4)
- Il en est de même pour la donnée d'émissions d'aluminium lors de l'extraction de la stibine (score de la matrice de pédigrée : 4.5.5.1.1.5)

Pour PL1 :

- Emissions d'ammoniac lors de la galvanisation (23%). Cette donnée a été évaluée comme très incertaine par Ecoinvent 2.2.
- Emissions de particules lors de l'extraction du minerai de fer et la production des métaux ;
- Emissions de NOx lors de la combustion du carburant

Contrairement aux précédents indicateurs, dont le niveau était principalement déterminé par le flux de diesel, on trouve pour la pollution de l'air un nombre important de flux contributeurs. La majorité de ces émissions ont lieu très tôt dans le cycle de vie. Beaucoup des données sous-jacente ont été évaluées comme relativement incertaine. Aussi une analyse d'incertitude sera-t-elle tout particulièrement nécessaire pour tester les conclusions cet indicateur.

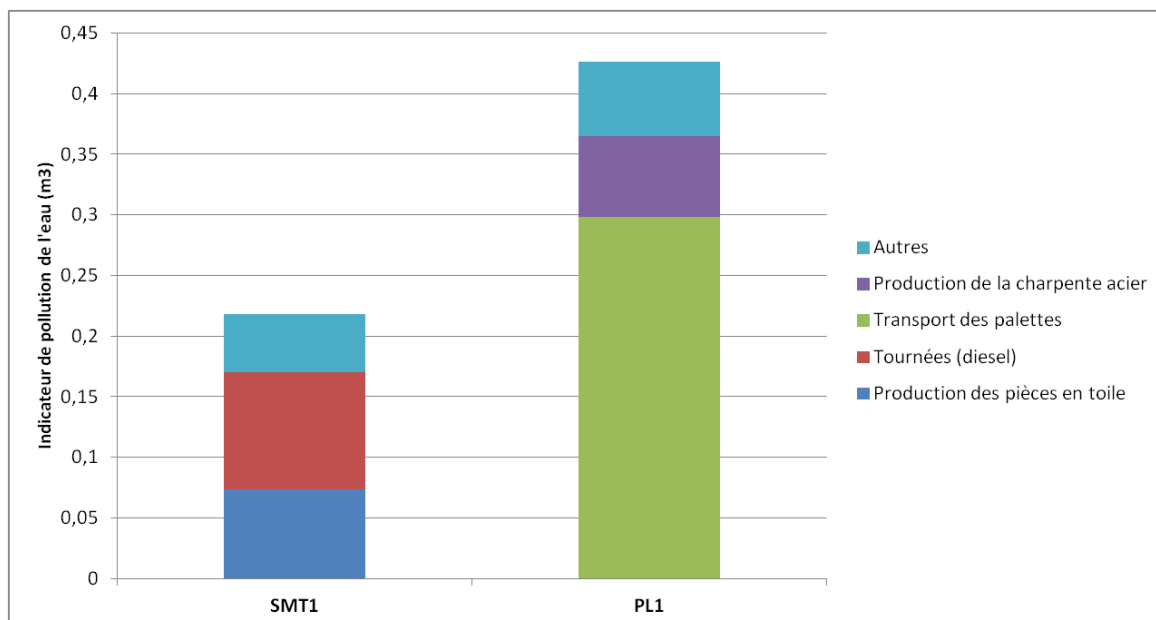
#### 4.1.1.2.5. Pollution de l'eau



**Graphique 4.1-n. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur l'indicateur pollution de l'eau (m³) par étape du cycle de vie**

Le graphique 4.3-f présente la comparaison des deux options sur l'indicateur pollution de l'eau. On constate que SMT1 contribue 48 % de moins que PL1 à cet indicateur.

Les contributions des différentes étapes suivent la même tendance que celles de l'indicateur formation d'ozone photochimique. Les étapes de transport sont les plus contributrices, suivies de la production des matériaux.



**Graphique 4.1-o. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur de pollution de l'air pour le scénario 1 (m<sup>3</sup>)**

### Principaux flux contributeurs

Les principales contributions viennent de l'extraction et le transport du pétrole par voie maritime :

- L'extraction de pétrole entraîne des émissions dans l'eau de substances organiques entraînant une demande biologique d'oxygène (DBO) (15% pour SMT1, 19% pour PL1), ainsi que des rejets de pétrole (15% pour SMT1, 20% pour PL1).
- De même, le transport du pétrole par supertanker entraînent des rejets similaires (DBO : 3% pour SMT1, 4% pour PL1 ; pétrole : 3% pour SMT1, 4% pour PL1).

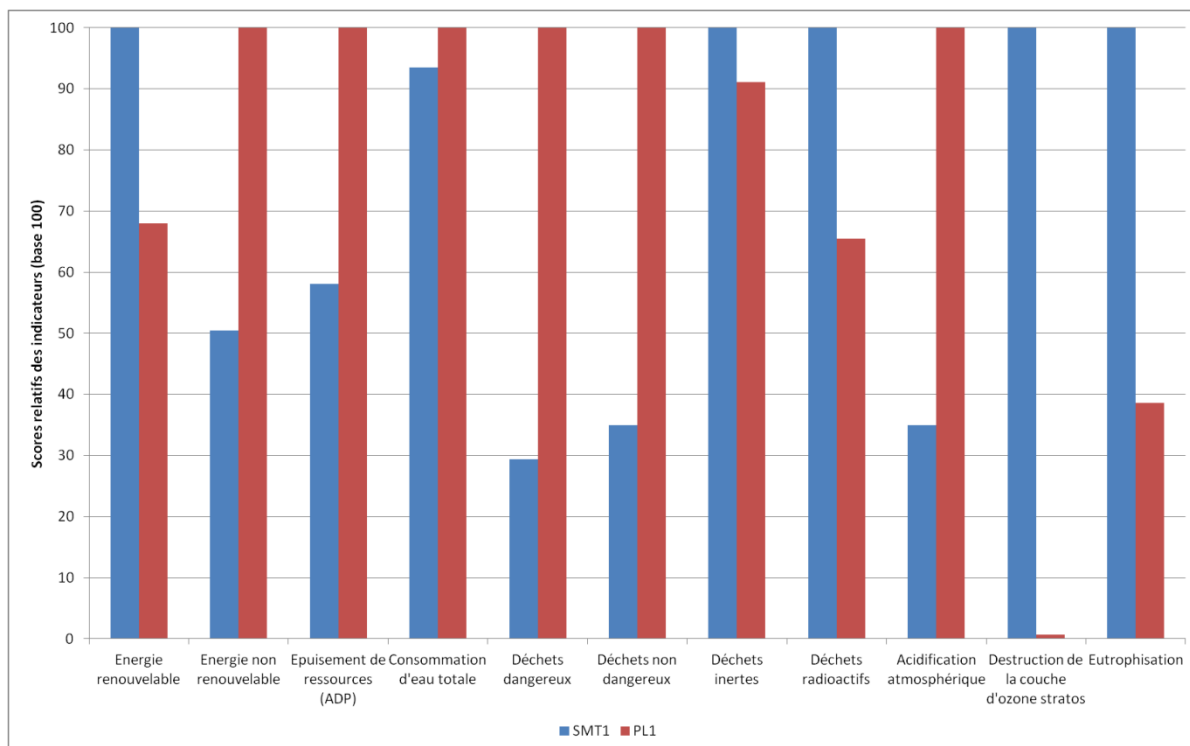
Pour SMT1, l'extraction de stibine et la production d'antimoine utilisé dans les toiles entraînent des rejets d'arsenic (environ 8% de l'indicateur), de cyanure (environ 8% de l'indicateur), de phosphate (environ 6%), de strontium (environ 5%).

Pour PL1, après les émissions de DBO et de pétrole, ce sont les émissions de strontium qui contribuent le plus à l'indicateur (9%). Ces émissions ont lieu principalement lors de l'extraction de ressources: la lignite (pour la production d'électricité utilisée dans la manufacture des métaux), le pétrole (pour le carburant), le zinc (pour la galvanisation des pièces en acier). Une contribution notable (7%) est celle du chromium VI, rejet de la production d'acier.

Cependant, beaucoup des données rendant compte de ces émissions sont marquées par un fort degré d'incertitude. Ceci est en particulier le cas pour les données décrivant l'extraction de minerais (bauxite, stibine, etc.) et le devenir des déchets/boues d'extraction.

#### 4.1.1.2.6. Autres indicateurs de la méthode MatFrance v2.06

Bien qu'écartés de l'étude, les autres indicateurs de la méthode MatFrance v2.06 ont été testés afin d'apporter un éclairage nouveau sur les comparaisons effectuées.



**Graphique 4.1-p. Evaluation comparative des options SMT1 et PL1 sur les indicateurs de méthode MatFrance v2.06 non sélectionnés.**

L'indicateur **énergie renouvelable** montre que SMT1 utilise relativement moins d'énergie renouvelable que PL1. Dans la base de données, ce flux d'énergie renouvelable provient des barrages hydroélectriques alimentant certaines usines de production d'aluminium. Puisque PL1 consomme davantage d'aluminium que SMT1, la proportion d'énergie renouvelable est plus forte, et donc la proportion d'**énergie non renouvelable** plus faible.

L'indicateur **épuisement de ressources** suit la même tendance que les indicateurs énergie primaire totale, changement climatique et formation d'ozone photochimique. Cela s'explique par le fait que le principal contributeur de cet indicateur est le pétrole utilisé pour le transport.

Il n'y a pas d'écart significatif pour les indicateurs **consommation d'eau totale** et **déchets inertes**. Des écarts importants en faveur de SMT1 sont constatés pour les indicateurs **déchets dangereux** et **déchets non dangereux**.

L'indicateur **déchets radioactifs** montre un écart de 35% en faveur de PL1. Ces déchets sont dus au mix de production d'électricité français, majoritairement d'origine nucléaire (75%). Dans le cas de SMT1, cette consommation est due à la réparation et aux lavages des pièces. Une prise en compte plus fine des consommations électriques (manutention, éclairage, etc.) aurait éventuellement permis d'affiner ces résultats.

La contribution de SMT1 à l'**acidification atmosphérique** est 65% moindre que celle de PL1. Cela est dû aux émissions de NOx et de SO<sub>2</sub> lors de la combustion du carburant lors du transport des palettes, ainsi qu'aux émissions d'ammoniac lors de la galvanisation des tôles et de la charpente acier.

L'indicateur **destruction de la couche d'ozone stratosphérique** montre un résultat très contrasté. Il faut toutefois noter que, en valeur absolue, les deux indicateurs sont de l'ordre de grandeur de 10<sup>-8</sup> et 10<sup>-10</sup> kgCFC11eq, ce qui est une valeur relativement faible. Cet indicateur n'est généralement pas pertinent pour les matériaux utilisés dans le bâtiment. De plus, le calcul des résultats normalisés a été effectué à l'aide de la méthode ReCiPe (H) ; il montre la faible pertinence de cet indicateur pour les systèmes étudiés (section 4.2.1.1.2).

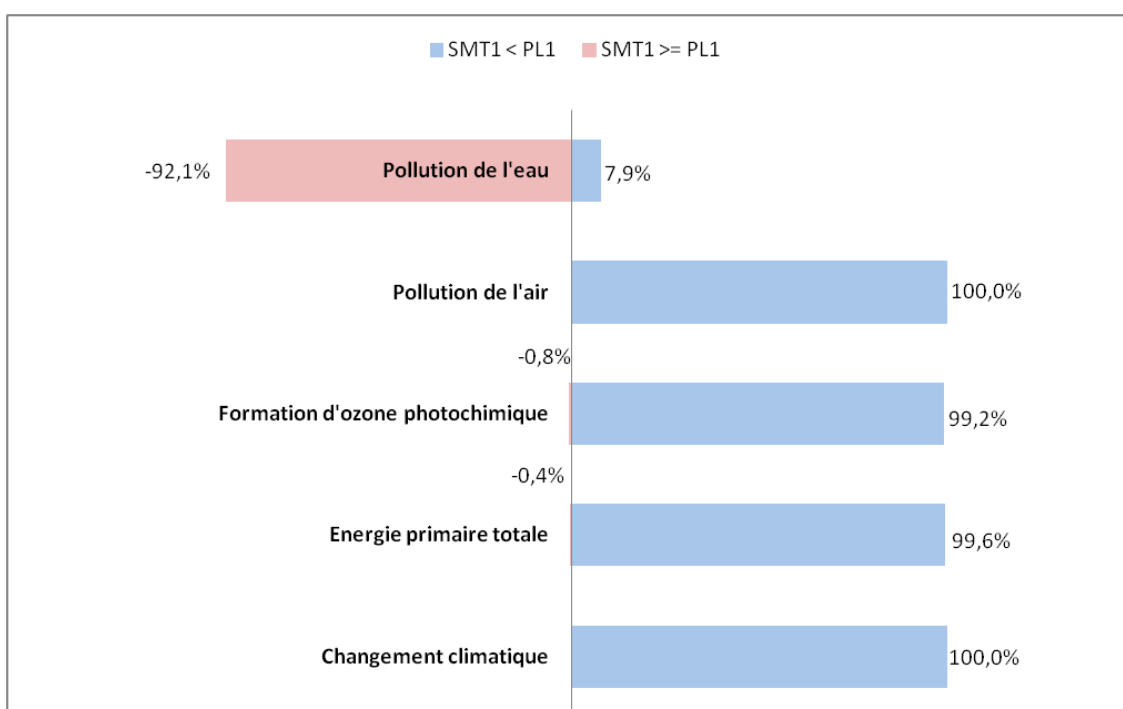


Enfin, l'indicateur d'**eutrophisation** de PL1 est plus de 60% moindre que celui de ES1. La contribution majeure est celle de l'extraction de la stibine (85%).

L'information principale tirée de cette analyse est la contribution relativement plus forte de STM1 à l'indicateur eutrophisation. Beaucoup d'indicateurs sont plutôt favorables à STM1. Les autres indicateurs sont soit redondants avec les indicateurs sélectionnés (par exemple l'indicateur d'épuisement des ressources et l'indicateur acidification atmosphérique), soit non pertinents pour l'étude (destruction de la couche d'ozone).

#### 4.1.1.3. Analyse d'incertitude sur les données

Une analyse d'incertitude est réalisée pour évaluer le degré de certitude quant au sens de la comparaison. Elle se base sur l'évaluation de la qualité des données effectuée section 3.3 qui permet la réalisation d'une analyse d'incertitude basée sur la méthode de Monte-Carlo.



**Graphique 4.1-q. Résultats de l'analyse comparative du scénario 1 effectuée avec la méthode de Monte Carlo. Nombre de tirages : 1000.**

Le graphique 4.1-q montre les résultats de l'analyse comparative effectuée via la méthode le Monte Carlo avec 1000 tirages. On constate que, de tous les tirages effectués, les indicateurs pollution de l'air et changement climatique de SMT1 sont toujours inférieurs à ceux de PL1. Les indicateurs formation d'ozone photochimique et énergie primaire totale de SMT1 sont très généralement inférieurs à ceux de PL1, sauf dans 0,8% et 0,4% des tirages. Ces résultats confirment le sens de comparaison mis à jour précédemment.

La surprise vient de l'indicateur pollution d'eau. D'après l'analyse effectuée avec la méthode de Monte Carlo, l'indicateur de pollution de l'eau de SMT1 est très souvent supérieur à celui de PL1. Ce résultat est très surprenant, puisque dans l'analyse sans prise en compte de l'incertitude, l'indicateur de SMT1 est plus faible de moitié que celui de PL1. Il a été mis à jour qu'un nombre important de données influençant cet indicateur présentent un fort degré d'incertitude (voir section 4.1.1.2.5). Toutefois, les raisons exactes de ce retournement n'ont pas été élucidées.

#### **4.1.1.4. Conclusion scénario 1**

Les résultats du périmètre restreint montrent que les quantités d'intrants et d'extrants de SMT1 et PL1 sont comparables, mais leur nature est différente. La matière consommée par SMT1 est très majoritairement constituée de consommables (90%), et en particulier d'eau pour le nettoyage des toiles (64%). Pour PL1, la principale consommation matérielle et énergétique vient de la consommation de diesel pour assurer le transport et la rotation des marchandises. Une part importante (40% des consommations matérielles) vient des matériaux de construction. Cela se traduit par une quantité de déchets matériels générés plus de cinq fois plus grande pour PL1 que pour SMT1.

Les résultats du périmètre élargi montrent que les cinq indicateurs d'impacts choisis sont de 44 à 58% moindres pour SMT1 que pour PL1. Les contributions sont largement dominées par les impacts de la production et la combustion du carburant utilisé dans PL1 pour le transport des palettes. Seul l'indicateur de pollution de l'air est relativement moins sensible à ce flux et dépend davantage des émissions dans l'air des étapes d'extraction de minerais et de production des métaux.

L'analyse d'incertitude tend à confirmer les résultats pour les indicateurs demande d'énergie totale, changement climatique, pollution de l'air et formation d'ozone photochimique. En revanche, elle met en lumière la difficulté de tirer des conclusions de l'indicateur pollution de l'eau.

Le passage du périmètre restreint au périmètre élargi montre que certains flux, pourtant majoritaires dans les inventaires du périmètre restreint, ont en fait des impacts négligeables sur les indicateurs choisis. C'est en particulier le cas de l'eau mobilisée pour le nettoyage des toiles, ou encore du sable et du gravier utilisés pour bâtir les fondations du bâtiment logistique. Les impacts environnementaux directs de l'étape de gestion des pièces, étape primordiale pour assurer le réemploi des pièces et donc l'efficacité matérielle de SMT1, semblent relativement modérés.

L'analyse sur les autres indicateurs de MatFrance v2.06 tend à confirmer cette tendance générale, sauf pour l'indicateur eutrophisation.

## **4.1.2.Scénario 2**

### **4.1.2.1. Périmètre restreint**

Le tableau 4.1-a présente les quantités de matières et d'énergie mobilisées pour le stockage d'une palette pendant un mois pour l'option SMT2.

**Tableau 4.1-c. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option SMT2**

Intrants		Extrants	
Profilés d'aluminium neufs (kg)	6,4E-03	Profilés d'aluminium en fin de vie (kg)	6,4E-03
Pièces neuves en acier (kg)	3,0E-03	Pièces acier en fin de vie (kg)	3,0E-03
Tôles neuves (kg)	0,0E+00	Tôles en fin de vie (kg)	0,0E+00
Pièces neuves en toile Ferrari 502 (kg)	4,2E-03	Pièces toile Ferrari 502 en fin de vie (kg)	4,2E-03
Pièces neuves en toile Ferrai 602 (kg)	1,2E-02	Pièces toile Ferrai 602 en fin de vie (kg)	1,2E-02
Carburant (kg)	2,2E-02	CO2 (kg)	7,0E-02
Eau (kg)	4,2E-02		
Détergent (kg)	5,2E-04	Effluent (kg)	4,2E-02
Electricité (kWh)	1,9E-02		

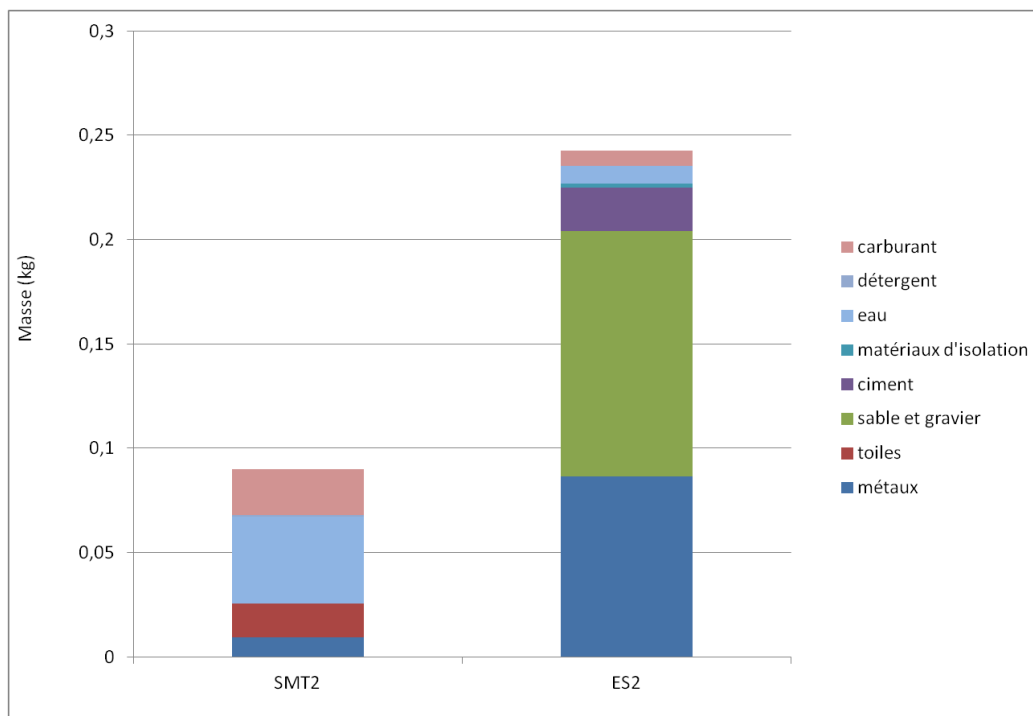
Le tableau 4.1-b présente les quantités de matières et d'énergie mobilisées pour le stockage d'une palette pendant un mois pour l'option ES2.

**Tableau 4.1-d. Inventaire des intrants et extrants du périmètre restreint de l'option ES2**

Intrants		Extrants	
Sable (kg)	4,3E-02	Déchets d'aluminium (kg)	4,4E-03
Gravier (kg)	7,5E-02	Déchets d'acier (kg)	8,0E-02
Ciment (kg)	2,1E-02	Déchets inertes (kg)	1,4E-01
Profilés d'aluminium (kg)	4,4E-03	Déchets non dangereux (kg)	1,0E-02
Charpente en acier galvanisé (kg)	5,9E-02	CO2 (kg)	2,3E-02
Tôles (kg)	2,1E-02		
Armature en acier (kg)	2,3E-03		
Laine de roche (kg)	8,5E-03		
Laine de verre (kg)	1,5E-03		
Carburant diesel (kg)	7,5E-03		
Eau (kg)	8,3E-03		
Electricité (kWh)	1,4E-02		

#### 4.1.2.1.1. Intrants

Le graphique 4.1-r présente la comparaison des deux options pour les intrants. Le total des intrants s'élève à 0,09 kg par palette.mois pour SMT2, et à 0,24 kg par palette.mois pour ES2. La différence est plus forte qu'au scénario 1.



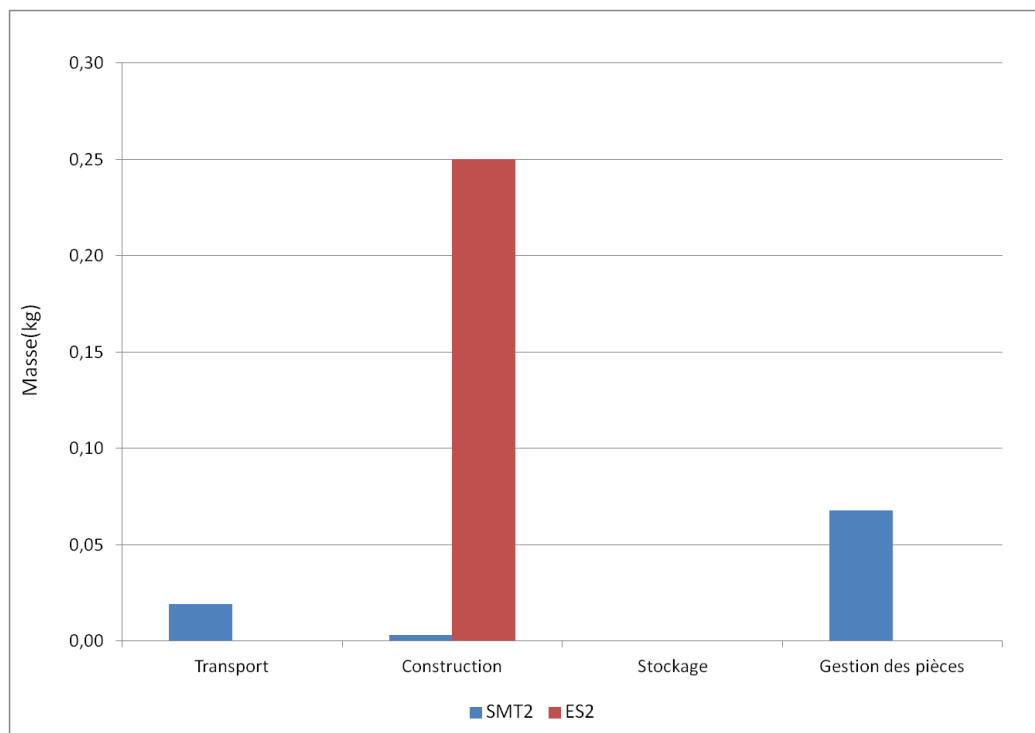
**Graphique 4.1-r. Comparaison des quantités d'intrants du périmètre restreint de SMT2 et ES2**

#### **Principaux flux de matières mobilisées**

Comme pour le scénario 1, les principaux flux de matière mobilisés pour SMT2 sont les consommables (72% du total), en particulier l'eau (47%) et le diesel (25%).

Contrairement à PL1, il n'y a pas de transport de palettes pour ES2. L'essentiel des consommations concernent donc les matériaux de construction, en particulier ceux nécessaires aux fondations (principalement minéral - 56%), à la charpente et à l'habillage (métal - 34%).

Tout comme ceux de SMT1, les résultats de SMT2 sont conformes au modèle d'économie de fonctionnalité : la fourniture du service mobilise avant tout des consommables, le système matériel est lui amorti sur un nombre important de prestations. En revanche, les consommations d'ES2, qui est un modèle où le client achète la solution matérielle, sont presque exclusivement constituées des matériaux constituant la solution matérielle.



**Graphique 4.1-s. Comparaison des quantités d'intrants du le périmètre restreint de SMT2 et ES2 par étapes (voir section 4.1 pour la description des étapes)**

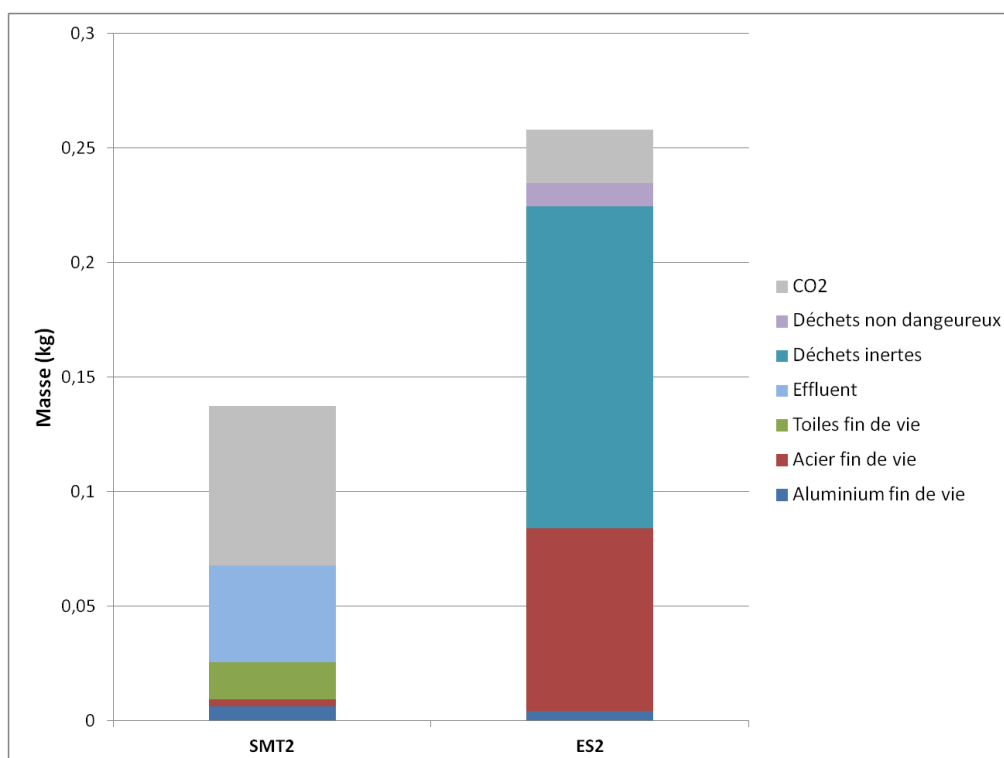
#### Comparaison par étapes

Toutes les consommations matières d'ES2 ont lieu lors de la phase de construction et de démolition du bâtiment. Celles de SMT2, comme celles de SMT1, se répartissent entre la gestion des pièces (mise au rebut, achat de nouvelles pièces, réparation, nettoyage, etc.) et les tournées de pose/dépose.

On constate que l'impact des matériaux est relativement plus fort que dans le scénario 1. Les consommables, en particulier le diesel, sont en effet amortis sur une plus grande durée et un plus grand nombre de palettes.

##### 4.1.2.1.2. Extrants

Le graphique 4.1-d présente la comparaison des deux options pour les flux sortant du périmètre restreint.



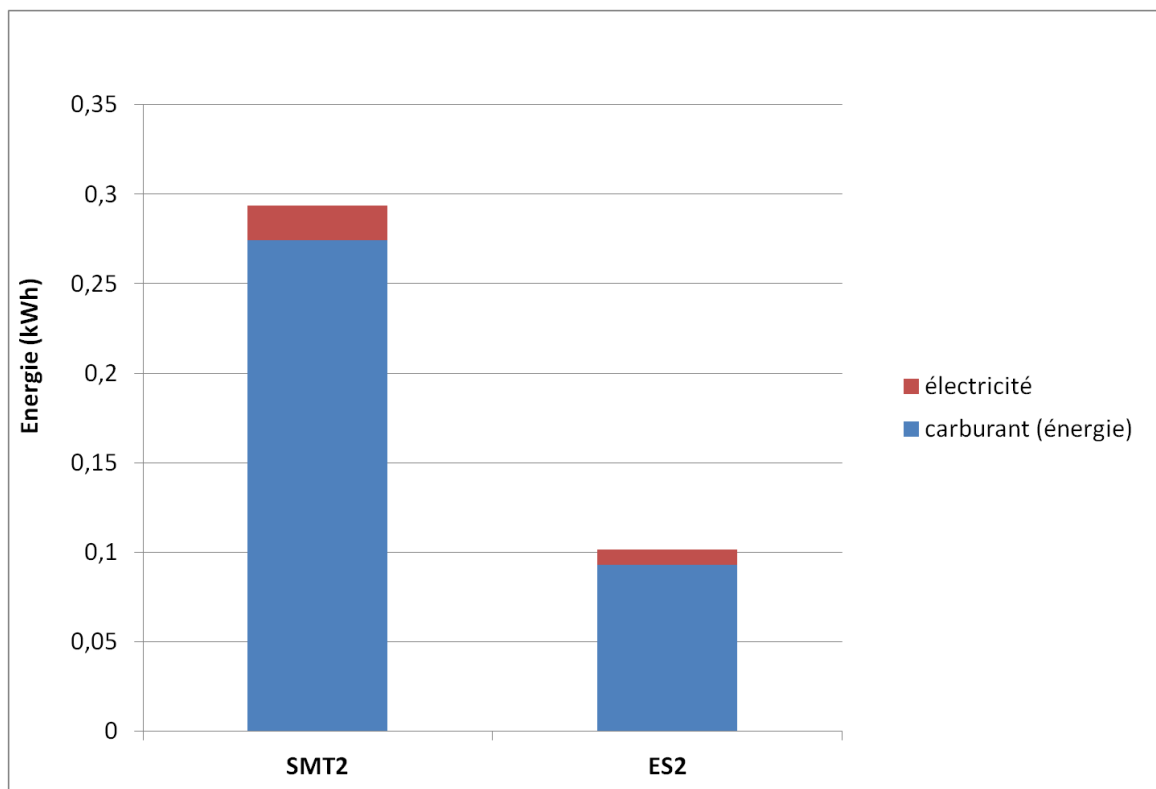
**Graphique 4.1-t. Extrants du périmètre restreint des options SMT2 et ES2**

Les déchets solides de SMT2 sont près de dix fois moindres que ceux d'ES2, alors que ceux de SMT1 sont cinq fois moindres que ceux de PL1. Cet accroissement de l'écart s'explique par le fait que :

- l'entrepôt construit dans ES2 sert uniquement au stockage du client, il n'y a pas donc pas d'allocation des flux entre différents utilisateurs, comme c'est le cas pour PL1.
- la durée de prestation est trois fois plus grande. La durée influe également sur SMT2, mais en moindre mesure car la structure métallo-textile est plus légère que l'entrepôt.

#### 4.1.2.1.3. Consommation énergétique

Le graphique 4.1-e présente la comparaison des deux options pour la consommation énergétique.

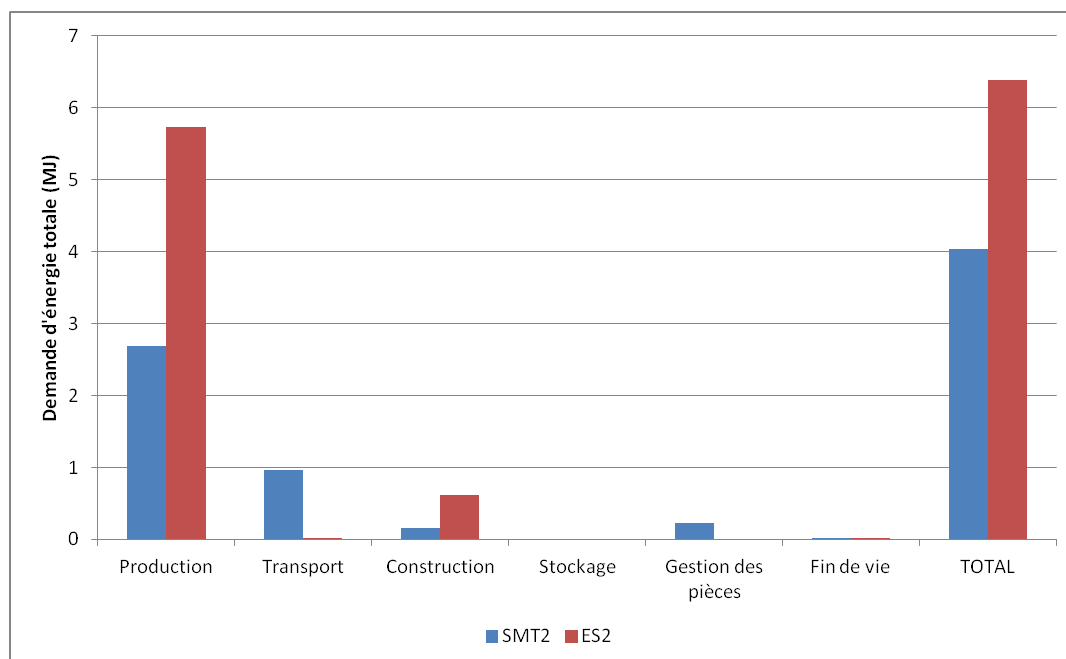


**Graphique 4.1-u. Consommation énergétique du périmètre restreint des options SMT2 et ES2**

Comme pour le précédent scénario, l'énergie est majoritairement mobilisée sous forme de carburant. Dans ce scénario, puisqu'il n'y pas de déplacement des palettes, c'est la consommation de carburant lors des tournées de pose et de dépose qui domine la consommation énergétique. SMT2 est donc près de trois fois plus consommatrice d'énergie qu'ES2. Alors que le carburant d'ES2 est amorti sur 50 ans, celui de SMT2 l'est seulement sur 3 ans. Cela suppose, bien entendu, que l'entrepôt construit sera utilisé pendant 50 ans.

#### 4.1.2.2. Périmètre élargi

##### 4.1.2.2.1. Demande énergétique totale

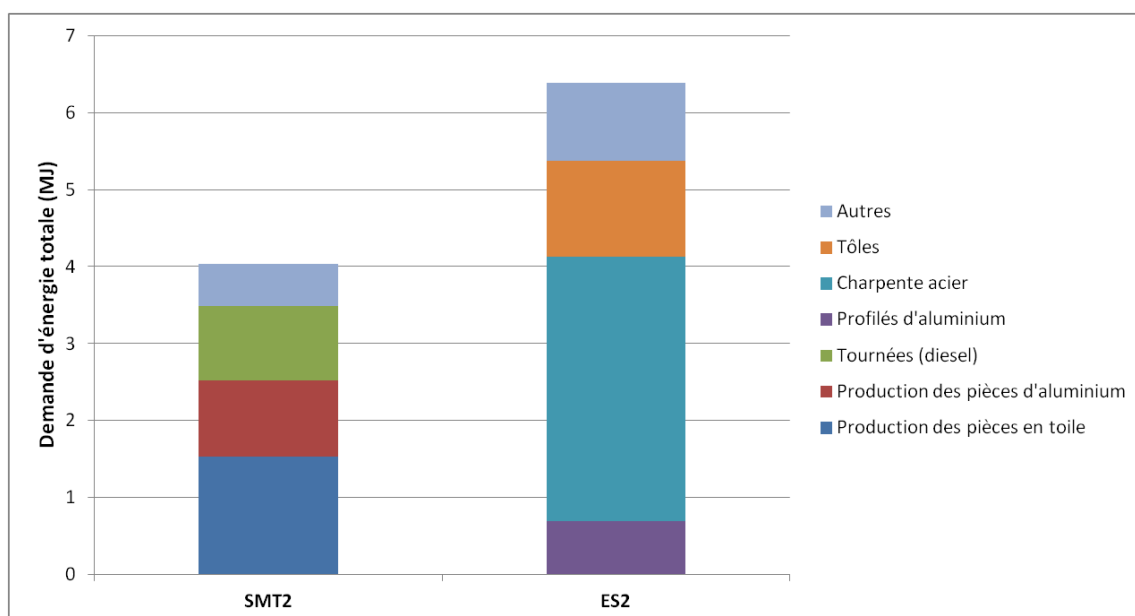


**Graphique 4.1-v. Evaluation comparative des options SMT2 et ES2 sur l'indicateur de demande d'énergie totale (MJ) par étape du cycle de vie**

Le graphique 4.1-v présente la comparaison des deux options sur l'indicateur demande d'énergie totale. On constate que SMT2 contribue 38 % de moins qu'ES2 à cet indicateur. Lors de la phase de stockage, aucun flux n'est inclus dans le périmètre (les deux options sont installées directement sur le site du client, il n'y a pas de transport ni de manutention).

L'étape de production des matériaux de construction et des pièces des structures est de loin l'étape la plus contributrice.





**Graphique 4.1-w. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur demande d'énergie totale (MJ)**

#### Principaux processus contributeurs

La production des pièces en toile et d'aluminium sont les principaux contributeurs pour SMT2, suivis des tournées de pose/dépose. Pour ES2, c'est la production de la charpente acier qui mobilise la plus grosse demande d'énergie, suivie de la production des tôles et des profilés d'aluminium.

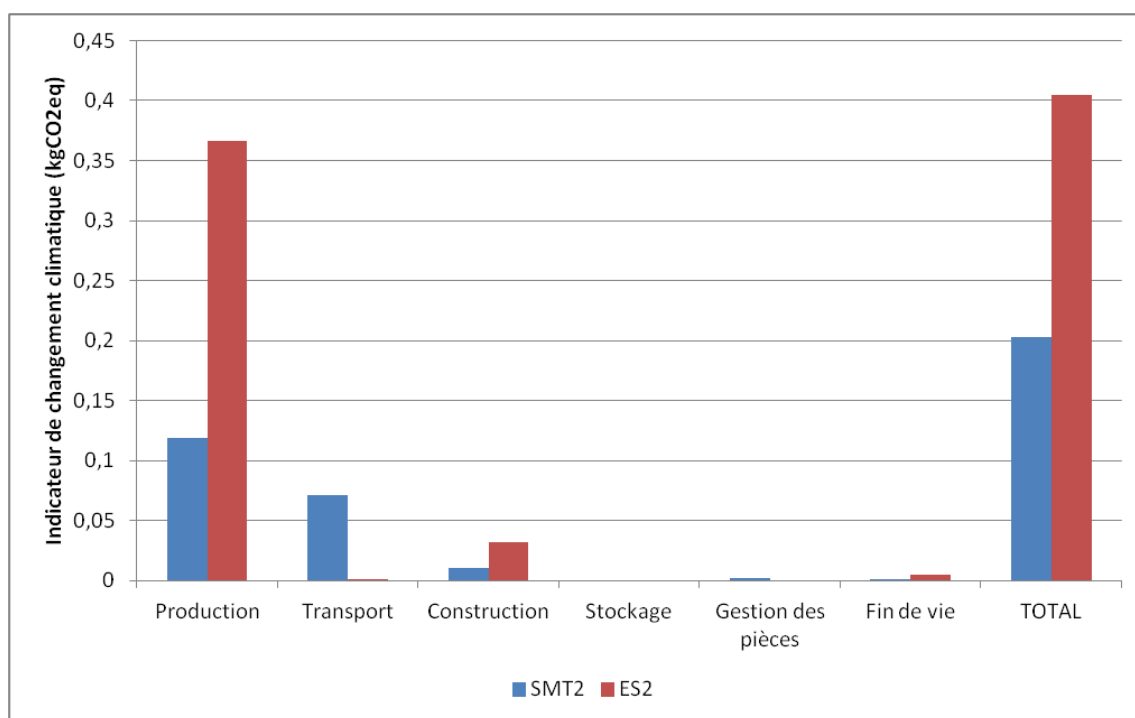
On constate ici que les demandes d'énergie d'ES2 sont presque exclusivement causées par la production des matériaux de construction, alors que pour SMT2, une part de consommables (tournées, pose/dépose, gestion des pièces) contribue encore significativement à l'indicateur.

#### Principaux flux contributeurs

Pour ES2, la demande d'énergie est plutôt équitablement répartie sur l'ensemble des processus de production des métaux, en particulier sur l'extraction des minerais (fer, bauxite), et la production des métaux semi-manufacturés. Les profilés d'aluminium montrent un niveau de contribution relativement fort au vu de leur quantité.

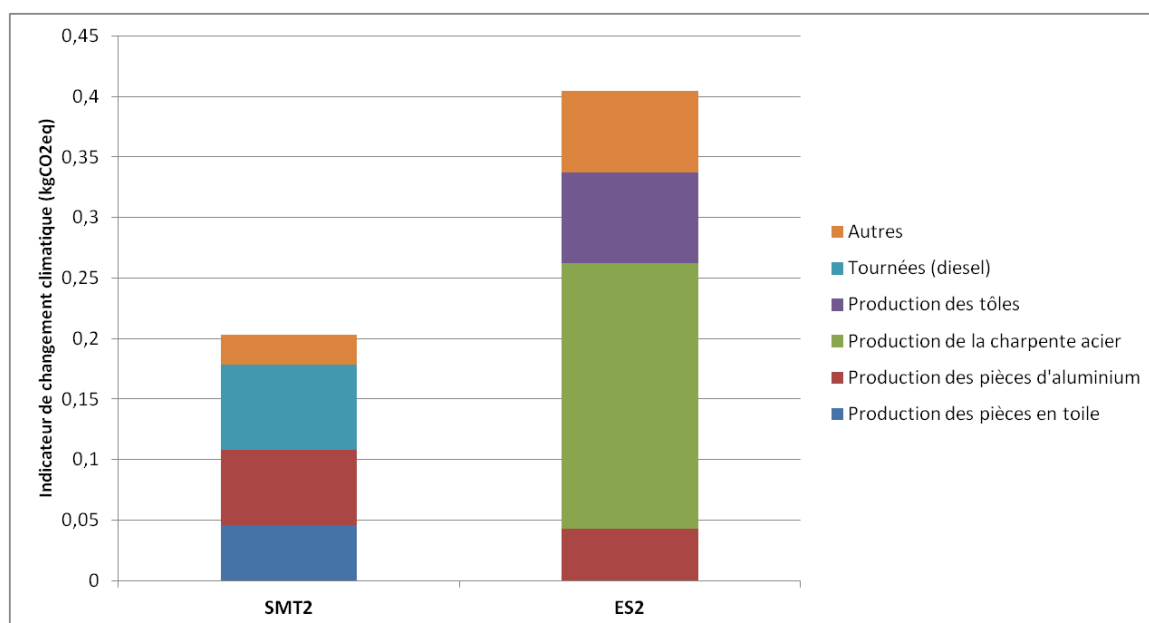
Pour SMT2, la demande d'énergie est concentrée sur les différentes étapes de production des toiles (38%), en particulier pour la production de xylène et de PVC. Le carburant utilisé pour les tournées est également un contributeur essentiel (24%). Comme pour ES2, malgré la faible quantité d'aluminium mobilisé, l'électricité nécessaire à la production d'aluminium contribue significativement à la demande d'énergie totale de SMT2 (25%).

#### 4.1.2.2.2. Changement climatique



**Graphique 4.1-x. Evaluation comparative des options SMT2 et PL2 sur l'indicateur de changement climatique (kgCO<sub>2</sub>eq) par étape du cycle de vie**

Le graphique 4.1-x présente la comparaison des deux options sur l'indicateur de changement climatique. On constate que SMT2 contribue 50 % de moins qu'ES2 à cet indicateur. La contribution de chaque étape du périmètre restreint suit la même tendance que pour l'indicateur demande d'énergie totale. C'est la production des matériaux qui domine toutes les contributions, en particulier pour ES2.



**Graphique 4.1-y. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur changement climatique (kgCO<sub>2</sub>eq)**

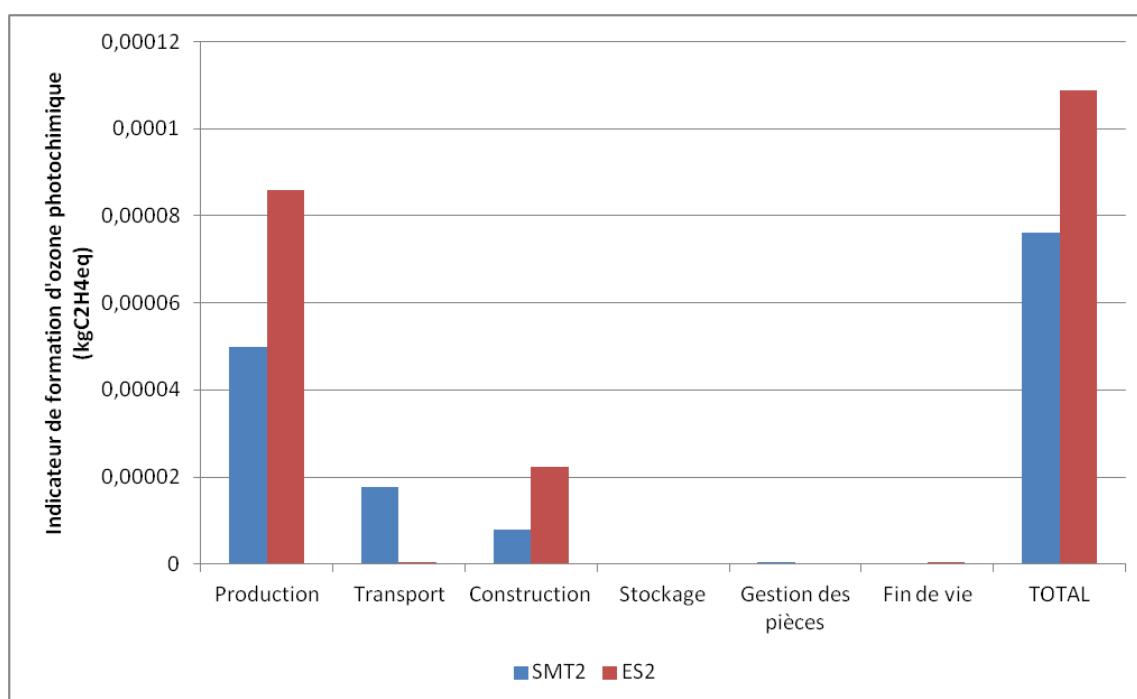
### Principaux processus contributeurs

La répartition générale des différentes contributions se rapprochent fortement de celle constatée pour l'indicateur demande énergétique totale. La principale différence vient de la contribution relativement plus faible des toiles.

### Principaux flux contributeurs

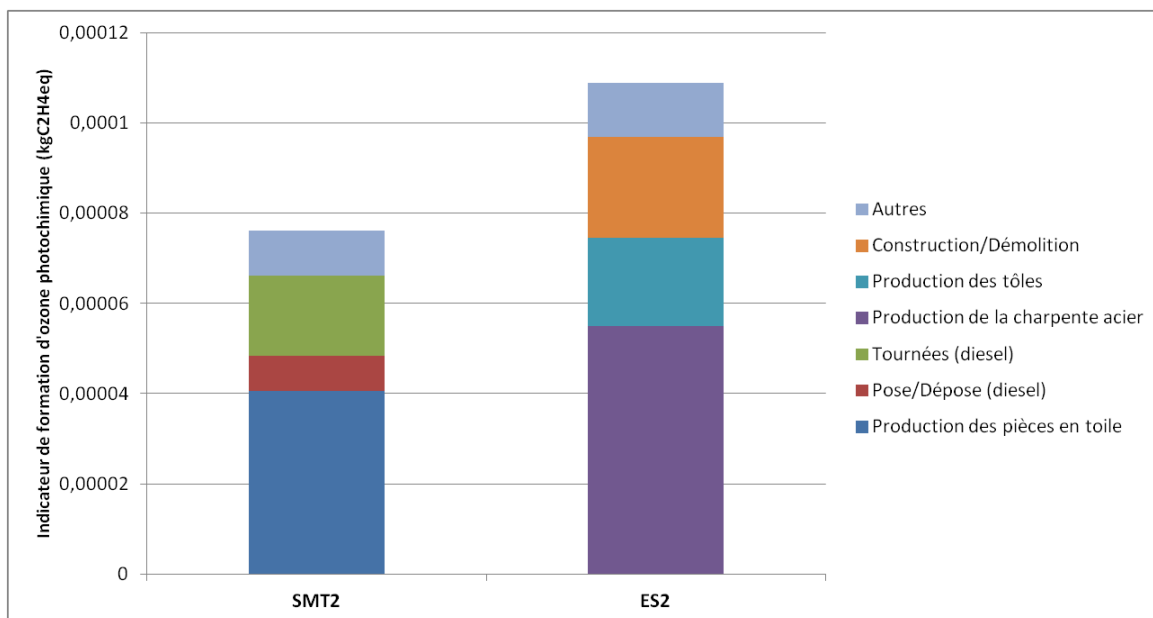
Le flux contribuant majoritairement à cet indicateur est le dioxyde carbone émis dans l'air (94% pour SMT2, 92% pour ES2), principalement lors de la production de la charpente acier et de l'aluminium pour ES2 (58%), principalement lors de la tournée pour SMT2 (33%).

#### 4.1.2.2.3. Formation d'ozone photochimique



Graphique 4.1-z. Evaluation comparative des options SMT2 et PL2 sur l'indicateur formation d'ozone photochimique (kgC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>eq) par étape du cycle de vie

Le graphique 4.1-z présente la comparaison des deux options sur l'indicateur formation d'ozone photochimique. On constate que SMT2 contribue 30 % de moins qu'ES2 à cet indicateur. Pour cet indicateur, on constate que la contribution de l'étape de construction est relativement plus élevée que pour les deux précédents indicateurs.



**Graphique 4.1-aa. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur formation d'ozone photochimique (kgC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>eq)**

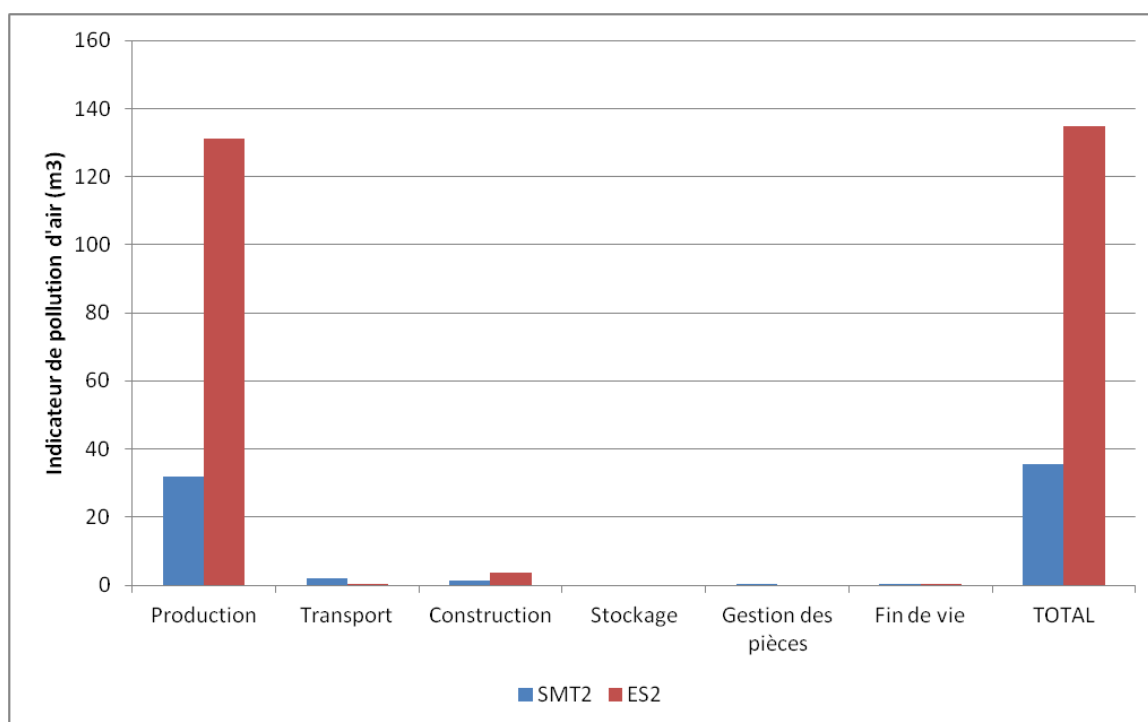
#### Principaux flux contributeurs

Le flux contribuant majoritairement à cet indicateur est le flux de composés organiques volatiles (hors méthane) émis dans l'air (79% pour SMT2, 64% pour ES2). Ces émissions ont principalement lieu lors de :

- La combustion du diesel dans les camions et les machines outils ;
- La production du diesel;
- La production de l'acier et l'extraction du zinc ;
- La production du PVC, du PET, des phtalates et de l'antimoine des toiles.

Un flux d'hydrocarbure aliphatique émis dans l'air dans ES2 contribue également à hauteur de 15%. Cette émission vient d'une donnée Ecoinvent 2.2 décrivant le fonctionnement de machines de manufacture des métaux. C'est une donnée très générique, qui répond au besoin de modéliser une grande diversité de pièces d'acier. La donnée d'émissions d'hydrocarbure aliphatique est d'une qualité relativement bonne (score de pédigrée 1.3.2.1.3.4. d'après Ecoinvent 2.2).

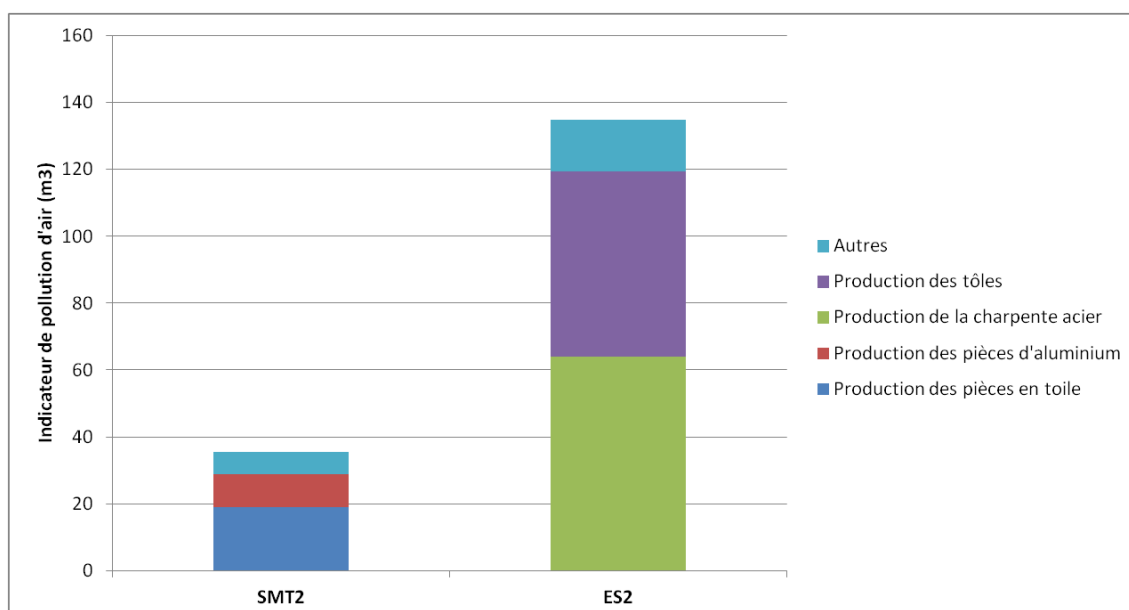
#### 4.1.2.2.4. Pollution de l'air



**Graphique 4.1-bb. Evaluation comparative des options SMT2 et PL2 sur l'indicateur de pollution de l'air (m³) par étape du cycle de vie**

Le graphique 4.1-bb présente la comparaison des deux options sur l'indicateur formation d'ozone photochimique. On constate que SMT2 contribue 74 % de moins qu'ES2 à cet indicateur.

Pour cet indicateur, l'étape de production des matériaux est largement prédominante pour les deux options.



**Graphique 4.1-cc. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur de pollution de l'air (m³)**

#### Principaux flux contributeurs

Les principaux flux contributeurs correspondent aux flux déjà identifiés dans le scénario 1.

Pour SMT2 :

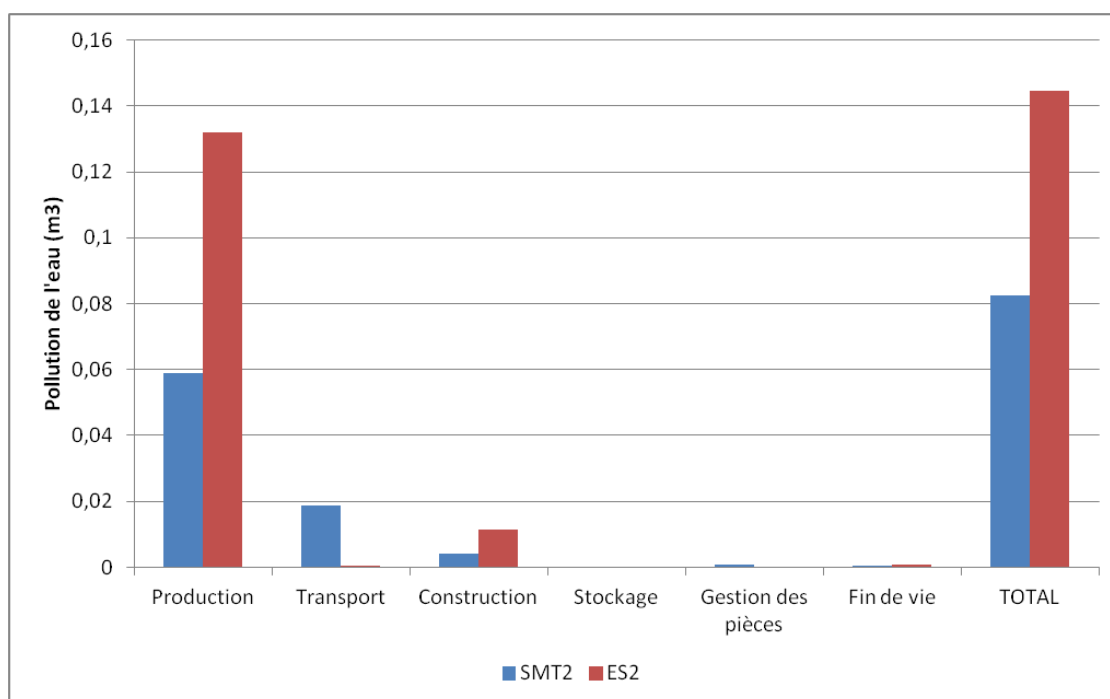
- Emissions d'aluminium lors de l'extraction de la stibine (21%)
- Emissions de monoxyde de carbone lors de la production de l'aluminium, du fer et de l'acier, et lors de l'utilisation des camions et des machines outils (18%)
- Emissions de sulfure de carbone lors de l'extraction de la stibine (13%)
- Emissions de particules lors de l'extraction de la stibine, de la bauxite (pour l'aluminium), de la combustion du carburant (pour les tournées et la pose/dépose), et lors de l'extraction de charbon (pour l'électricité nécessaire à la production des métaux) (22%).

Pour ES2 :

- Emissions d'ammoniac lors de la galvanisation (19%)
- Emissions de monoxyde de carbone lors de l'extraction et le raffinage du minerai de fer (16%)
- Emissions de particules lors de l'extraction du minerai de fer et la production des métaux

Comme pour le scénario 1, beaucoup de flux participant à cet indicateur ont été calculé à partir de données qualifiées comme relativement incertaines dans la base Ecoinvent 2.2 (par exemple les émissions d'ammoniac lors de la galvanisation, les émissions lors de l'extraction des minerais).

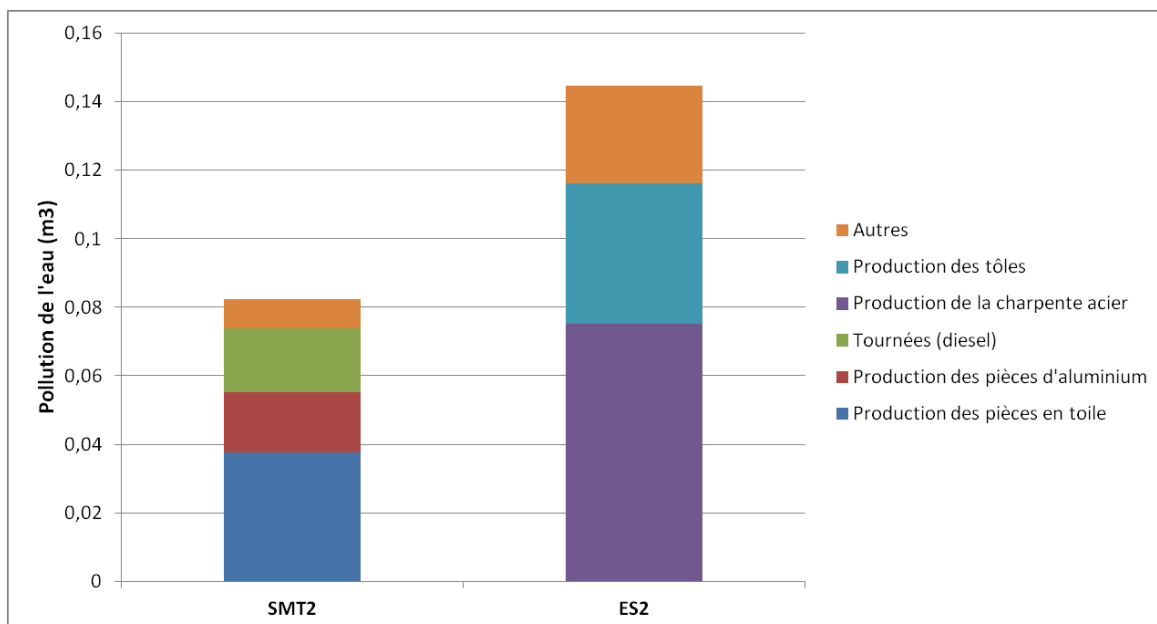
#### 4.1.2.2.1. Pollution de l'eau



Graphique 4.1-dd. Evaluation comparative des options SMT2 et PL2 sur l'indicateur pollution de l'eau (m³) par étape du cycle de vie

Le graphique 4.1-dd présente la comparaison des deux options sur l'indicateur pollution de l'eau. On constate que SMT2 contribue 43 % de moins qu'ES2 à cet indicateur.

Comme pour le scénario 1, les contributions des différentes étapes suivent celles de l'indicateur formation d'ozone photochimique. Les étapes de construction des matériaux sont très majoritaires.



**Graphique 4.1-ee. Analyse des flux contributeurs sur l'indicateur de pollution de l'eau pour le scénario 2 (m<sup>3</sup>)**

#### **Principaux flux contributeurs**

Comme pour SMT1, les principales contributions pour SMT2 viennent de l'extraction et le transport du pétrole par voie maritime, pétrole à l'origine du carburant utilisé dans les tournées de pose/dépose (les émissions de DBO et de pétrole contribuent à hauteur de 20%).

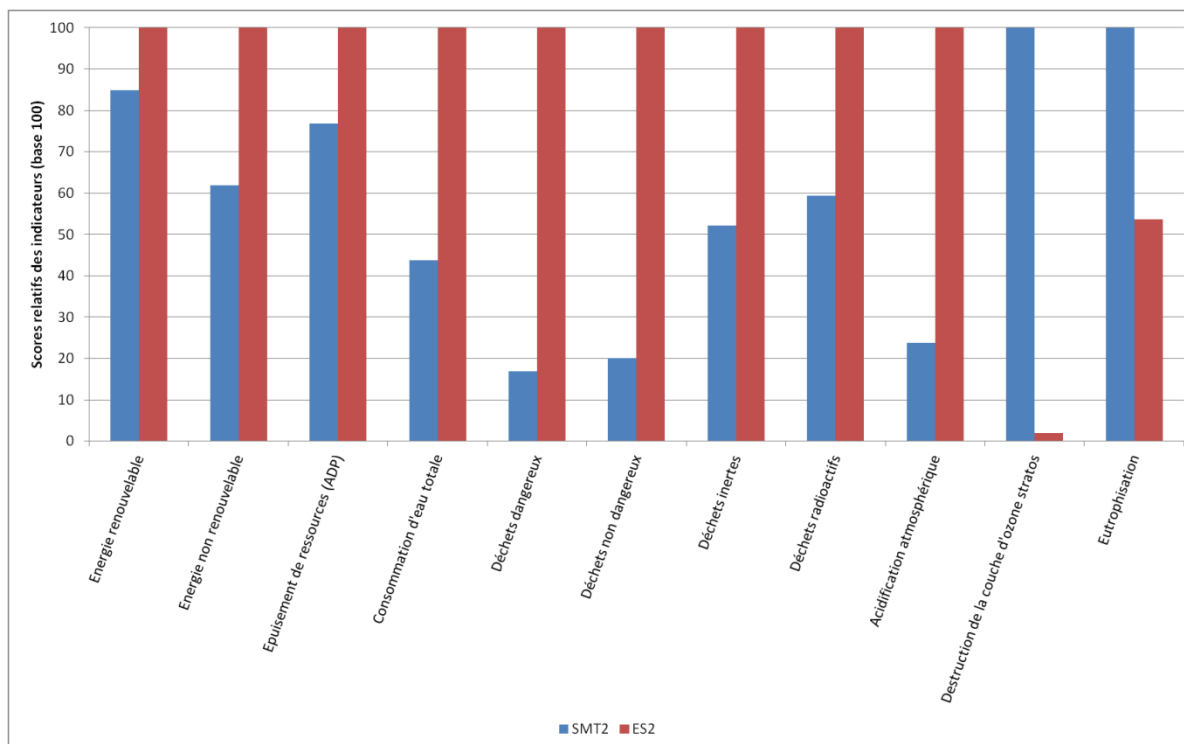
Les autres flux contributeurs sont issus de l'extraction de la stibine et du raffinage de l'antimoine : émissions d'arsenic (14%), de cyanures (11%), de phosphate (9%). Des rejets de chromium VI dus à l'extraction de la bauxite ont également une contribution notable (3%).

Pour ES2, la principale contribution est celle causée par des rejets de chromium VI lors de la production d'acier (en particulier des rejets issus des déchets des aciéries) (27%). Le deuxième flux le plus contributeur est celui d'ions fers (13%), rejetés à plusieurs endroits du système (par exemple l'extraction de lignite pour la production d'électricité hors de France (pour les aciéries par exemple), la production de zinc à partir de minéraux sulfurés). Ces rejets d'ions fers sont généralement accompagnés de rejets d'arsenic (9%). La formation de DBO contribue à cet indicateur à hauteur de 10%, principalement due à la production de carburant utilisé lors de la manufacture des pièces en acier et à l'extraction du fer.

Cependant, la majorité des données rendant compte de ces émissions sont marquées par un fort degré d'incertitude.

#### *4.1.2.2.1. Autres indicateurs de la méthode MatFrance v2.06*

Comme pour le premier scénario, les autres indicateurs de la méthode MatFrance v2.06 ont été testés.



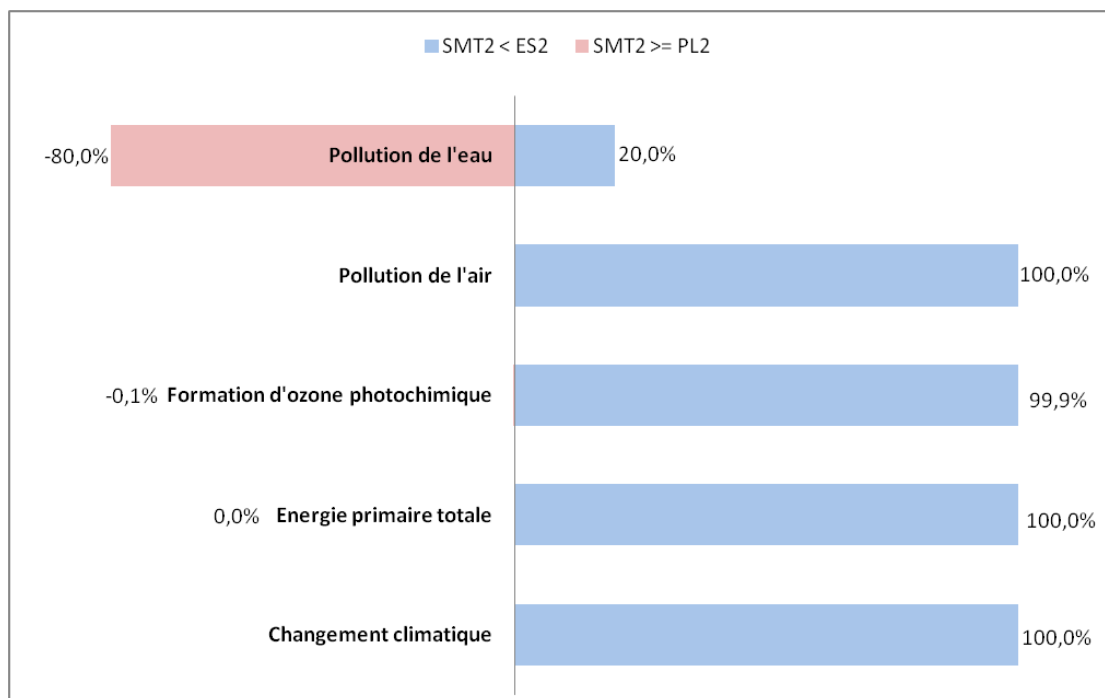
**Graphique 4.1-ff. Evaluation comparative des options SMT2 et ES2 sur les indicateurs de méthode MatFrance v2.06 non sélectionnés.**

Pour ce scénario, la plupart des indicateurs sont plutôt favorables à SMT2. Comme pour le premier scénario, l'élément le plus intéressant est la plus forte contribution de SMT2 à l'indicateur eutrophisation, principalement causée par l'extraction de la stibine.

#### ***4.1.2.3. Analyse d'incertitude sur les données***

Comme en section 4.1.1.3, une analyse d'incertitude sur les données utilisées est effectuée pour le scénario 2.





**Graphique 4.1-gg. Résultats de l'analyse comparative du scénario 2 effectuée avec la méthode de Monte Carlo. Nombre de tirages : 1000.**

Le graphique 4.1-gg montre les résultats de l'analyse comparative effectuée avec la méthode le Monte Carlo avec 1000 tirages. On constate que, de tous les tirages effectués, les indicateurs pollution de l'air, changement climatique et énergie primaire totale de SMT2 sont toujours inférieurs à ceux d'ES2. L'indicateur formation d'ozone photochimique de SMT1 est très généralement inférieur à celui d'ES2, sauf dans 0,1% des tirages.

Comme pour le scénario 1, un retournement a lieu pour l'indicateur pollution de l'eau. Alors qu'une analyse sans prise en compte de l'incertitude montre que SMT2 est 43% moindre qu'ES2 sur cet indicateur, la prise en compte de l'incertitude des données montre que SMT2 est supérieur à ES2 dans 80% des tirages.

Cette analyse d'incertitude montre que pour 4 des 5 indicateurs, l'incertitude liée à la qualité des données, telle qu'évaluée section 3.3.2, ne permet pas de remettre en cause le sens de la comparaison. Cela inclut l'indicateur pollution de l'air, dont nombre de flux contributeurs sont pourtant liés à des données relativement incertaines. En revanche, l'analyse montre que l'indicateur pollution d'eau se comporte de manière inattendue face à l'incertitude des données : non seulement le sens de la comparaison est infirmé, mais il serait même inversé. Ce comportement témoigne de la fiabilité limitée de cet indicateur, dont on ne tirera donc aucune conclusion.

#### **4.1.2.4. Conclusion scénario 2**

Dans le scénario 2, l'option à laquelle la location de structure est comparée subit une importante modification. L'entrepôt de stockage est construit sur le site du client, ce qui évite le transport des palettes, étape déterminante du sens de la comparaison pour le scénario 1. Par conséquent, la quasi-totalité des flux matériels entrant dans le périmètre d'ES2 est constitué de matériaux de construction (97%). Malgré l'évitement du transport des palettes, ES2 mobilise significativement plus de matière dans le périmètre restreint. L'entrepôt n'est en effet plus partagé entre différents utilisateurs comme l'était celui de PL1. En outre, la durée de prestation est plus grande, ce qui affecte davantage ES2 que SMT2 car l'entrepôt construit est plus lourd que la structure métallo-textile.

En revanche, lorsque les flux énergétiques sont comparés, les résultats s'inversent. Cela s'explique par le fait que les seules consommations énergétiques d'ES2 sont celles mobilisées pour la construction et la démolition du bâtiment, consommations amorties sur toute la durée de vie du bâtiment (50 ans). Pour SMT2, les consommations énergétiques liées aux tournées de pose/dépose ne sont qu'amorties sur la durée de la prestation (3 ans).

Les résultats du périmètre élargi montrent que les cinq indicateurs d'impacts choisis sont de 38 à 74% moindres pour SMT2 que pour ES2. Les écarts sont plus contrastés que pour le scénario 1 (écarts 44 à 58%). Cela s'explique par le fait que, dans le scénario 1, les contributions étaient largement dominées par le diesel consommé lors du transport des palettes, ce qui avait tendance à niveler les résultats. Dans le scénario 2, l'origine des impacts est donc plus variée.

Les principaux flux contributeurs sont générés par la production des pièces et des matériaux de construction. La production de certaines substances entrantes dans la composition des toiles a des impacts notables (stibine). Pour ES2, c'est la production d'acier, d'aluminium, et de zinc pour la galvanisation qui contribuent majoritairement aux indicateurs. La combustion de diesel lors des tournées reste un contributeur significatif pour la plupart des indicateurs de SMT2.

L'analyse d'incertitude tend à confirmer les résultats pour les indicateurs demande d'énergie totale, changement climatique, pollution de l'eau et formation d'ozone photochimique. En revanche, elle met en lumière la difficulté de tirer des conclusions de l'indicateur pollution de l'eau.

## ***4.2. Analyses de sensibilité***

Dans les deux scénarios et pour la plupart des indicateurs, l'option « structure métallo-textile » obtient de meilleurs scores. L'analyse d'incertitude sur la qualité des données d'ailleurs a confirmé le sens des comparaisons, à l'exception de l'indicateur de pollution d'eau.

Les analyses de sensibilité effectuées dans cette section ont pour objectif de tester la robustesse de ces résultats pour les cas de référence. La méthode de caractérisation est d'abord testée, puis un certains nombre de données clefs portant entre autres sur la construction des bâtiments, sur l'usure des structures, et sur le transport, seront remises en question.

### **4.2.1. Analyse de sensibilité sur la méthode de caractérisation**

Il existe à l'heure actuelle de nombreuses méthodes de caractérisation en ACV. Celles-ci diffèrent par de nombreux aspects, comme par exemple :

- les mécanismes environnementaux utilisés pour agréger des flux en impacts ;
- la représentativité géographique ;
- le positionnement sur la chaîne de cause à effet : méthode orientée impacts et/ou dommages ;
- la définition des domaines de protection.

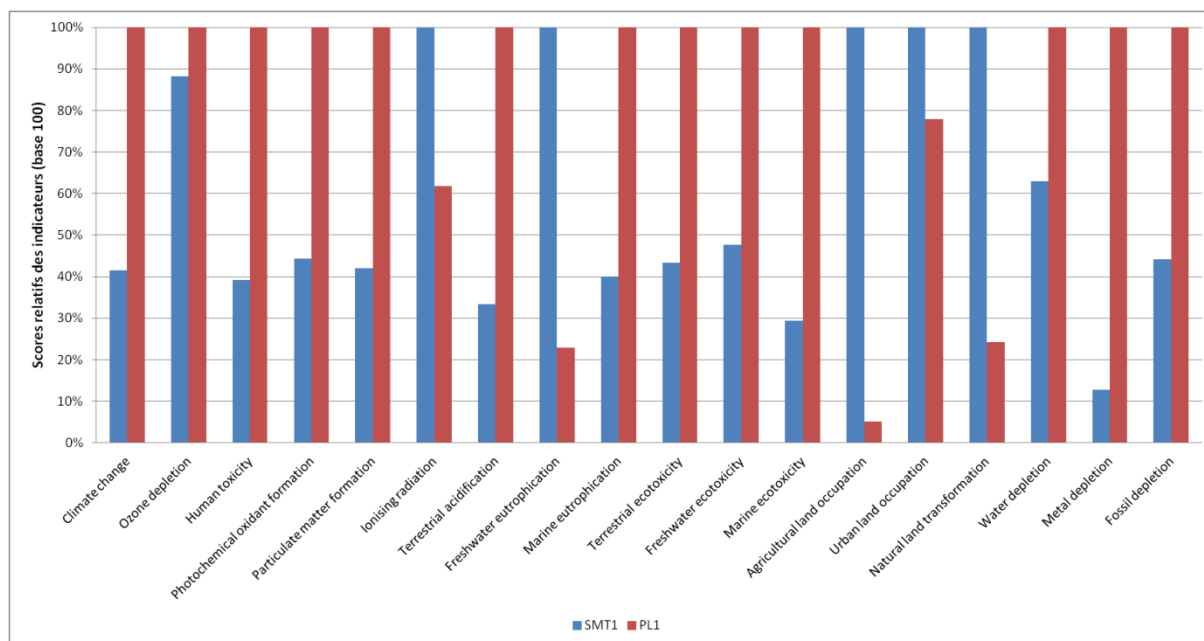
Dans le cadre de ce projet, il a été choisi de se baser principalement sur les recommandations de la norme NFP 01-010 relative aux matériaux de construction (via la méthode MatFrance v2.06) car les systèmes étudiés font partie du secteur du bâtiment. Il semble néanmoins important d'étudier les principales tendances des résultats en utilisant une autre méthode de caractérisation et de mettre en exergue d'éventuelles problématiques environnementales qui n'aurait pas été identifiées à l'aide de la méthode MatFrance v2.06.

Ainsi, la méthode ReCiPe (H) a été utilisée pour les deux scénarios dans le but de quantifier :

- les résultats des indicateurs d'impacts (18 indicateurs) ;
- les résultats de normalisation afin de prioriser les problématiques environnementales décrites par cette méthode ;
- les résultats des indicateurs de dommages (3 indicateurs) ;
- les résultats des analyses d'incertitude par la méthode de Monte Carlo.

#### 4.2.1.1. Scénario 1

##### 4.2.1.1.1. Résultats d'impacts de la méthode de caractérisation ReCiPe (H)



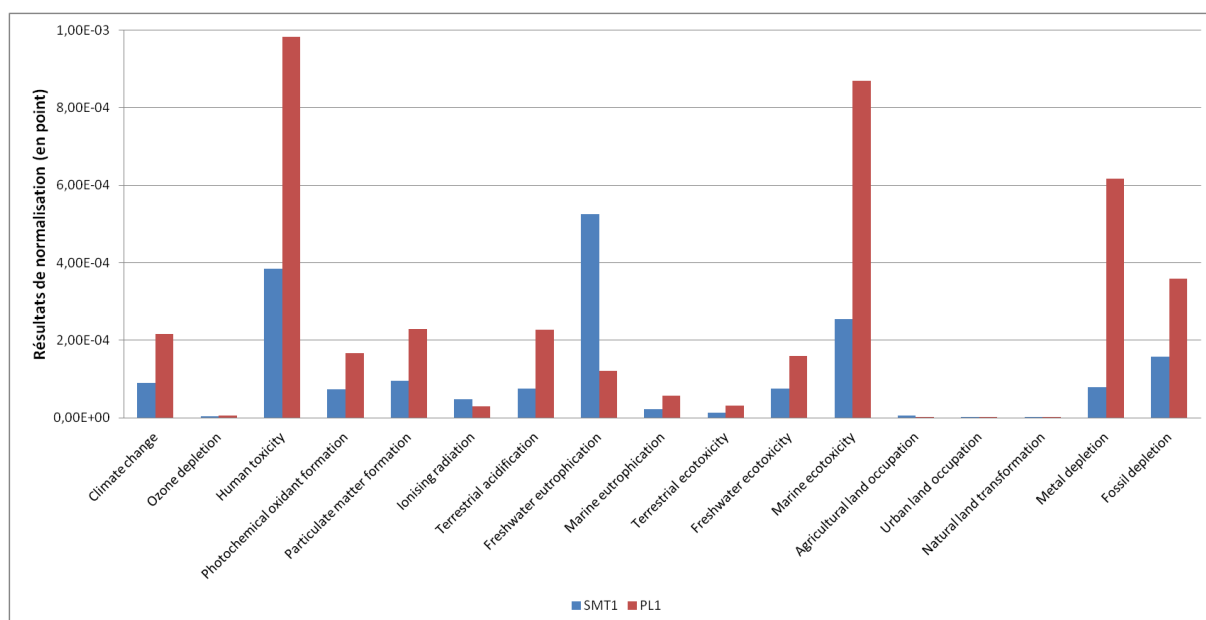
Graphique 4.2-a. Résultats de l'analyse comparative d'impacts du scénario 1 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H)

Le graphique 4.2-a présente les résultats d'impacts comparatifs du scénario 1 calculés avec la méthode ReCiPe (H). On observe que les résultats d'impacts de SMT1 sont inférieurs à ceux PL1 pour 13 des 18 indicateurs. Pour 10 d'entre eux, la réduction d'impact constatée est de l'ordre de 60%. Dans le cas de 5 indicateurs d'impacts sur 18, les résultats de PL1 sont inférieurs à ceux de SMT1. Pour ces indicateurs, une analyse de l'origine des impacts de SMT1 a été réalisée.

- *Ionising radiation* : 69% de l'impact provient de la consommation d'électricité française (à 75% d'origine nucléaire) pour la production des toiles, de la réparation et du nettoyage des composants des structures.
- *Freshwater eutrophication* : 94% de l'impact provient de l'étape d'extraction de stibine nécessaire à la production d'antimoine, composant utilisé dans les toiles.
- *Agricultural land occupation* : 74% de l'impact provient de la consommation de bois pour le conditionnement des toiles.
- *Urban land occupation* : 57% de l'impact provient de l'étape d'extraction de stibine.
- *Land transformation* : 44% de l'impact provient de la transformation d'espaces liée la culture de coco nécessaire à la fabrication d'alcools éthoxylés entrant dans la composition des détergents utilisés pour le nettoyage des toiles.

Il est néanmoins très difficile d'analyser ces trois derniers indicateurs car les flux d'occupation et de transformation d'espaces des solutions étudiés pendant la phase de stockage n'ont pas été inventoriés. De plus, l'ensemble des calculs ont été réalisés en excluant les infrastructures, qui sont généralement consommatrices d'espace.

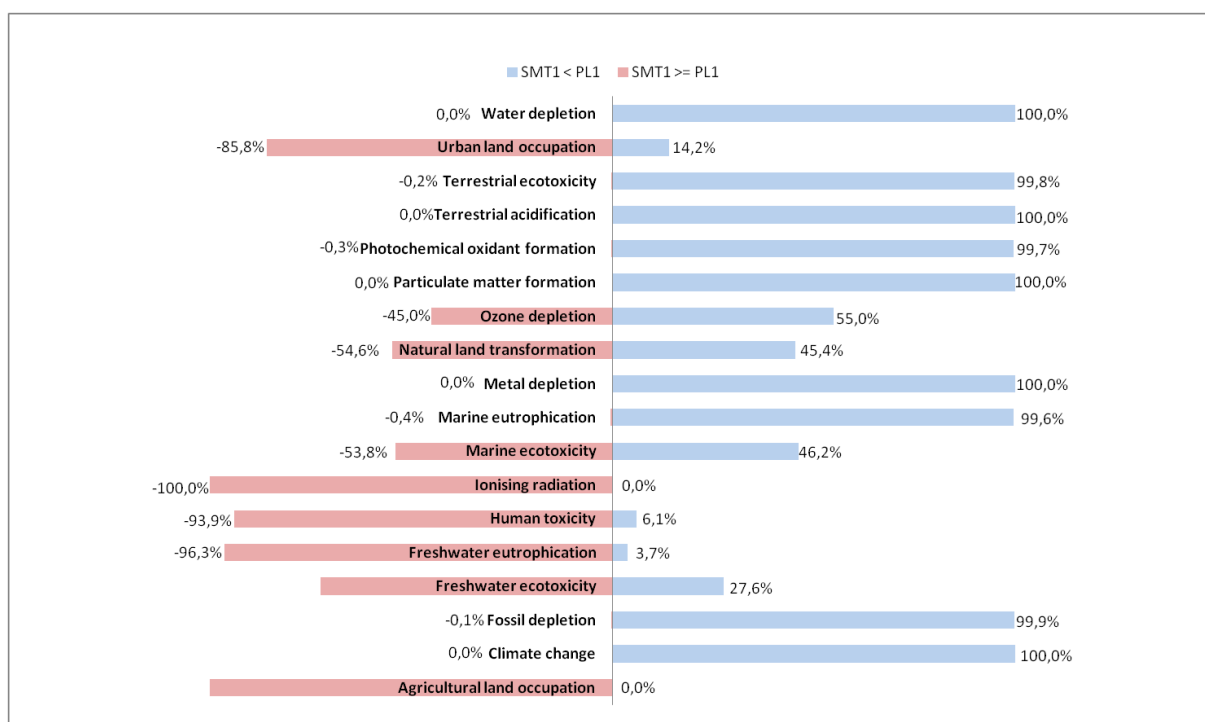
#### 4.2.1.1.2. Résultats de normalisation de la méthode de caractérisation ReCiPe (H)



**Graphique 4.2-b. Résultats de l'analyse comparative d'impacts normalisés du scénario 1 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H)**

Le graphique 4.2-b présente les résultats comparatifs normalisés du scénario 1 calculés avec la méthode ReCiPe (H). Cette analyse permet de mettre en évidence que la destruction d'ozone stratosphérique, l'occupation d'espace agricole et urbaine ainsi que la transformation d'espace ne sont pas des problématiques environnementales particulières des systèmes étudiés. Par contre, le cas de l'indicateur *freshwater eutrophication* (cinquième indicateur pour lequel le résultat de PL1 est inférieur à SMT1), les résultats de normalisation ressortent de manière significative.

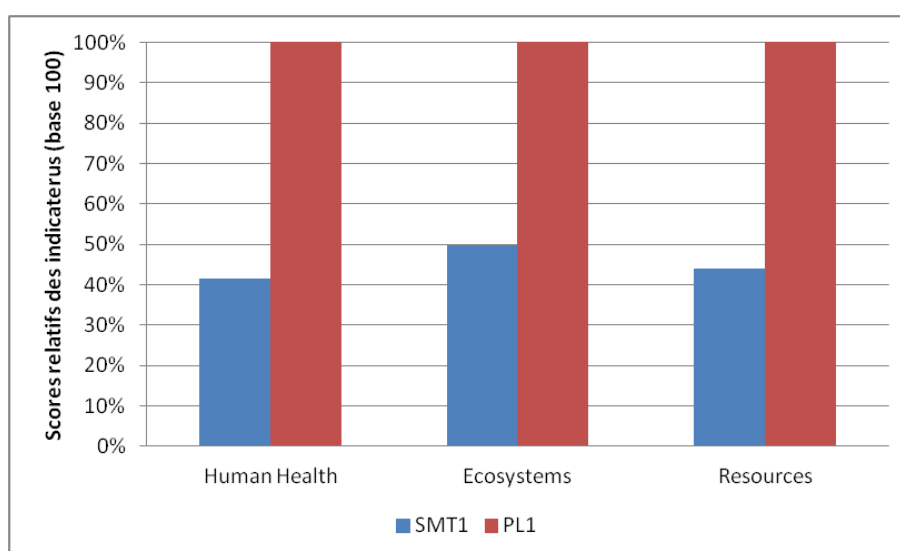
#### 4.2.1.1.3. Résultats du calcul d'incertitude de la méthode ReCiPe (H)



Graphique 4.2-c. Résultats de l'analyse comparative du scénario 1 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H) avec prise en compte de l'incertitude des données, effectuée avec la méthode de Monte Carlo. Nombre de tirages : 1000.

Le graphique 4.2-c présente les résultats de l'analyse d'incertitude du scénario 1 calculés avec la méthode ReCiPe (H). Cette analyse montre que l'incertitude sur les données est trop importante pour pouvoir tirer des conclusions robustes sur 6 indicateurs (*urban land occupation*, *ozone depletion*, *natural land transformation*, *marine ecotoxicity*, *human toxicity* et *freshwater ecotoxicity*).

#### 4.2.1.1.4. Résultats de dommages de la méthode de caractérisation ReCiPe (H)

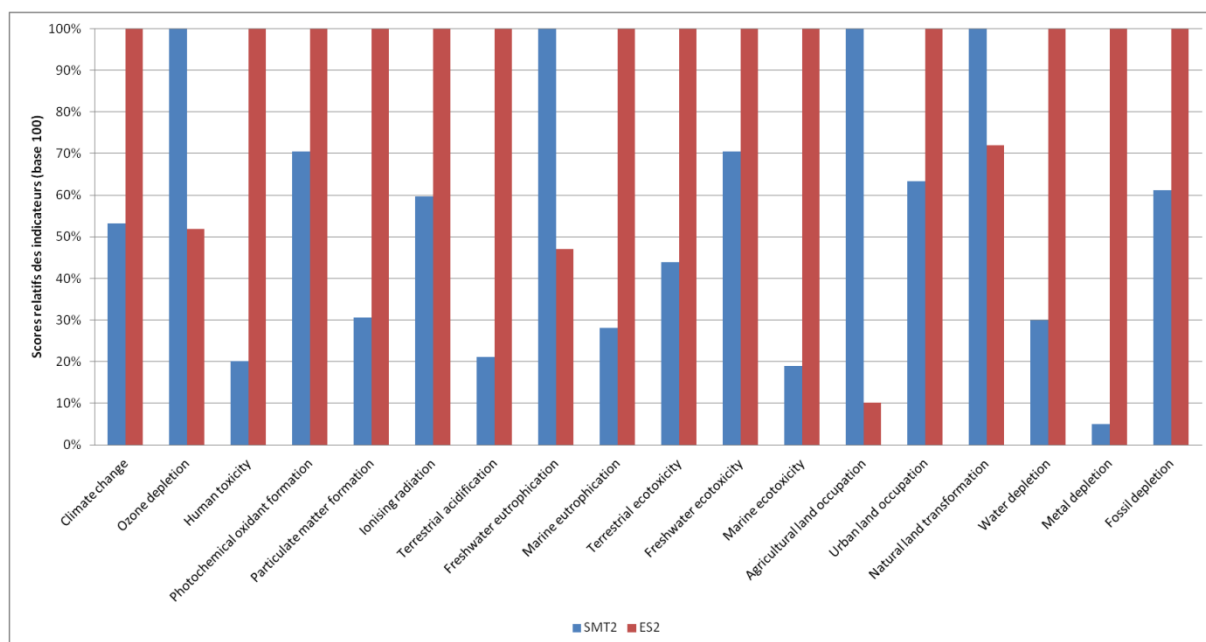


Graphique 4.2-d. Résultats comparatifs de dommages évalués par la méthode ReCiPe (H) pour le scénario 1

Le graphique 4.2-d présente les résultats de comparaison des indicateurs de dommages du scénario 1 calculés avec la méthode ReCiPe (H). Cette analyse montre que SMT1 présente des résultats de dommages inférieurs de 50 à 58% par rapport à ceux de PL1 pour les trois domaines de protection étudiés par la méthode ReCiPe (H) (santé humaine, qualité des écosystèmes et ressources naturelles).

#### 4.2.1.2. Scénario 2

##### 4.2.1.2.1. Résultats d'impacts de la méthode de caractérisation ReCiPe (H)



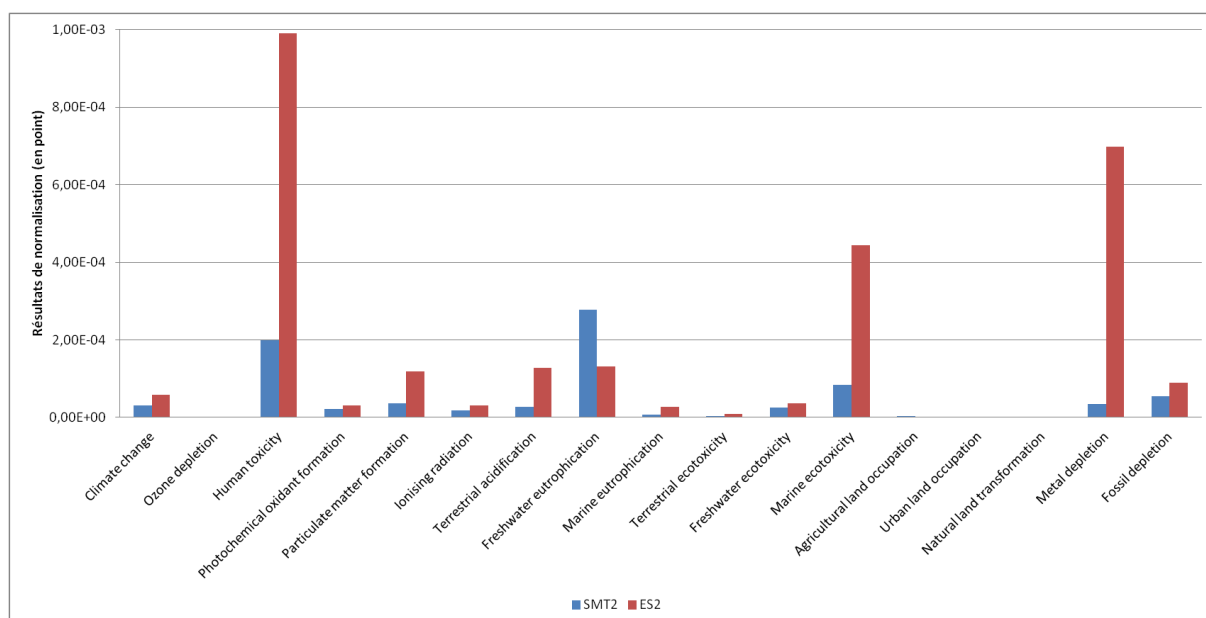
Graphique 4.2-e. Résultats de l'analyse comparative d'impacts du scénario 2 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H)

Le graphique 4.2-g présente les résultats d'impacts comparatifs du scénario 2 calculés avec la méthode ReCiPe. On observe que les résultats d'impacts de SMT2 sont inférieurs à ceux d'ES2 pour 14 indicateurs sur 18. Pour 10 d'entre eux, la réduction d'impact constatée est supérieure à 40%. Dans le cas de 4 indicateurs d'impacts sur 18, les résultats d'ES2 sont inférieurs à ceux de SMT1. Pour ces indicateurs, une analyse de l'origine des impacts de SMT2 a été réalisée.

- *Ozone depletion* : 60% de l'impact provient de la consommation de fluore pour la production des toiles.
- *Freshwater eutrophication* : 93% de l'impact provient de l'étape d'extraction de stibine nécessaire à la production d'antimoine, composant utilisé dans les toiles.
- *Agricultural land occupation* : 78% de l'impact provient de la consommation de bois pour le conditionnement des toiles
- *Land transformation* : 42% de l'impact provient de la transformation d'espace lié la culture de coco nécessaire à la fabrication d'alcools éthoxylés entrant dans la composition des détergents utilisés pour le nettoyage des toiles.

Il est néanmoins très difficile d'analyser ces deux derniers indicateurs car les flux d'occupation et de transformation d'espace des solutions étudiés pendant la phase de stockage n'ont pas été inventoriés. De plus, l'ensemble des calculs ont été réalisés en excluant les infrastructures, qui sont généralement consommatrices d'espace.

#### 4.2.1.2.2. Résultats de normalisation de la méthode de caractérisation ReCiPe (H)

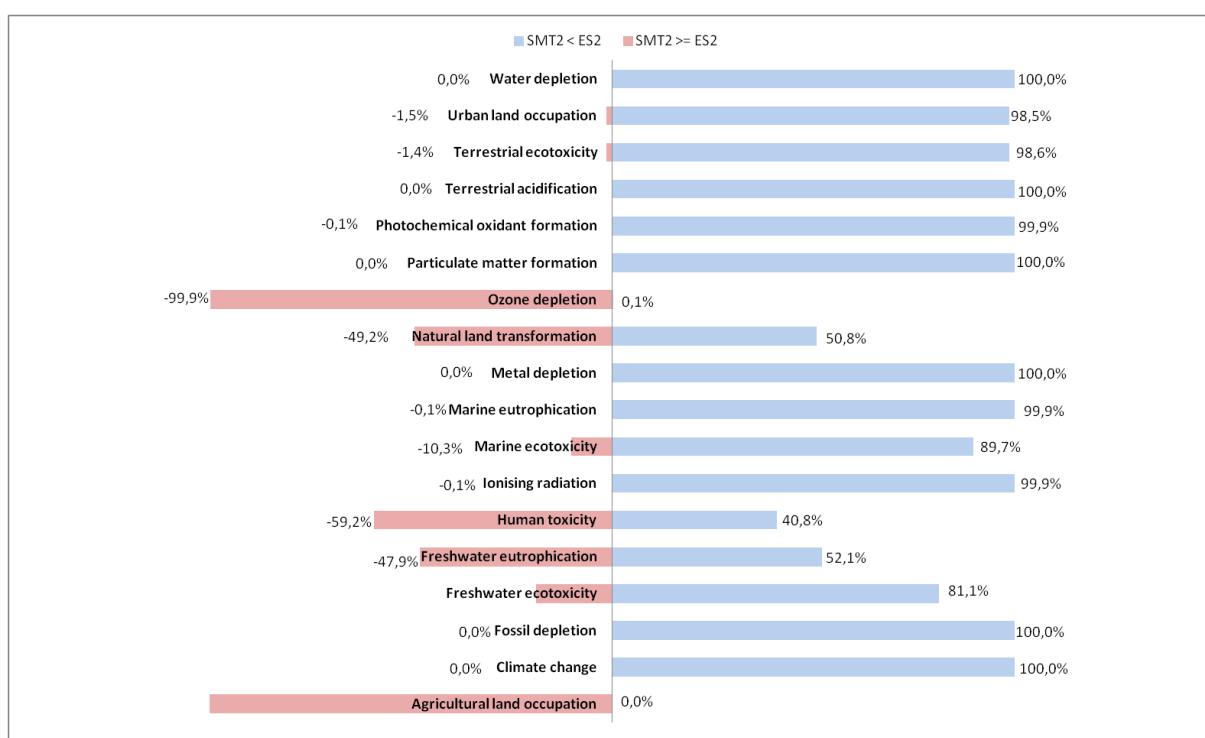


**Graphique 4.2-f. Résultats de l'analyse comparative d'impacts normalisés du scénario 2 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H)**

Le graphique 4.2-j présente les résultats comparatifs normalisés du scénario 2 calculés avec la méthode ReCiPe (H). Comme pour le premier scénario, cette analyse permet de mettre en évidence que la destruction d'ozone stratosphérique, l'occupation d'espace agricole et urbaine ainsi que la transformation d'espace ne sont pas des problématiques environnementales particulières des systèmes étudiés. Par contre, le cas de l'indicateur *freshwater eutrophication* (quatrième indicateur pour lequel le résultat d'ES2 est inférieur à SMT1), les résultats de normalisation ressortent de manière significative.



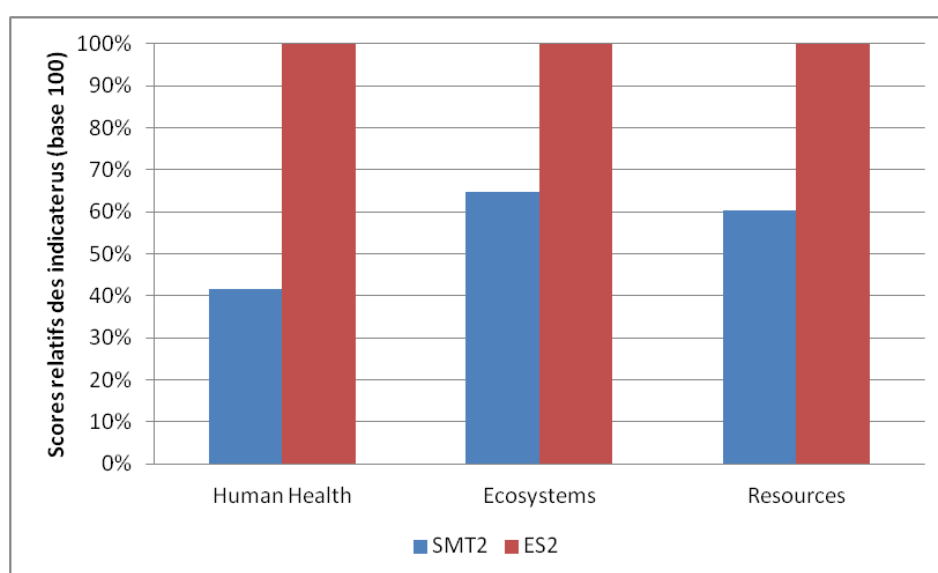
#### 4.2.1.2.3. Résultats du calcul d'incertitude de la méthode ReCiPe (H)



Graphique 4.2-g. Résultats de l'analyse comparative du scénario 2 sur les indicateurs de la méthode ReCiPe (H) avec prise en compte de l'incertitude des données, effectuée avec la méthode de Monte Carlo. Nombre de tirages : 1000.

Le graphique 4.2-g présente les résultats de l'analyse d'incertitude du scénario 2 calculés avec la méthode ReCiPe (H). Cette analyse montre que l'incertitude sur les données est trop importante pour pouvoir tirer des conclusions robustes sur 6 indicateurs (*ozone depletion*, *natural land transformation*, *marine ecotoxicity*, *human toxicity*, *freshwater eutrophication* et *freshwater ecotoxicity*).

#### 4.2.1.2.4. Résultats de dommages de la méthode de caractérisation ReCiPe (H)



Graphique 4.2-h. Résultats comparatifs de dommages évalués par la méthode ReCiPe (H) pour le scénario 1

Le graphique 4.2-h présente les résultats de comparaison des indicateurs de dommages du scénario 2 da calculés avec la méthode ReCiPe (H). Cette analyse montre que SMT2 présente des résultats de dommages inférieurs de 35 à 58% par rapport à ceux d'ES2 pour les trois domaines de protection étudiés par la méthode ReCiPe (H) (santé humaine, qualité des écosystèmes et ressources naturelles).

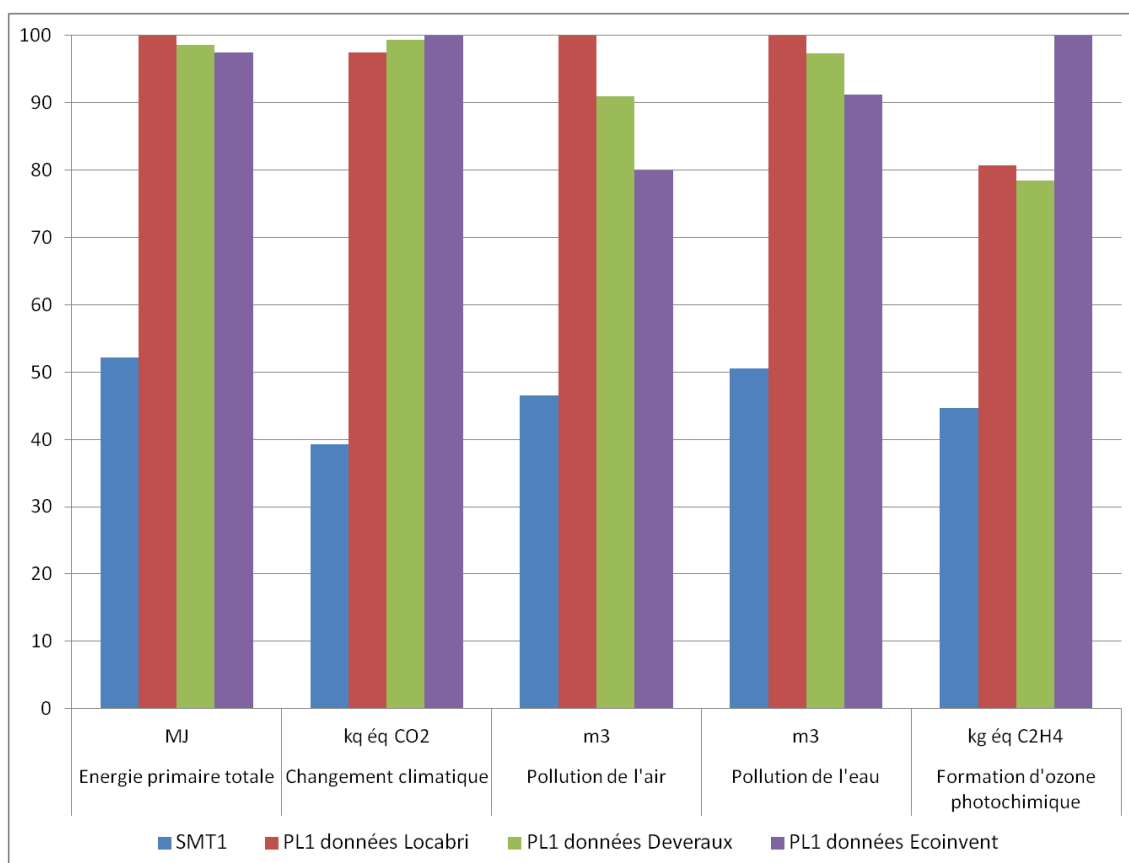
## 4.2.2. Analyse de sensibilité sur les données relatives aux bâtiments

### 4.2.2.1. Quantités et types de matériaux de construction

Les quantités de matière mobilisées pour la construction des bâtiments de PL1 et d'ES2 sont toutes deux issues d'un unique jeu de données. Ce dernier correspond à un bâtiment de 4000 m<sup>2</sup> en cours de construction par Locabri au moment de l'étude. Afin d'évaluer la robustesse des résultats, deux autres jeux de données sont testés (ils sont disponibles en annexe 7.4) :

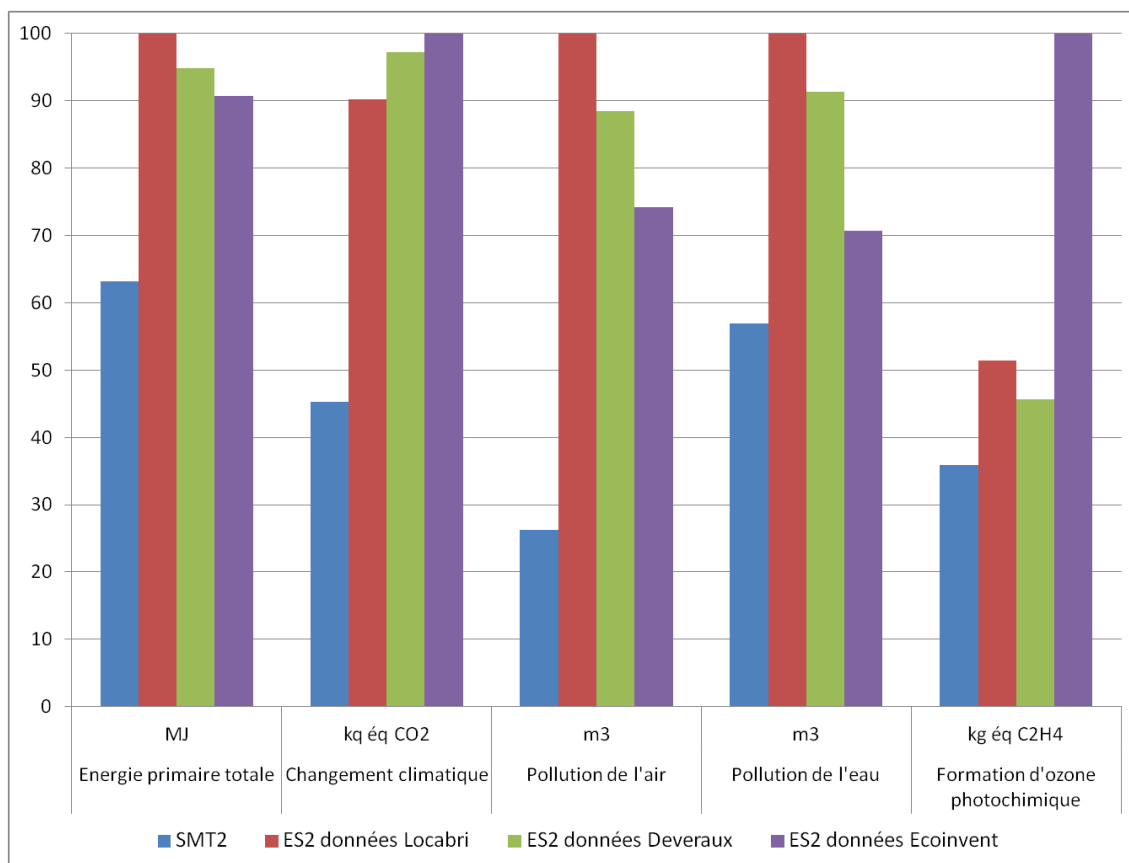
- un jeu issu d'une étude technique pour la construction d'un bâtiment industriel de stockage « type » (habillage métallique simple peau, non isolé, 450 mètres carrés) ;
- la donnée d'ICV « Hall, Steel Construction » de la base Ecoinvent 2.2, basée sur l'étude théorique d'un bâtiment de 50 mètres de longueur, 30 de largeur, 7 de haut, entouré d'une zone non couverte de 1120 m<sup>2</sup>

Les deux graphiques suivants présentent les résultats de l'analyse comparative sur les cinq indicateurs choisis.



Graphique 4.2-i. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données de construction de l'entrepôt de l'option PL1.

Le sens de la comparaison reste le même pour les deux scénarios. L'écart se resserre pour tous les indicateurs sauf pour l'indicateur changement climatique, pour lequel l'écart s'accroît, dans des proportions toutefois faibles. Par ailleurs, l'utilisation du jeu de données d'Ecoinvent 2.2 entraîne une augmentation forte de l'indicateur formation d'ozone photochimique. Cette différence est due à la présence, dans ce jeu de données, de polystyrène pour l'isolation du bâtiment.



**Graphique 4.2-j. Analyse comparative des options SMT2 et ES2, avec analyse de sensibilité des données de construction de l'entrepôt de l'option ES2.**

Les différences entre les trois jeux de données s'accroissent pour le scénario 2, car dans le scénario 1 les différences sont atténuées par le transport des palettes, étape majoritairement contributrice. L'écart le plus faible est atteint pour l'indicateur formation d'ozone photochimique du scénario 2 : SMT2 n'est que 21% moindre qu'ES2.

Globalement, cette analyse de sensibilité ne permet pas d'infirmer les résultats du cas de référence sur la base des données choisies.

#### **4.2.2.2. Energie consommée pour la construction et la démolition**

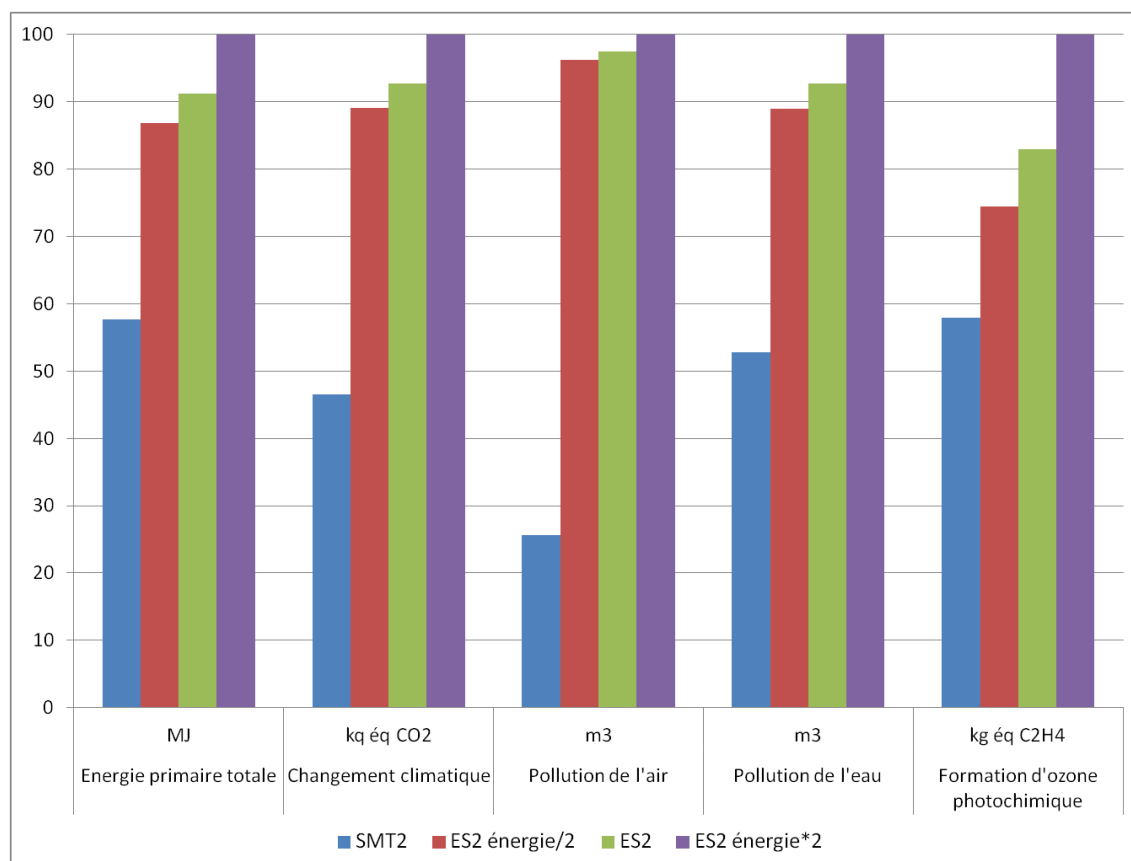
Les données relatives aux consommations énergétiques lors de la construction et de la démolition du bâtiment de PL1 et ES2 sont issues de la base Ecoinvent 2.2. Ces données ont un fort degré d'incertitude (Kellenberger et al, 2007). Aucune autre donnée n'a été collectée. Pour tester leur influence sur les résultats, une analyse de sensibilité est effectuée.

Les paramètres concernés sont :

- quantité de diesel par m<sup>2</sup> de bâtiment pour la construction et la démolition (5,57 kg)

- quantité d'électricité par m<sup>2</sup> de bâtiment pour la construction et la démolition (10,5 kWh)

Une variation de ces paramètres de 50 à 200% est effectuée (voir graphique 4.2-k). Il a été choisi de tester uniquement le scénario 2, puisque ce dernier est davantage sensible aux paramètres liés au bâtiment que le scénario 1, pour lequel les impacts sont nivelés par la consommation de carburant pour le transport des palettes.



**Graphique 4.2-k. Analyse comparative des options SMT2 et ES2, avec analyse de sensibilité des données de consommations énergétiques lors de la phase de construction et de démolition de l'option ES2.** Dans « ES2 énergie/2 », les consommations énergétiques ont été divisées par 2 par rapport au cas de case « ES2 ». Dans « ES2 énergie\*2 », elles ont été multipliées par 2.

On constate que ces paramètres ont une influence notable sur les indicateurs, en particulier sur l'indicateur formation d'ozone photochimique, très sensible aux émissions de combustion du diesel dans les machines outils. Lorsque ces paramètres sont divisés par deux, l'écart tombe de 30 à 23%. Néanmoins, une erreur d'un facteur deux sur ces paramètres à la fois ne semble donc pas de nature à changer les conclusions précédemment tirées.

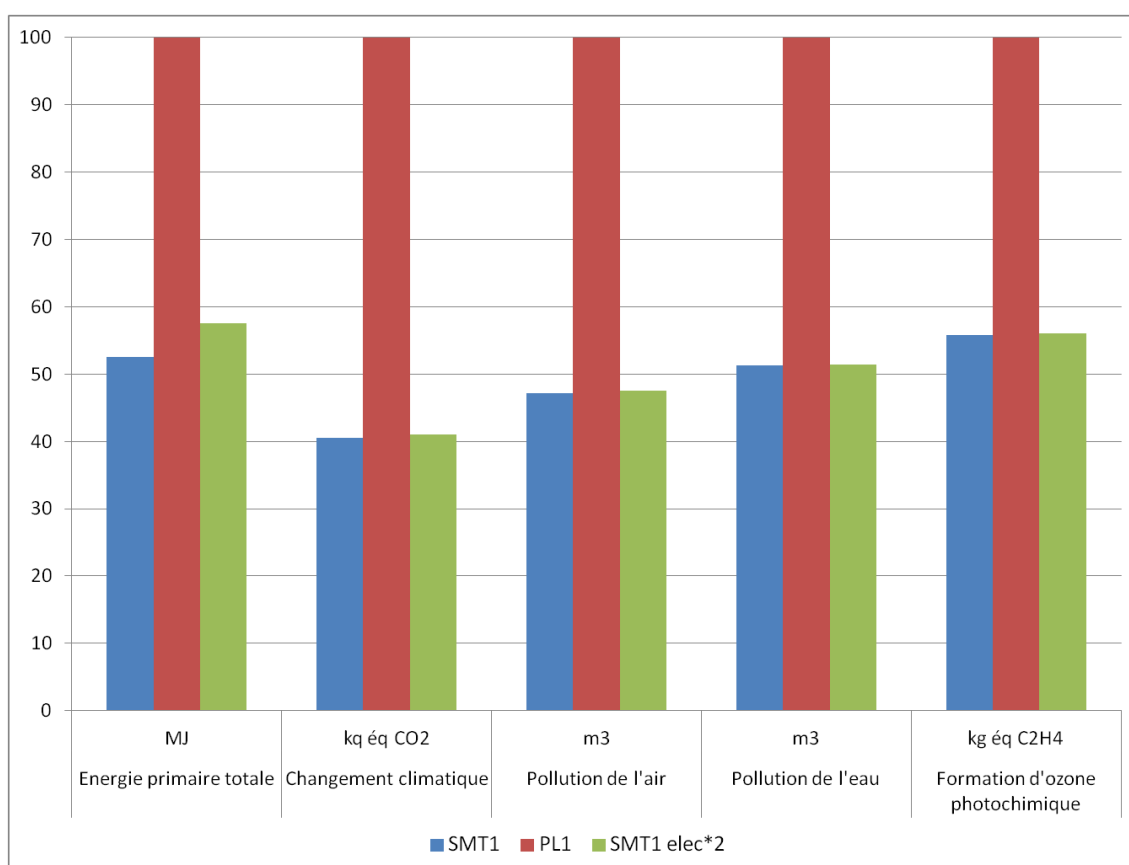
## 4.2.3. Analyse de sensibilité sur les données relatives aux structures métal-textiles

### 4.2.3.1. Consommations électriques dues à la réparation et au nettoyage

Dans SMT1 et SMT2, de nombreuses incertitudes entourent les paramètres donnant les consommations électriques pour la réparation des pièces (évaluée à 0,5 kWh/kg) et pour le nettoyage des toiles (évaluée à 0,3 kWh/m<sup>2</sup>).

Ces deux quantités ont été obtenues en consultant la consommation électrique de l'atelier « fers » de Locabri, puis en allouant une partie de cette consommation à l'activité de réparation, évaluée à 20% de l'activité. Ensuite, le flux de pièces réparées par l'atelier pendant un an a été évalué à partir du modèle d'usure (voir section 3.1.1.3.2.4). Cette donnée a ensuite été extrapolée à la réparation des toiles et à leur nettoyage.

Afin de tester l'influence de ces deux paramètres, on effectue une analyse dans laquelle leur valeur est doublée (voir graphique 4.2-I).



Graphique 4.2-I. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données de consommation électrique lors de la phase de réparation et de nettoyage de l'option SMT1. Dans « SMT1 elec\*2 », les consommations électriques ont été multipliées par 2 par rapport au cas de base.

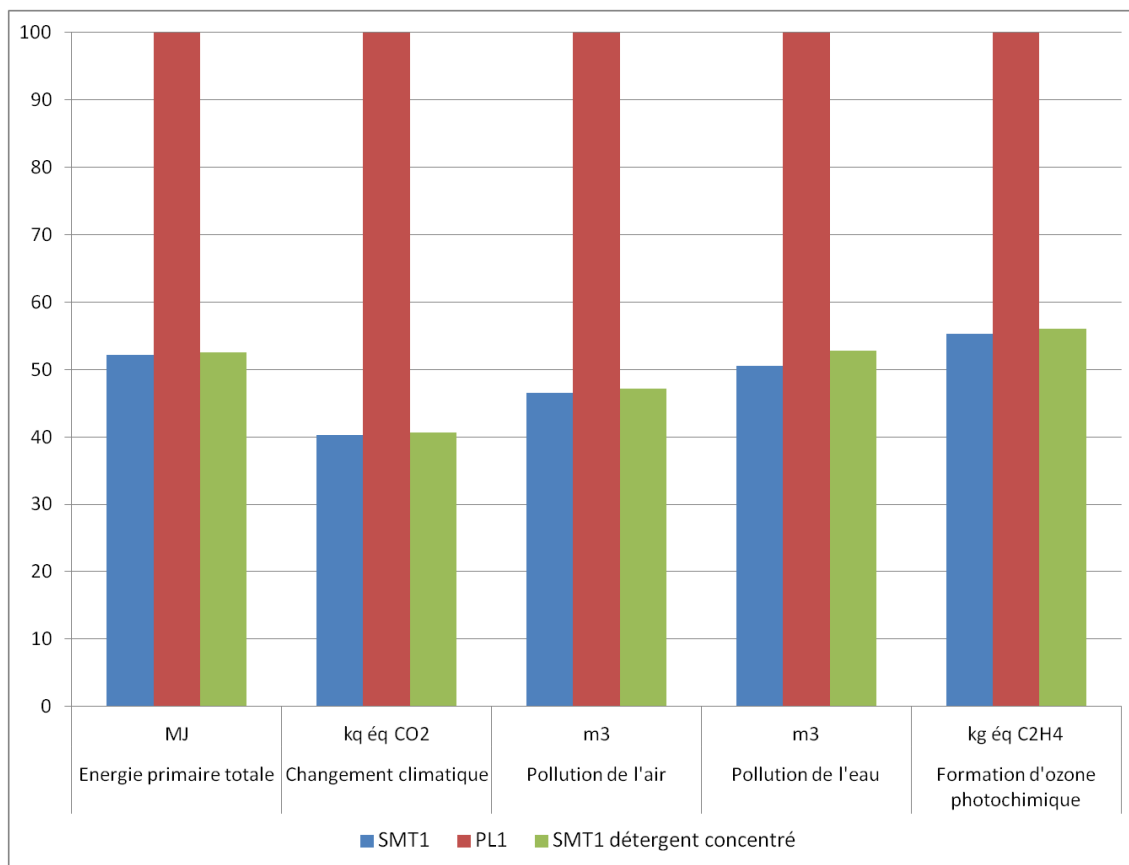
On constate que le doublement de la valeur de ces deux paramètres n'a guère d'influence sur les résultats. L'incertitude forte qui entoure ces paramètres n'influence donc pas les conclusions de l'étude.

#### 4.2.3.2. Composition des détergents utilisés

La composition des détergents utilisés pour le nettoyage des toiles n'est pas connue avec précision. Pour les modéliser, certains composants typiques ont été choisis, de manière à obtenir un détergent alcalin concentré à environ 25% de matière active (voir section 3.2.1.1.7). Pour tester l'influence de ces choix, d'autres composants sont choisis, et la concentration massique en matière active est poussée à près de 90% (voir tableau 4.2-a et graphique 4.2-m).

**Tableau 4.2-a. Données d'ICV choisis pour tester l'influence du détergent dans les résultats**

Flux	Données Ecoinvent 2.2	Valeur	Commentaires
1 kg de détergent	Sodium perborate, tétrahydrate, powder, at plant/RER	0,3 kg	Agent blanchissant
	Sodium tripolyphosphate, at plant/RER	0,3 kg	Détergent
	Soap, at plant/RER	0,3 kg	Tensio-actif
	Tap water, at user/RER	0,1 kg	Le détergent est une solution aqueuse
	Transport, lorry 16-32, EURO4/RER	30 kgkm	On suppose que le transporteur utilise un poids lourd de type routier, et que le camion est à la norme EURO 4. On suppose que 30 km sont parcourus.



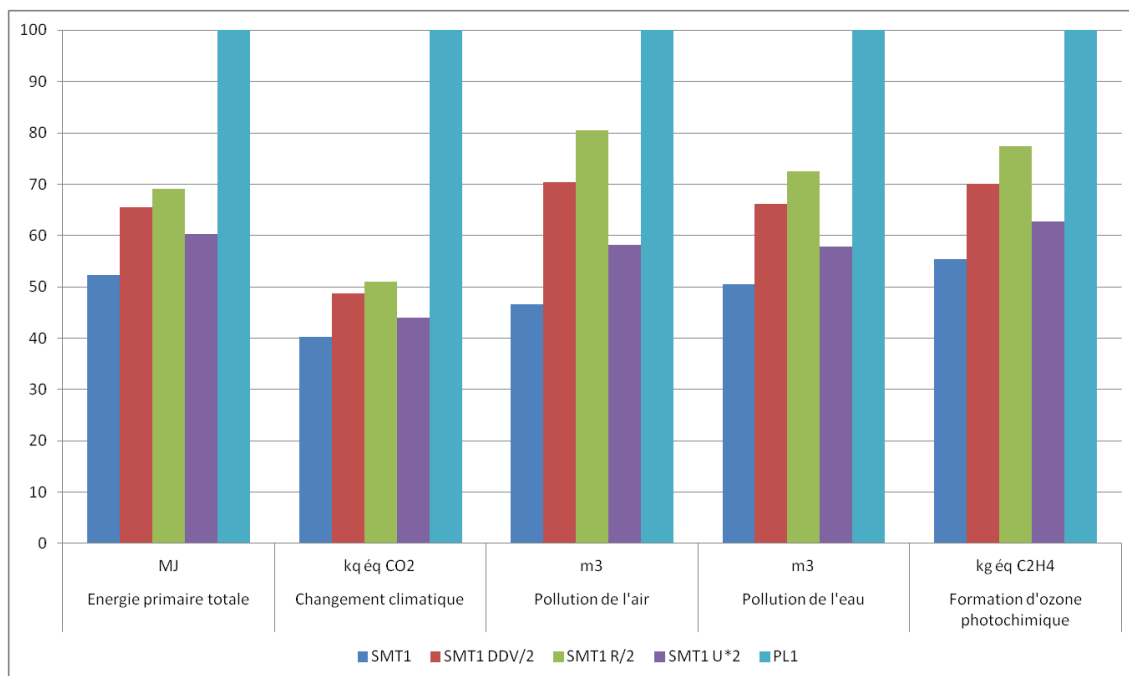
**Graphique 4.2-m. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données concernant les produits utilisés pour le nettoyage des toiles. Dans « SMT1 détergent concentré », le détergent modélisé dans SMT1 a été remplacé par un détergent théorique concentré à 90%.**

On constate que la nature du produit ainsi que sa concentration ne semble pas avoir d'effet important sur les résultats globaux du système étudié. L'incertitude forte qui entoure ce paramètre n'influence donc pas les conclusions de l'étude.

#### 4.2.3.3. Paramètres du modèle d'usure

Pour tenir compte des incertitudes de modélisation et de données, les paramètres du modèle d'usure ont été choisis afin d'obtenir des taux de rebut plus importants que les taux de rebut estimés à partir des données (voir section 3.1.1.3). L'une des raisons principales est que les taux de rebut estimés ne reflètent probablement pas le taux de pièces véritablement mis hors d'usage en retour de prestation, en raison des autres voies de sortie que ces dernières peuvent emprunter (ventes d'occasion, dons, stockage sur site de Locabri).

Il a été choisi, outre l'analyse d'incertitude effectuée, de réaliser des analyses de sensibilité sur ces paramètres. Trois cas sont donc comparés au cas de référence, un pour chaque famille de paramètres (les taux de casse accidentelle U, les taux de réparation R, les durées de vie DDV). Chaque cas présente une évaluation pessimiste d'un des paramètres : DDV est divisé par deux pour toutes les pièces, R est divisé par deux, U est multiplié par deux (1 étant la valeur maximale) (voir graphique 4.2-n).



**Graphique 4.2-n. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données du modèle d'usure de l'option SMT1.** Dans « SMT1 DDV/2 », la durée de vie de toutes les pièces est divisée par deux. Dans « SMT1 R/2 », les taux de réparation sont divisés par deux. Dans « SMT1 U\*2 », les taux d'usure accidentelle sont multipliés par deux.

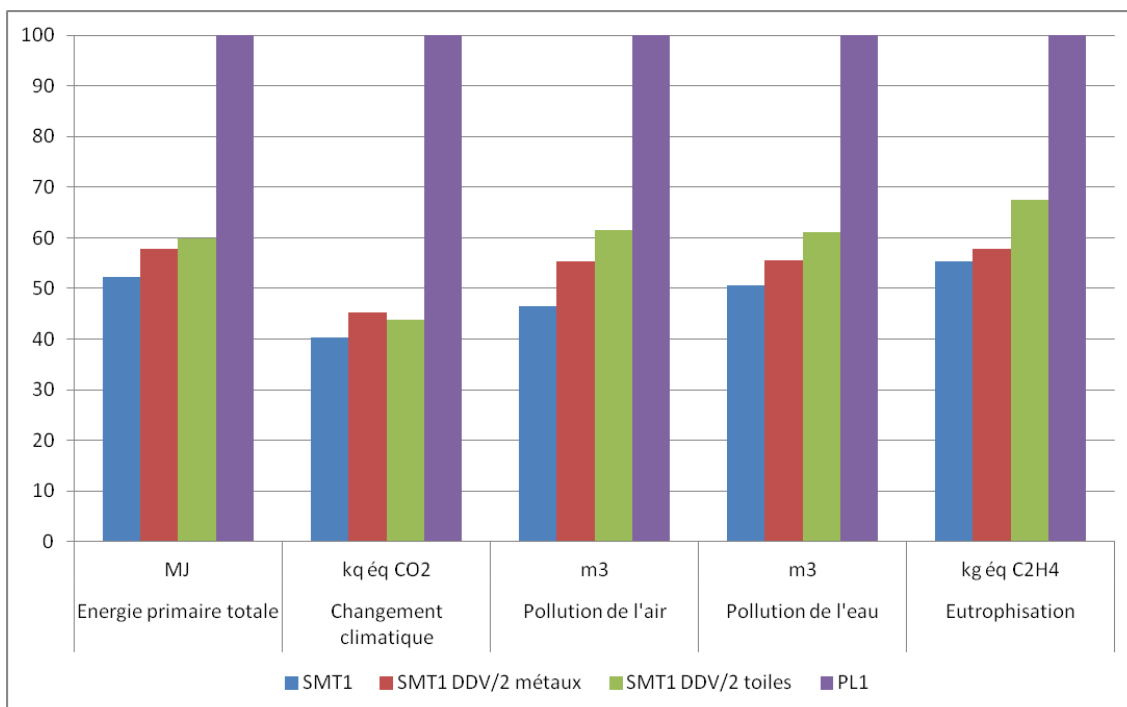
Le résultat de cette analyse montre que :

- des évaluations plus pessimistes de chaque groupe de paramètres ne remet pas en cause le sens des comparaisons ;
- le paramètre ayant le plus d'influence est le taux de réparation des pièces endommagées, alors que le taux d'usure accidentelle a peu d'influence.

Ce dernier point peut être expliqué de la manière suivante. Rappelons que le taux de mise au rebut dépend du produit  $U \cdot (1-R)$ . Ce phénomène est dû au fait que, dans le cas de référence, les toiles sont quantitativement, de toutes les pièces, les plus rebutées et réparées. Pour les toiles,  $U=0,52$  et  $R=0,85$  (donc  $1-R=0,15$ ). Par conséquent, la dérivée du taux de rebut par rapport à  $U$  est 0,15 ; celle par rapport à  $R$  vaut 0,52. Ainsi, autour du cas de référence, le système est très sensible à une variation du taux de réparation des toiles.

Les résultats pourraient éventuellement s'inverser si des erreurs d'un facteur deux ou plus étaient commises pour au moins deux groupes de paramètres. Cela semble peu probable, car conduirait à des taux de rebut extrêmement élevés.





**Graphique 4.2-o. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données de durée de vie des pièces de SMT1.** Dans « SMT1 DDV/2 métaux », la durée de vie de toutes les pièces métalliques est divisée par deux (de 100 à 50 ans). Dans « SMT1 DDV/2 toiles », la durée de vie de toutes les pièces de toiles est divisée par deux (de 7 à 3,5 ans).

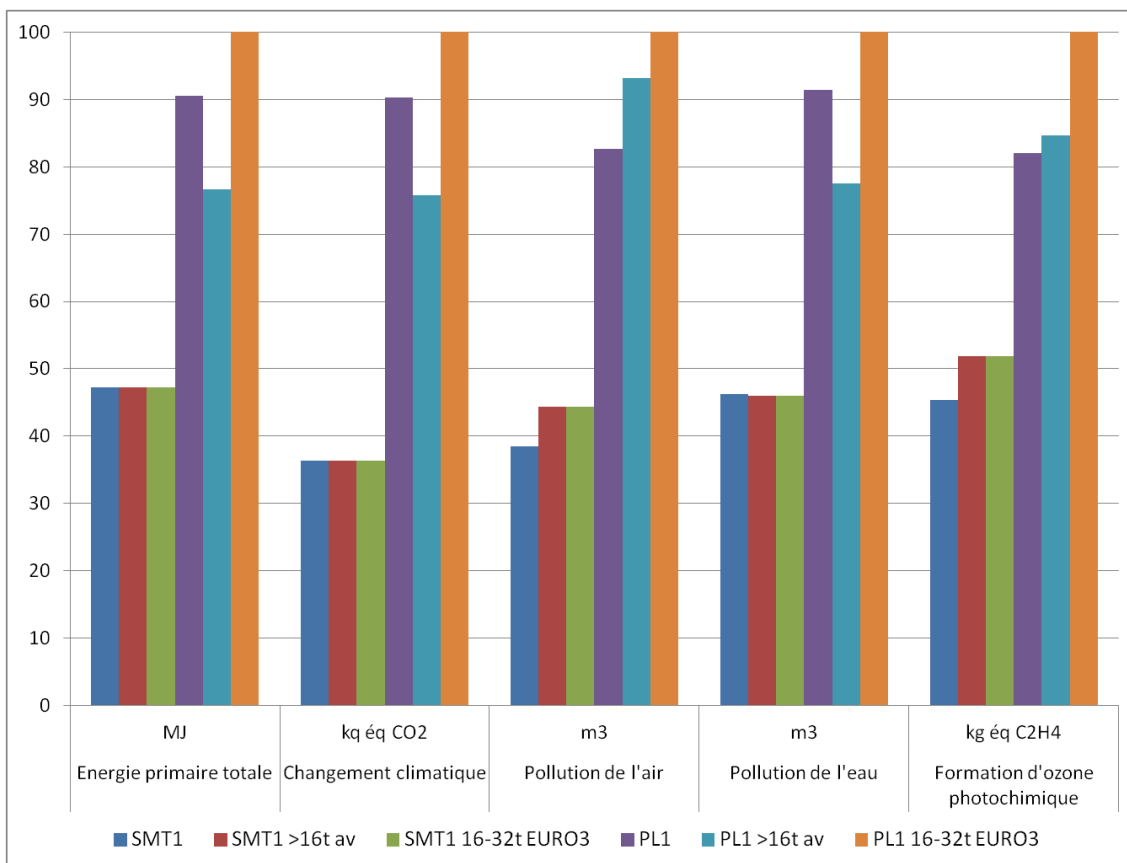
Le graphique 4.2-o montre qu'une baisse de la durée de vie des toiles a globalement une influence plus forte qu'une baisse de celle des métaux.

#### 4.2.4. Analyse de sensibilité sur les données relatives au transport

Dans cette étude, la donnée générique utilisée pour le transport est la donnée Ecoinvent 2.2 « Transport, lorry 16-32, EURO4/RER ». Ce choix suppose que les camions mobilisés sont à la norme d'émissions EURO4. Pour tester ce choix de modélisation, on effectue une analyse comparative du scénario 1 avec, à la place de cette donnée :

- soit la donnée Ecoinvent 2.2 « Transport, lorry >16t, fleet average/RER », correspondant à des camions de PTAC supérieurs à 16 tonnes,
- soit la donnée Ecoinvent 2.2 « Transport, lorry 16-32, EURO3/RER », correspondant à des camions de PTAC compris entre 16 et 32 tonnes, dont la norme d'émissions est EURO3.

Ce remplacement est effectué pour les étapes de transport les plus significatives : transport des palettes, transport des matériaux de construction, transport des déchets. Il n'est pas effectué pour les tournées de pose/dépose qui ont été modélisées directement à partir des caractéristiques de Locabri. On sait d'ailleurs que la modélisation de ce transport par une donnée générique diminuerait considérablement les impacts de SMT1 et SMT2 (voir section 4.1.1.1.1).



**Graphique 4.2-p. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité des données de transport.** Dans « SMT1 » et « PL1 », la donnée Ecoinvent 2.2 Transport, lorry 16-32, EURO4/RER est utilisée. Dans « SMT1 >16t » et « PL1 >16t », c'est Transport, lorry >16t, fleet average/RER qui est utilisée. Dans « SMT1 16-32t EURO3 » et « PL1 16-32t EURO3 », c'est Transport, lorry 16-32, EURO3/RER est utilisée.

Le graphique 4.2-p montre les résultats de l'analyse de sensibilité. On constate que ces changements n'ont presque aucun effet sur SMT1, puisque la quasi-totalité du transport est le transport effectué de Locabri qui a été modélisé de manière spécifique. L'effet est en revanche fort sur PL1, où l'étape de transport des palettes a un poids considérable. Le choix de la donnée de transport fait varier certains indicateurs de PL1 jusqu'à 13% de leur valeur.

L'analyse montre qu'une erreur du choix de la donnée pour modéliser le transport n'a pas de conséquences décisives sur le sens des comparaisons.

#### 4.2.5. Conclusion quant à la sensibilité des résultats à la méthode de caractérisation et à certains données clefs

Les calculs des résultats d'impacts, de normalisation, d'incertitude et de dommages réalisés sur les deux scénarios à l'aide de la méthode ReCiPe (H) ne semblent pas modifier de manière sensible les conclusions issues de la méthode de caractérisation MatFrance v2.06. En effet, à l'exception de l'indicateur eutrophisation d'eau douce dans le cas du scénario 1, la méthode ReCiPe (H) fait elle aussi ressortir le bénéfice environnemental des solutions métal-textiles par rapport aux solutions de prestation logistique ou de construction d'un entrepôt simple. L'étude des indicateurs de dommages met également en avant les bénéfices environnementaux des structures métal-textiles dans le cas des scénarios étudiés. Les indicateurs d'impacts pour lesquels les structures métal-textiles sont moins performantes que ses alternatives ne sont

pas de nature à inverser les tendances globales des grandes problématiques environnementales (santé humaine, qualité des écosystèmes et consommations de ressources naturelles).

Les analyses de sensibilité effectuées sur les données ont corroboré les résultats.

- Le choix de deux autres jeux de données sur les types et quantités de matériaux de construction utilisés pour la construction des entrepôts classiques ne changent pas le sens des comparaisons, de même qu'une erreur d'un facteur deux sur les consommations d'énergie lors des phases de construction/démolition.
- Des erreurs sur la composition du détergent utilisé pour le nettoyage ainsi que sur les consommations électriques dues à la réparation et au nettoyage ont une influence très faible sur les résultats.
- Le modèle d'usure a déjà été calibré de manière à laisser une marge d'erreur avec les données collectées. Toutefois, une erreur supplémentaire sur chaque groupe de paramètres ne changerait pas le sens des comparaisons.
- Le choix des données génériques de transport a une influence notable sur les résultats mais ne permet pas de remettre en cause le sens des comparaisons.

L'ensemble des analyses conduites ont permis de mettre à jour la robustesse des résultats des deux cas de références.

## ***4.3. Sensibilité aux paramètres définissant les scénarios***

Dans la section 4.3.1, les paramètres définissant les scénarios sont testés en analyse de sensibilité. Ceci permet de comprendre dans quelle mesure les résultats changent lorsque l'on s'écarte des cas de référence. En outre, section 4.3.2, des scénarios s'écartant plus sensiblement des cas de références sont testés.

Les objectifs sont :

- d'évaluer l'importance relative des différents paramètres définissant les scénarios ;
- de déterminer des situations où le sens de comparaison s'inverse ;
- de tester d'autres fonctionnalités permises par l'économie de fonctionnalité.

### **4.3.1. Variations autour des scénarios de références**

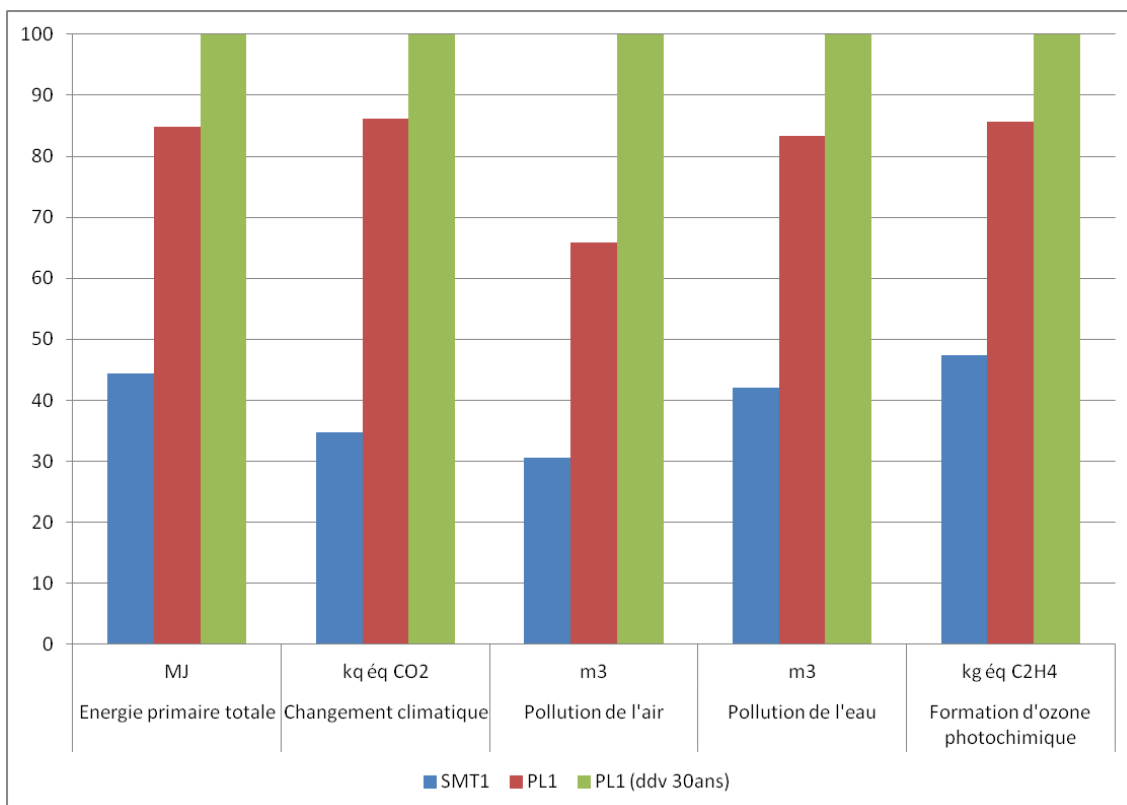
#### ***4.3.1.1. Durée de vie des bâtiments et taux de remplissage***

Dans les options PL1 et ES2, il est fait l'hypothèse que les bâtiments seront utilisés de manière optimale pendant 50 ans. Cette valeur a été choisie comme valeur de référence. Or le risque existe que ces bâtiments deviennent obsolètes bien avant 50 ans. Le Sétra a identifié les sources du risque d'obsolescence des plateformes logistiques (2009) :

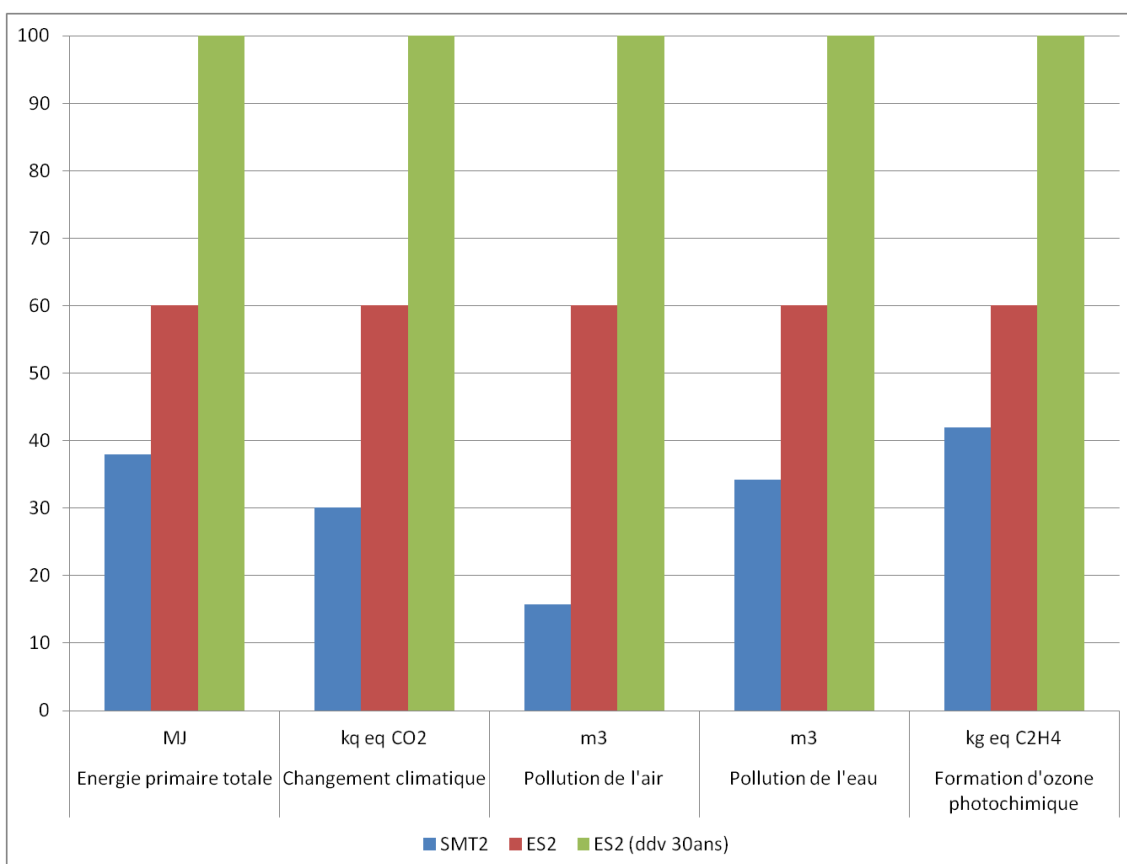
- évolutions géographiques (modification à moyen terme des bassins de population et d'emplois) ;
- évolutions techniques rendant un bâtiment moins compétitif voire inadapté ;
- évolutions réglementaires, en particulier des réglementations énergétiques et environnementales ;
- développement à long-terme de mode de transports non routiers.

Quant à la construction d'un entrepôt particulier (scénario 2), il est peut probable qu'une entreprise puisse être certaine de l'utiliser pendant 50 ans. Cette incertitude est renforcée par un contexte macro-économique fragile écourtant la visibilité des entreprises.

Ces raisons conduisent à analyser les scénarios en prenant en compte la possibilité d'une obsolescence prématurée des bâtiments (voir graphique 4.3-a et graphique 4.3-b).



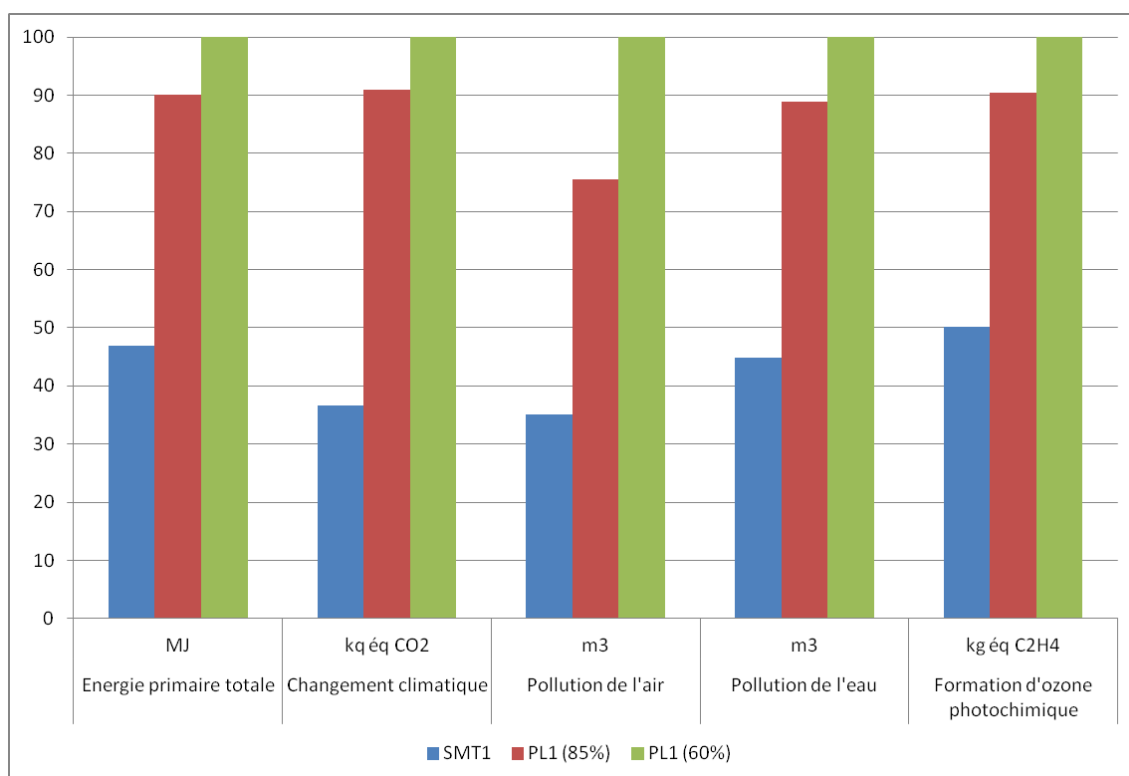
**Graphique 4.3-a. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité de la durée de vie de l'entrepôt logistique de PL1. Dans « PL1 (ddv 30ans) », la durée de vie du bâtiment est de 30 ans.**



**Graphique 4.3-b. Analyse comparative des options SMT2 et ES2, avec analyse de sensibilité de la durée de vie de l'entrepôt logistique de ES2. Dans « ES2 (ddv 30ans) », la durée de vie du bâtiment est de 30 ans.**

On constate la forte sensibilité des résultats à ce paramètre, en particulier pour le deuxième scénario, où l'intégralité des flux est pondérée par l'inverse de la durée de vie du bâtiment. Cela montre que le risque d'obsolescence prématurée des bâtiments classiques rend probable des écarts de performance environnementale encore plus élevés.

De même, dans les cas de référence, les taux de remplissage des entrepôts sont supposés être de 85% (scénario 1) et 75% (scénario 2) pendant 50 ans. Pour les mêmes raisons que celles invoquées précédemment, il y a d'importants risques que le taux de remplissage moyen sur l'ensemble de la durée de vie du bâtiment soit en réalité plus faible. Les conséquences sont similaires à une diminution de la durée de vie (voir graphique 4.3-c)



**Graphique 4.3-c. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité du taux de remplissage de l'entrepôt logistique de PL1. Dans « PL1 (60%) », le taux de remplissage du bâtiment est de 60% pendant 50 ans.**

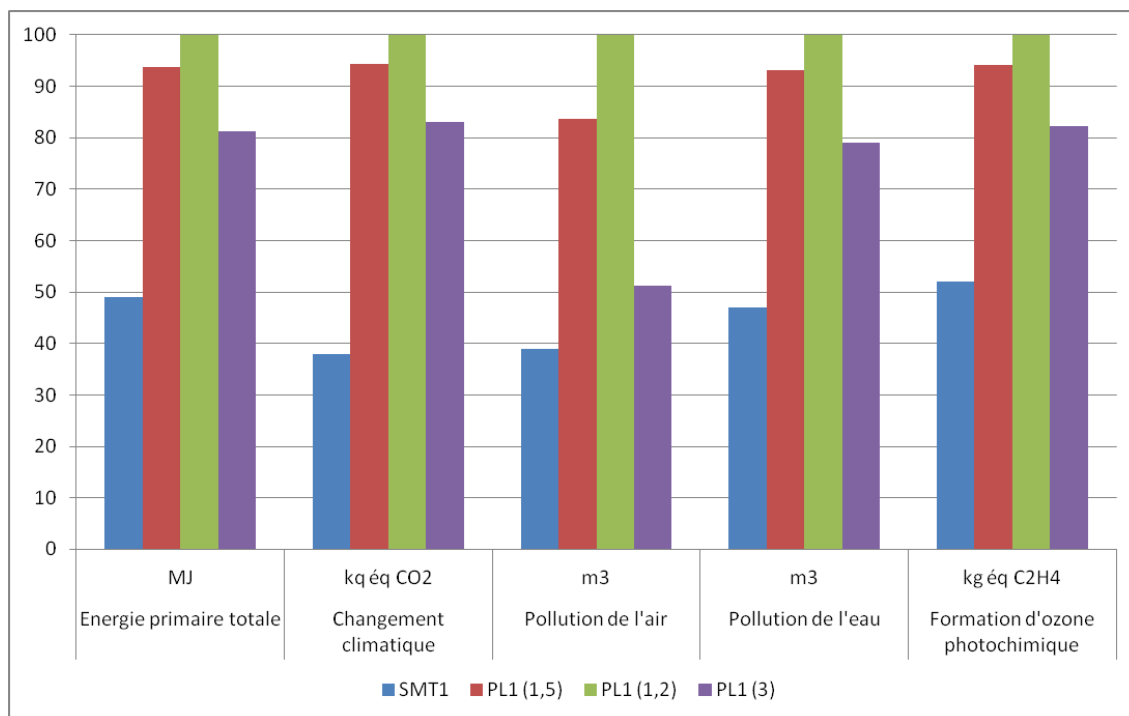
Pour les options SMT1 et SMT2, le problème de l'obsolescence ou d'une sous-utilisation de la capacité de stockage ne se pose pas, car si le besoin de stockage diminue, la structure peut être adaptée en fonction, et si la structure devient inutile, elle est démontée et réutilisée chez un autre client.

Ces analyses mettent donc en exergue les bénéfices environnementaux liées à la gestion de l'incertain que permettent les structures modulaires métallo-textiles vis-à-vis des constructions classiques. En d'autres termes, le risque environnemental est réduit par l'utilisation de structures métallo-textiles.

#### 4.3.1.2. Capacité de stockage

La capacité de stockage des entrepôts de PL1 et ES2 a été fixée à 1,5 palette standard par m<sup>2</sup>, fourchette haute des estimations données par le Sétra pour des entrepôts classiques (Sétra, 2009). L'estimation basse est de 1,2 palette/m<sup>2</sup>. Le Sétra estime qu'un entrepôt équipé de racks dynamiques peut stocker jusqu'à 3 palettes/m<sup>2</sup>.

Une analyse de sensibilité est effectuée pour couvrir cette fourchette de valeurs (voir graphique 4.3-d).



**Graphique 4.3-d. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité de la capacité de stockage de l'entrepôt logistique de PL1.** Dans « PL1 (1,3) » (resp. PL1 (3)), la capacité de stockage du bâtiment est de 1,3 palette/m<sup>2</sup> (resp. 3 palettes/m<sup>2</sup>).

On constate que, même avec une capacité de 3 palettes/m<sup>2</sup>, les indicateurs de PL1 restent supérieurs à ceux de SMT1. L'écart se resserre significativement pour l'indicateur pollution de l'air : SMT1 est seulement 24% moindre que PL1 (3) au lieu de 53% dans le cas de référence.

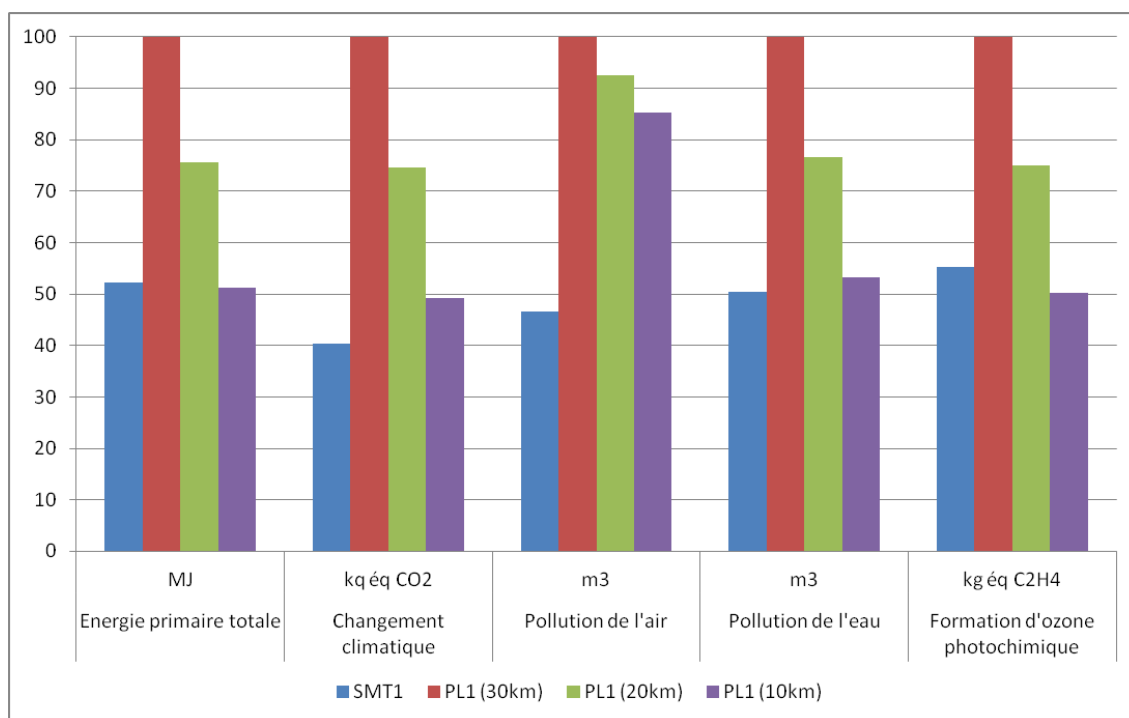
Une plus forte optimisation de l'entrepôt logistique pour le stockage des palettes standards par l'usage d'équipements plus perfectionnés entraîne un gain environnemental. Cependant, celui-ci ne semble pas être de nature à inverser les tendances dégagées.

#### 4.3.1.3. Distance de l'entrepôt logistique, masse des marchandises et taux de rotation

Trois paramètres définis dans le scénario 1 influencent la consommation de carburant pour le transport des palettes dans PL1 :

- la distance entre le client et l'entrepôt logistique (30 km dans le cas de référence) ;
- la masse des marchandises (500 kg dans le cas de référence) ;
- le taux de rotation (20% dans le cas de référence).

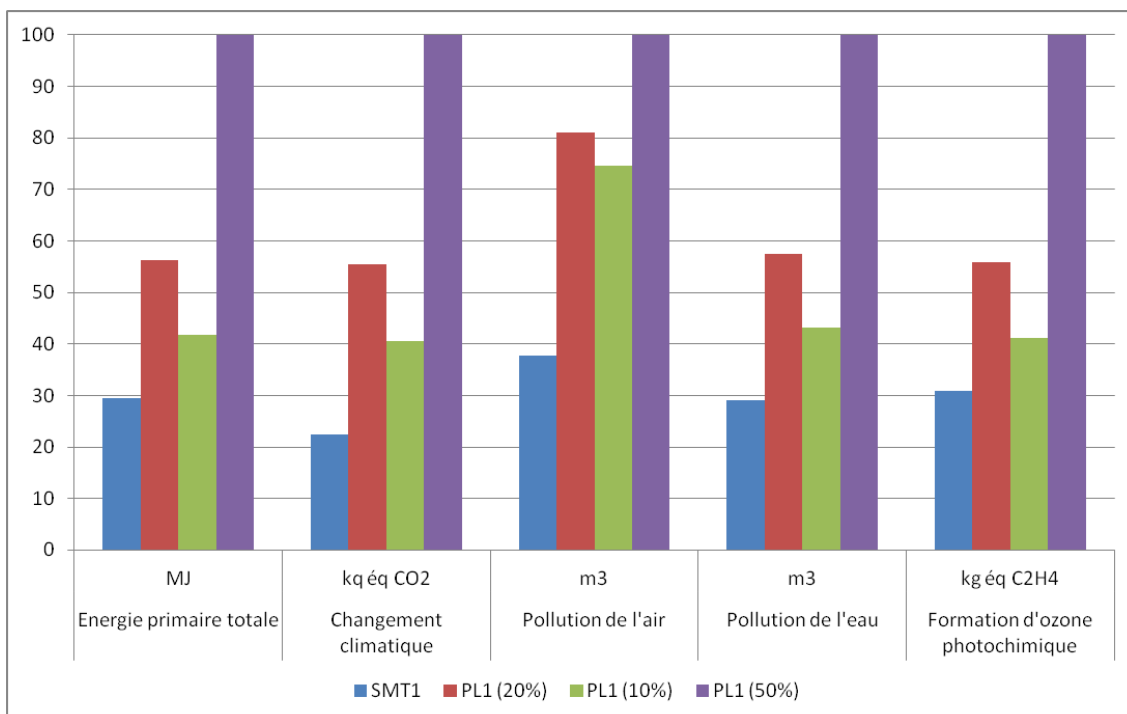
Dans la modélisation, la consommation dépend de la quantité de transport exprimée en kg.km. Ainsi un doublement de la distance aura la même conséquence sur la consommation de diesel qu'un doublement de la masse des palettes.



**Graphique 4.3-e. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité de la distance de l'entrepôt logistique de PL1.**

L'analyse de sensibilité sur la distance entre l'entrepôt logistique et le client montre que, si les écarts entre SMT1 et PL1 sont encore conséquents pour une distance de 20km (ou des palettes de 333kg), un point d'inversion semble être atteint pour 10km (ou des palettes de 167kg). En effet, pour cette distance, les écarts ne sont plus significatifs pour 4 des 5 indicateurs.





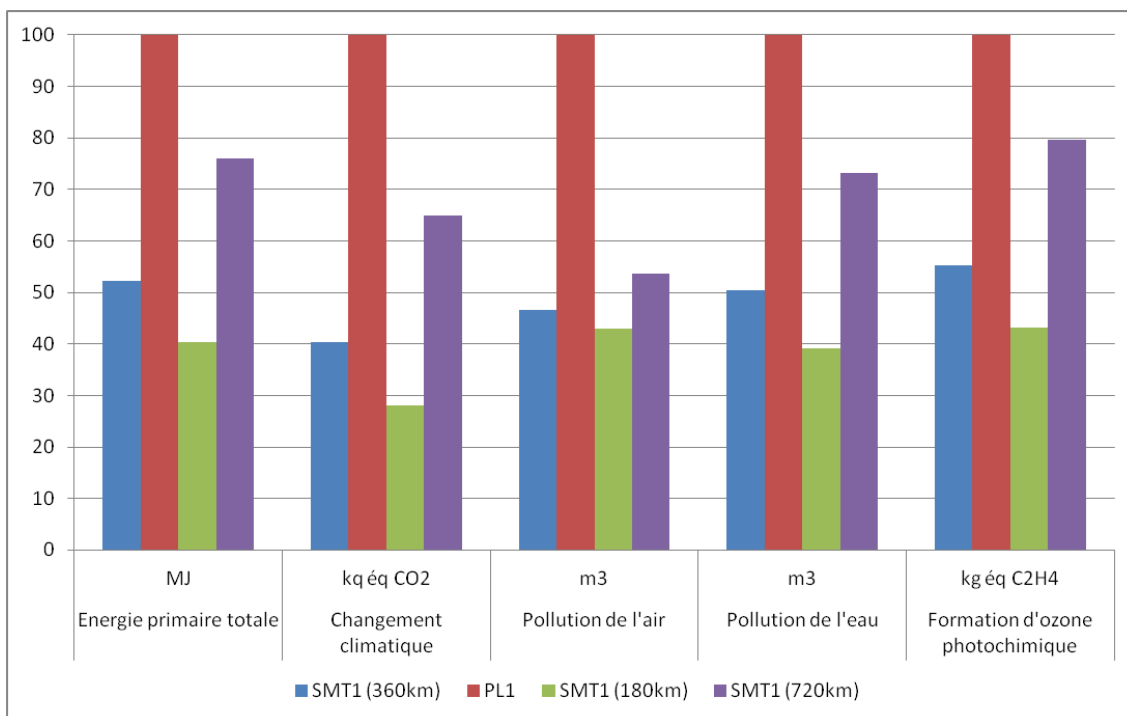
**Graphique 4.3-f. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité du taux de rotation des marchandises (10% par mois, 20% par mois et 50% par mois).**

L'analyse de sensibilité sur le taux de rotation de marchandises par mois montre que, même avec un taux de rotation faible, les écarts restent significatifs (supérieur ou égal à 25%). On constate que ce paramètre influence fortement les résultats : à partir de 25% de taux de rotation par mois, les écarts de tous les indicateurs excèdent 50%.

Ces analyses mettent en lumière un des intérêts fonctionnels des structures métallo-textiles, celui de pouvoir être posées au plus près du besoin de stockage (sous réserve d'une surface disponible).

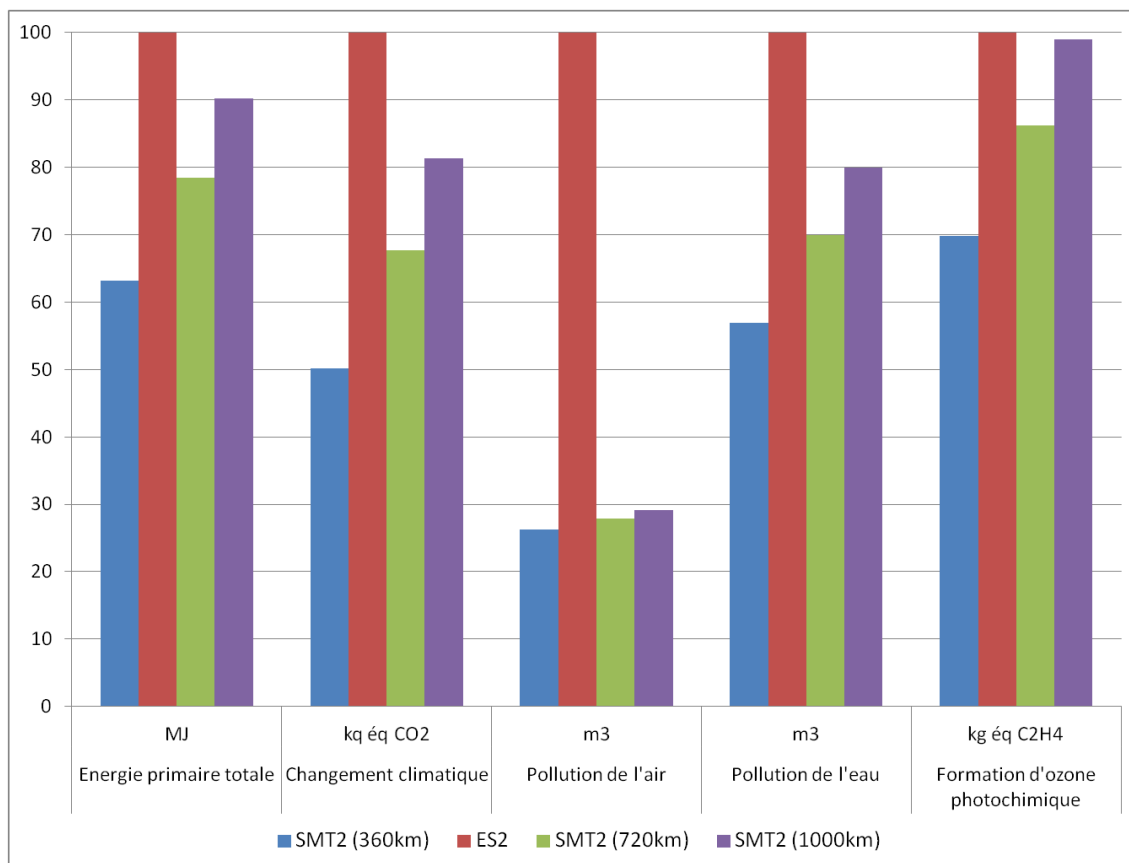
#### ***4.3.1.4. Eloignement du client et durée de prestation***

Dans les cas de référence, la distance séparant le client de Locabri est supposée être la distance moyenne des clients de Locabri, soit 360 km.



**Graphique 4.3-g. Analyse comparative des options SMT1 et PL1, avec analyse de sensibilité de la distance séparant Locabri du lieu de prestation pour SMT1.**

On constate que cette distance est un paramètre d'importance. D'autres analyses ont montrés que, toutes choses égales par ailleurs, c'est à partir d'une distance de 1000 km que les sens de comparaison des indicateurs commencent à s'inverser.



**Graphique 4.3-h. Analyse comparative des options SMT2 et ES2, avec analyse de sensibilité de la distance séparant Locabri du lieu de prestation pour SMT2.**

Dans le scénario 2, on constate que l'influence est légèrement moindre, et que le point de basculement est atteint pour distance plus grande (1400km). Cela s'explique par le fait que la consommation de diesel pour les tournées de pose et de dépose est amortie sur une quantité de service rendu plus important (770 palettes pendant 36 mois au lieu de 320 palettes pendant 12 mois). Ainsi plus la durée de prestation et la capacité de stockage de la structure est faible, moins le diesel des tournées est amorti.

Ces analyses montrent donc l'influence forte de la distance du client en rapport avec la durée de prestation. Des poses courtes de petites structures éloignées Brignais semblent représenter un cas limite (voir section 4.3.2.4 pour une discussion plus approfondie des cas défavorables aux structures).

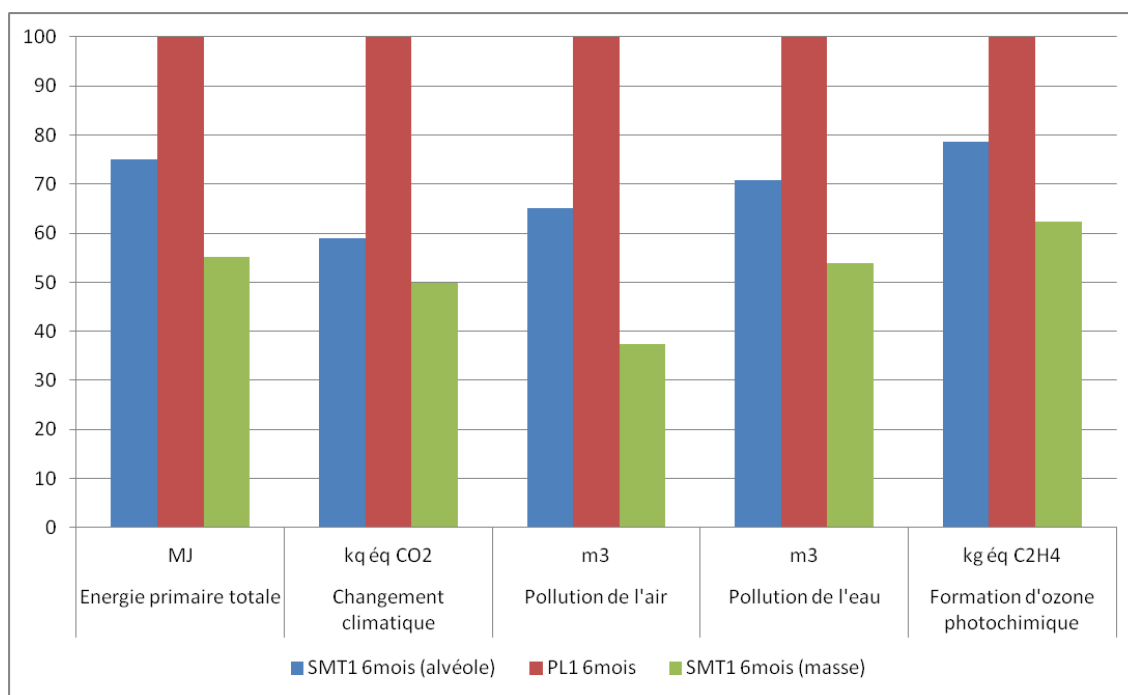
## 4.3.2. Autres scénarios

### 4.3.2.1. Stockage de masse

Supposons que le taux de rotation soit nul : le client souhaite uniquement stocker des marchandises ou des biens auxquels il n'a pas besoin d'avoir accès pendant une certaine période. Cela peut être le cas lors d'un besoin stockage urgent, dû par exemple à des travaux. Ce scénario s'apparente au scénario 1, avec une durée de prestation réduite, fixée à 6 mois.

Dans ce cas, la structure peut être adaptée pour réaliser, à la place du stockage en alvéole, un stockage de masse. Une structure plus petite peut être choisie. La structure la plus adaptée est une MG4x10x10-T.

Dans l'option PL1, l'entrepôt logistique ne peut pas être réorganisé pour accueillir un stockage de masse spécifique. Les palettes accueillies sont stockées de la même manière que dans le cas de référence.



**Graphique 4.3-i. Analyse comparative des options SMT1 et PL1 pour une durée de prestation de 6 mois. SMT1 est testé en stockage alvéolaire (MG4x15x25-T) et en stockage de masse (MG4x10x10-T)**

L'analyse comparative (voir graphique 4.3-i) montre qu'un gain substantiel (environ 25%) est obtenu par le choix d'une structure plus adaptée au besoin de stockage.

Cette analyse met en exergue l'intérêt de la modularité des structures : elles peuvent être adaptées aux particularités d'un besoin de stockage. Par cette adaptation, la quantité de matière choisie est la quantité minimale permettant de fournir le service. Pour l'entrepôt logistique, des fonctionnalités secondaires sont fournies alors qu'elles ne sont pas nécessaires (possibilité de mise à disposition de n'importe quelle palette du stock, services logistiques), entraînant un « surcoût » environnemental.

#### 4.3.2.2. Marchandises non standards

Cette section aborde le cas de palettes non standards. Ce scénario a été construit à partir de retours d'expériences de l'entreprise Serge Ferrari, dont les marchandises ne peuvent pas être palettisées sur des palettes standards (il s'agit de bobines de toiles).

Les entrepôts logistiques sont optimisés pour les palettes standards. Stocker des marchandises sortant des normes logistiques peut s'avérer problématique. Dans certains cas, les prestataires logistiques sont contraints d'effectuer un stockage au sol, limitant les possibilités de stockage en hauteur.

L'exemple pris est celui de palettes de 2,4m par 1m. Il est supposé que le stockage d'une de ces palettes dans un entrepôt logistique occupe l'espace de quatre palettes.

Comme précédemment, les structures peuvent être dimensionnées et aménagées de manière à s'adapter au besoin de stockage. Dans ce cas, la structure MG4x20x30-T permet d'accueillir ces 320 palettes (voir diagramme 4.3-a).

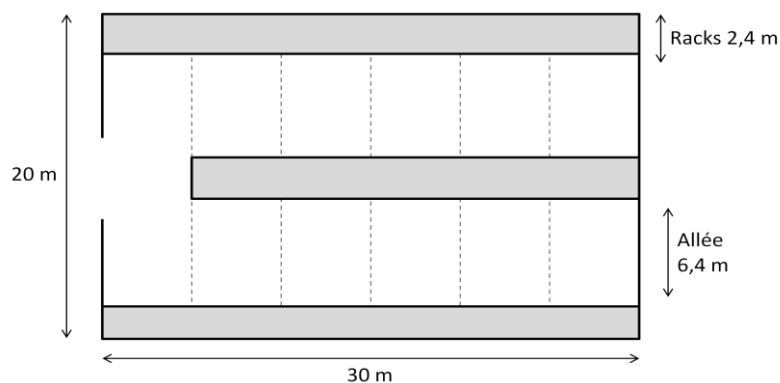
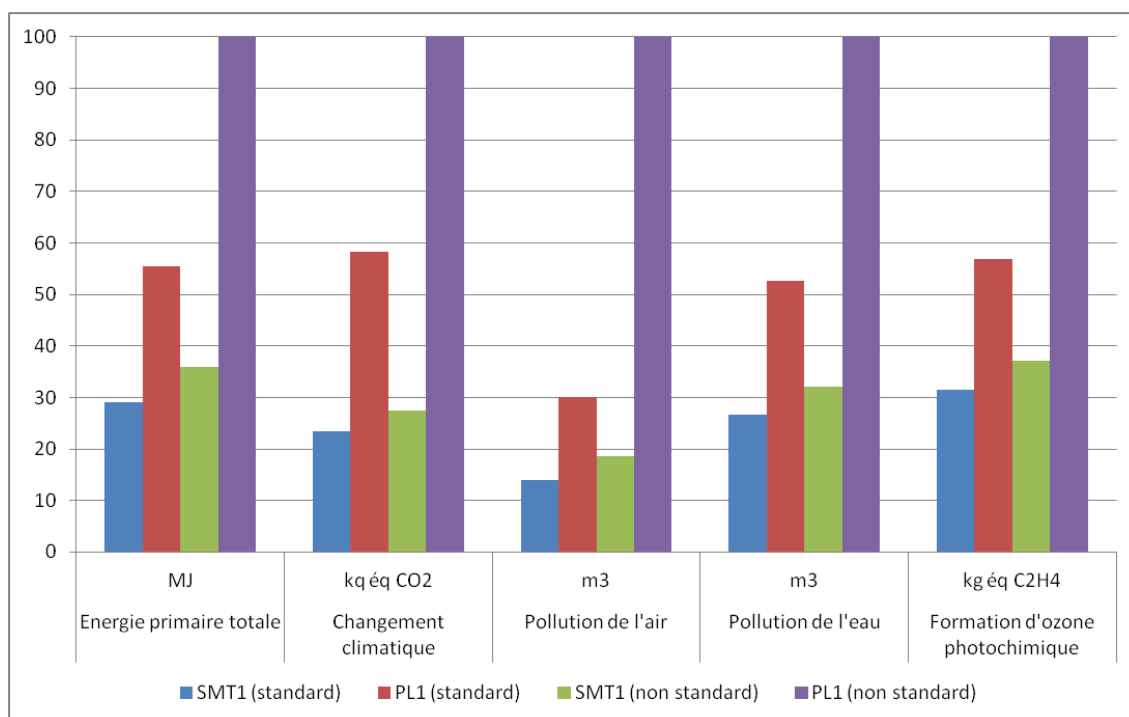


Diagramme 4.3-a. Aménagement intérieur de la structure permettant d'accueillir 320 palettes 2,4m\*1m.



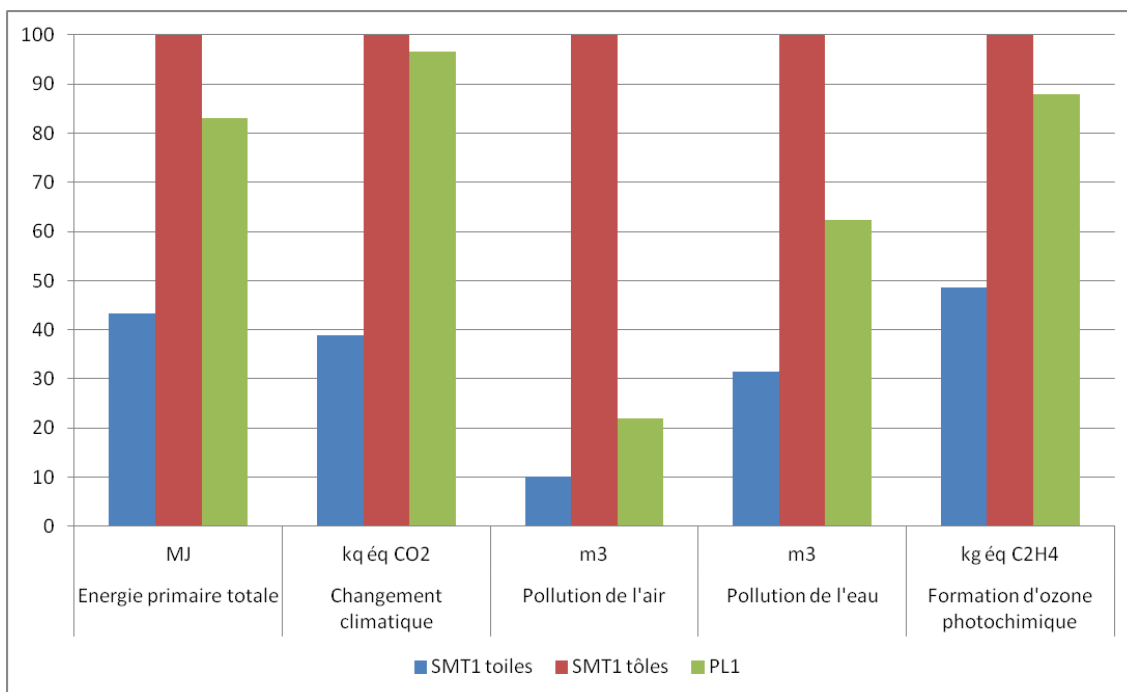
Graphique 4.3-j. Analyse comparative des options SMT1 et PL1 pour le stockage de palettes standards ou de palettes non standards.

L'analyse présentée sur le graphique 4.3-j montre que le passage à des palettes non standards creuse considérablement les écarts. Alors que la structure peut être adaptée à ces palettes (passage d'une structure de 375m<sup>2</sup> à une structure de 600m<sup>2</sup>), l'entrepôt logistique ne peut être spécialement réaménagé pour ces palettes, et perd donc une partie de sa capacité de stockage.

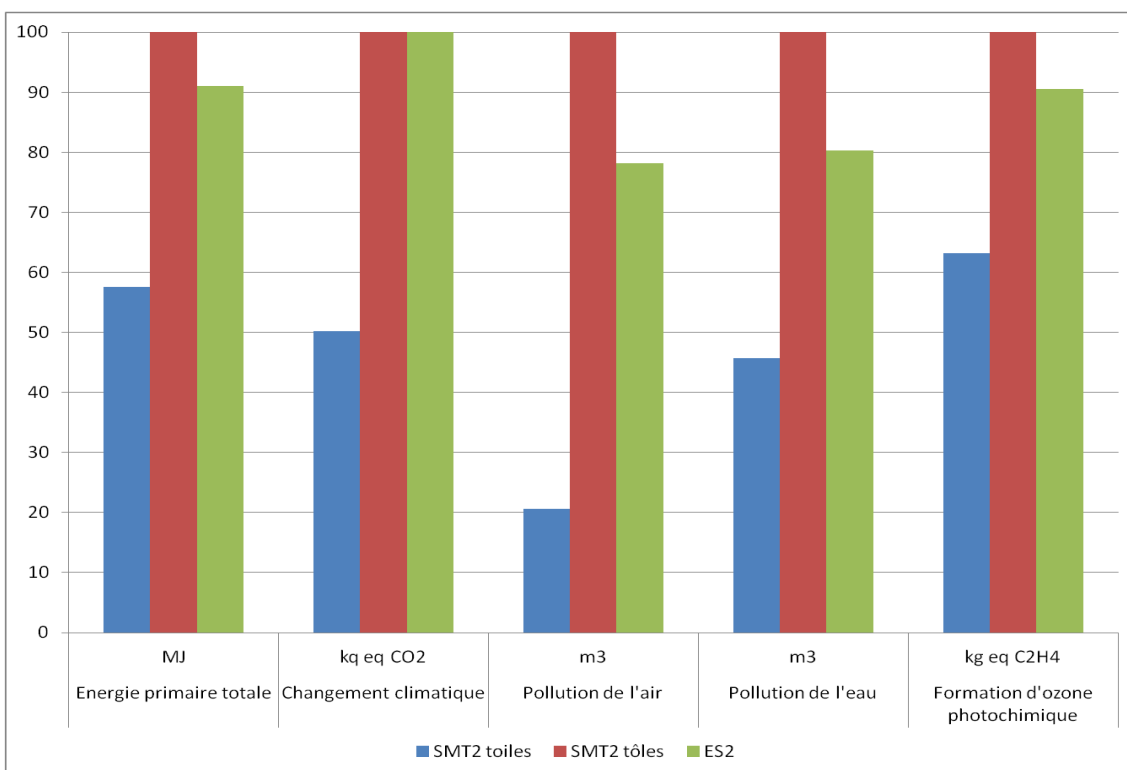
Cette variante met en lumière la modularité des structures. Elles peuvent être adaptées au besoin de stockage, et donc mobilisent la quantité de matériaux minimale pour la fonction visée.

#### 4.3.2.3. Bardage métallique

Locabri utilise également du bardage métallique (tôles) à la place des toiles dans près de la moitié de ses structures (la toiture reste en toile). Des analyses sont réalisées pour le scénario 1 et 2 avec un bardage tôle au lieu du bardage toile (voir graphique 4.3-k et graphique 4.3-l).



Graphique 4.3-k. Analyse comparative des options SMT1 et PL1 avec ou sans bardage métallique



Graphique 4.3-l. Analyse comparative des options SMT2 et PL2 avec ou sans bardage métallique

On constate que les résultats s'inversent lorsque l'on passe d'un habillage toile à un habillage tôle. Cela s'explique par plusieurs facteurs :

- Les tôles ont certes une durée de vie bien plus longue que les toiles (50 ans au lieu de 7 ans), mais subissent de nombreux dommages lors des poses, déposes et tournées, dommage qui ne sont que

rarement réparables (voir section 3.1.1.3). Les tôles s'usent donc en moyenne plus rapidement que les toiles.

- Les tôles sont bien plus lourdes que les toiles, ce qui génère une consommation de carburant supplémentaire lors des tournées. Ainsi les toiles de l'habillage vertical de la structure MG4x15x25-T ont une masse d'environ 200kg ; si cette même structure est bardée, la quantité de tôles est d'environ 3 tonnes.

L'indicateur pollution de l'air augmente fortement lors du passage des toiles aux tôles. Cette augmentation de l'indicateur pollution de l'air provient des étapes de production des tôles, fortement contributrices.

#### ***4.3.2.4. Scénarios défavorables***

Les analyses précédentes ont permis de mettre à jour les paramètres les plus influant. Il est possible d'en déduire les situations pour lesquelles les bénéfices environnementaux des structures métallo-textiles sont très incertains, voire négatifs.

Il faut noter que l'approche comparative adoptée a consisté à réduire l'incertitude de résultats montrant un bénéfice environnementale des structures métallo-textiles par rapport aux deux autres options. Une des conséquences de ce choix est que les résultats allant dans l'autre sens sont relativement plus incertains.

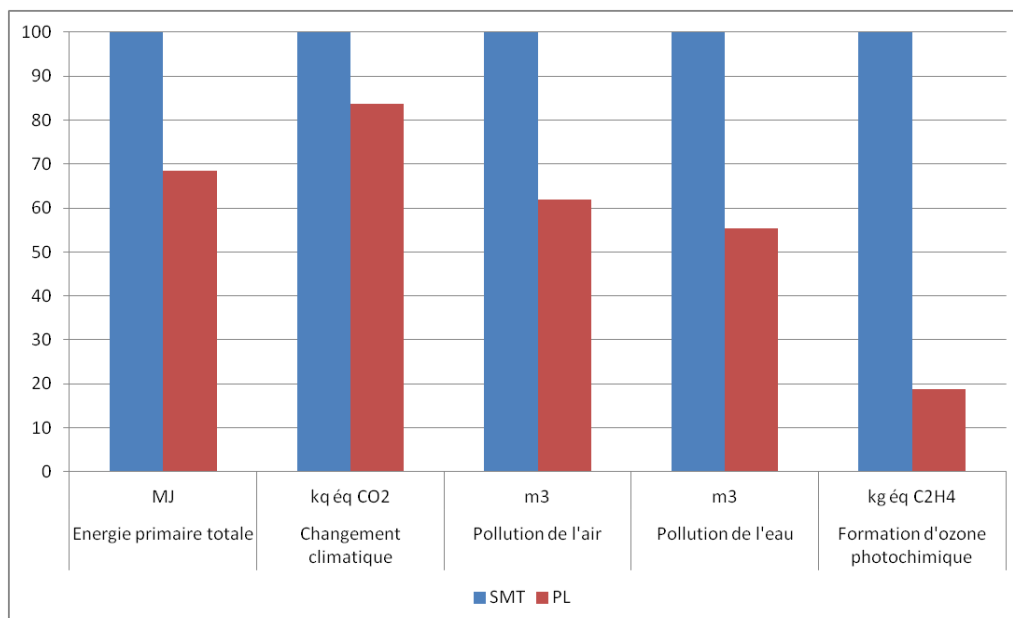
D'une manière générale, plus le client est éloigné de Locabri et plus la prestation est courte, moins la performance environnementale des structures est grande. Cela provient du diesel consommé lors des tournées de pose/dépose : plus la prestation est éloignée, plus la quantité de diesel est grande ; plus la prestation est courte, moins cette quantité est amortie par la quantité de service rendu. De même, la taille de la structure peut avoir une importance : plus la structure posée est grande, plus la quantité de diesel est amortie (sous réserve que la structure soit utilisée à pleine capacité).

Pour la comparaison « structure métallo-textile » - « prestation logistique », plusieurs analyses ont permis de montrer que, en partant du cas de référence, le sens de la comparaison commence à s'inverser pour :

- une durée de prestation inférieure à 2 mois ;
- OU une distance du client de plus de 1000 km ;
- OU une distance de plateforme logistique inférieure à 10 km ;
- OU des palettes standards de moins de 160kg.

Les effets de ces paramètres se cumulent. Ainsi, un point d'inversion est également atteint pour :

- une distance du client de plus de 450 km
- ET une durée de prestation courte (moins de 6 mois)
- ET une plateforme logistique proche (moins de 20 km) (les trois conditions sont nécessaires).
- Les autres paramètres restent identiques à ceux du cas de base du scénario 1 (durée de vie de la plateforme : 50ans, taux de remplissage moyen sur les 50 ans : 85%, taux de rotation des marchandises : 20%).



**Graphique 4.3-m. Analyse comparative des options « structure métallo-textile » (SMT) et « prestation logistique » (PL) pour une prestation de 3 mois, 320 palettes standards, distance client - Locabri : 500 km, distance client - entrepôt logistique : 20km. 20% des palettes sont renouvelées chaque mois. L'entrepôt logistique est supposé être rempli à 85% pendant 50 ans.**

Dans l'analyse présentée dans le graphique 4.3-m, la durée de prestation est de 3 mois, la distance du client de 500 km, celle de la plateforme de 20 km. L'écart est significatif pour la plupart des indicateurs sauf pour changement climatique.

Des changements sur ces autres paramètres (baisse de la durée de vie, hausse du taux de rotation, palettes non standards, stockage de masse, etc.) entraînent un éloignement des points d'inversion : il faut une distance client encore plus grande et une durée de prestation encore plus courte pour annuler les bénéfices environnementaux des structures.

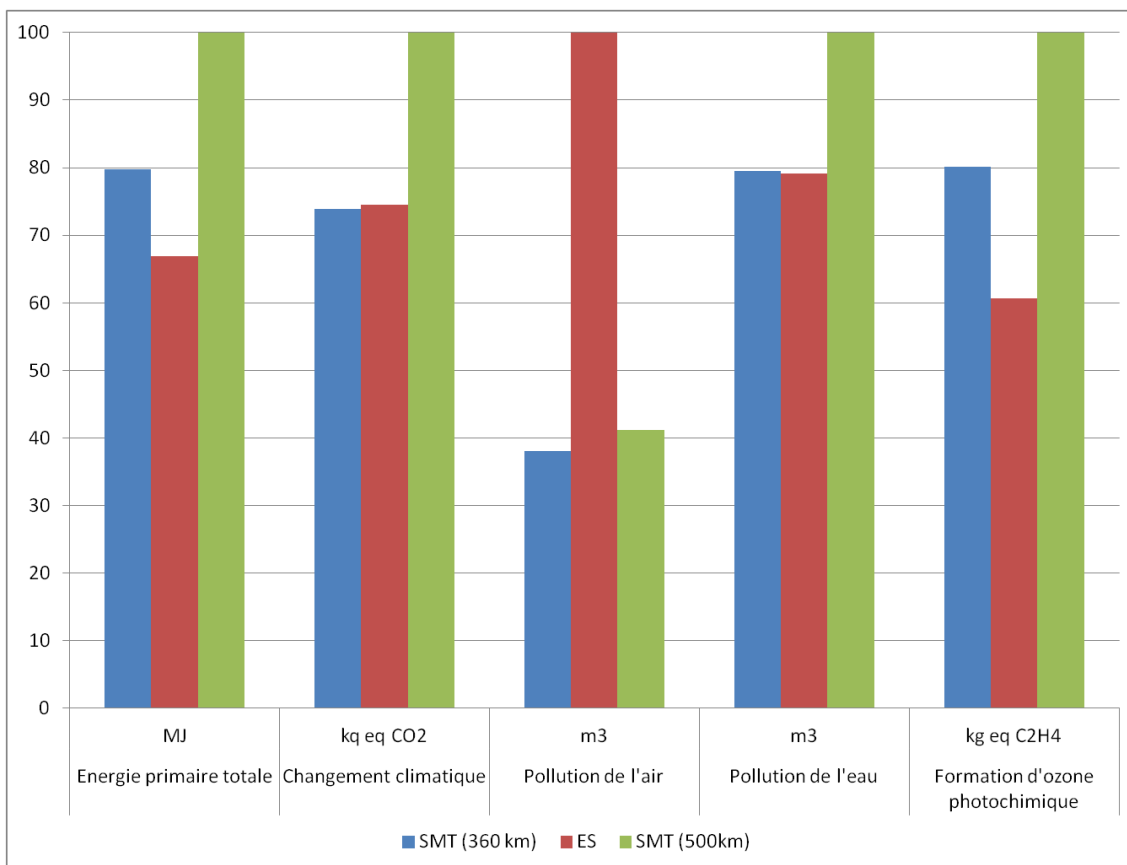
Pour la comparaison « structure métallo-textile » - « entrepôt simple », plusieurs analyses ont permis de montrer que, à partir du cas de référence, le sens de la comparaison commence à s'inverser sur certains indicateurs pour :

- une distance du client de plus de 1400km
- OU une durée de prestation de moins de 15 mois.

Dans l'analyse présentée dans le graphique 4.3-n, la durée de prestation est d'un an. On constate que, lorsque la distance du client reste de 360 km (distance moyenne des clients de Locabri), les résultats sont proches pour 2 des 5 indicateurs, et s'inversent pour 2 autres. Lorsque la distance passe à 500 km, l'écart se creuse considérablement pour 4 des 5 indicateurs. L'indicateur pollution de l'air ne s'inverse pas, car il ne dépend que peu du carburant.

Ces cas de prestations courtes pour le scénario 2 sont toutefois analysés purement à titre indicatif, car envisager la construction d'un entrepôt pour un besoin de stockage si court est peu vraisemblable.





**Graphique 4.3-n. Analyse comparative des options « structure métallo-textile » (SMT) et « entrepôt simple » (ES) pour une prestation d'un an, 770 palettes standards, distance client - Locabri : 360 km ou 500 km. L'entrepôt est supposé être rempli à 75% pendant 50 ans.**

Comme précédemment, des changements de ces paramètres (obsolescence prématurée de l'entrepôt, baisse du taux de remplissage, etc.) peuvent entraîner l'éloignement de ces points d'inversion : il faut une distance client encore plus grande et une durée de prestation encore plus courte pour annuler les bénéfices environnementaux des structures. A titre illustratif, si la durée d'utilisation de l'entrepôt est de 30 ans, la distance d'inversion est, toutes choses égales par ailleurs, de 2800 km.

### 4.3.3. Conclusions quant à la sensibilité des résultats aux paramètres définissant les scénarios

Ces analyses ont permis de rendre compte de certaines caractéristiques des systèmes étudiés et du modèle appliqué :

- Les résultats sont très sensibles à certains paramètres caractérisant les bâtiments, en particulier leur durée d'utilisation et taux de remplissage réels.
- Les résultats varient considérablement en fonction du type de besoin de stockage, en particulier la durée du stockage et le type de palette.

Les résultats ne s'inversent que lorsque les durées de prestation raccourcissent de plus de moitié dans chaque scénario et que la distance du client augmente considérablement, et ce tout chose égale par ailleurs. Dès que la durée de vie effective des entrepôts diminue, que le taux de rotation augmente, ou que le type de palettes s'écarte des standards, ces points d'inversion deviennent de plus en plus difficilement atteignables.

En outre, ces analyses ont permis de rendre compte de certains intérêts fonctionnels des structures métallo-textiles.

- La gestion de l'obsolescence : si la durée de vie effective des bâtiments est moindre, leur performance environnementale pour le service de stockage se dégrade. Les structures, étant démontables et louées par Locabri, ne courent pas ce risque.
- La modularité : les structures peuvent s'adapter au mieux au besoin de stockage, afin de mobiliser la quantité de matière minimale pour fournir le service demandé, comme c'est le cas pour le stockage de masse ou le stockage de marchandises sortant des standards de la logistique.

# 5. CONCLUSIONS

Cette étude a analysé les performances environnementales d'un cas d'économie de fonctionnalité dans le secteur du stockage industriel et commercial. Ce cas est celui de la société Locabri, dont l'activité principale est la location de structures métallo-textiles. Pour cela, des comparaisons ont été effectués avec d'autres solutions de stockage dans lesquelles Locabri intervient en tant que constructeur d'entrepôts classiques, sur la base de scénarios de stockage vraisemblables. L'étude a couplé deux méthodes : une analyse de flux de matières et d'énergie appliquée à l'activité de location des structures et de construction des entrepôts, ensuite élargie à une analyse de cycle de vie.

Les analyses effectuées ont permis d'identifier les principales sources d'impacts environnementaux des différentes solutions de stockage. Les impacts générés par la location de structures métallo-textiles proviennent essentiellement de l'énergie utilisée pour la mise en œuvre du service, en particulier du transport des structures. Le transport en tournée permet toutefois une économie de carburant significative par rapport à un réseau en étoile. Ces impacts peuvent être amortis par un allongement de la durée de prestation ; les impacts de la production des matériaux, en particulier celle des toiles, prennent alors une importance relativement plus significative. Ces résultats permettent d'envisager différentes pistes d'améliorations pour Locabri, comme la diminution des consommations de carburant, par exemple lors du renouvellement de la flotte, ou la limitation de l'eau utilisée pour le lavage des toiles. Un axe d'amélioration majeure est l'optimisation de la gestion des matières pour réduire les pertes matérielles : perfectionner les techniques de poses / déposes pour limiter la casse et l'usure prématurée, s'assurer de l'utilisation de détergents sans effets délétère pour les toiles, améliorer l'efficacité de la réparation / transformation des pièces ou encore envisager l'utilisation de matériaux innovants adaptés à l'activité de location (robuste, léger, facilité de réparation).

Lors d'un stockage en entrepôt logistique, la principale source d'impacts est le transport de marchandises, qui est d'autant plus forte que l'entrepôt est lointain et le taux de rotation important. La production des matériaux devient beaucoup plus contributrice dès que la durée d'utilisation du bâtiment ou le taux de remplissage diminue. La construction d'un entrepôt non partagé entraîne la mobilisation de grandes quantités de matériaux de construction, dont la production est la principale source d'impacts environnementaux.

Les analyses comparatives ont permis de mettre à jour l'intérêt environnemental des structures métallo-textiles pour le stockage industriel et commercial. Les comparaisons effectuées sur la base des deux scénarios de référence montre que, sur l'ensemble des indicateurs choisis, les estimations des impacts environnementaux de la solution de location de structures métallo-textiles est environ pour moitié celle de la prestation logistique et de la construction d'un entrepôt. Ce résultat est robuste et résiste à l'incertitude des données utilisées. En particulier, des erreurs de mesures de certaines données clefs ne modifient pas le sens des comparaisons.

En outre, l'étude a permis de traduire l'effet de certaines fonctionnalités permises par ces prestations sur les performances environnementales. Ainsi, le fait que les structures peuvent être montées au plus près du besoin de stockage, sous réserve d'espace disponible, permet une économie significative de carburant par rapport à une situation de stockage à distance. En outre, la modularité des structures leur permet d'être adaptées aux caractéristiques des marchandises (volume) et à leur accessibilité (stockage en alvéole ou stockage de masse). Cette adaptation renforce l'intérêt environnemental des structures par rapport à des solutions optimisées pour un stockage standard. Enfin, la location de structures permet de gérer l'incertain : dès que la structure n'est plus nécessaire, elle est démontée, et les matériaux peuvent être réemployés sur une autre structure, fournissant ainsi un nouveau service. Ces boucles de réemplois permettent aux matériaux d'être amortis sur plusieurs cycles d'utilisations. Ceci donne un avantage environnemental décisif par rapport à des bâtiments classiques, dont le risque d'obsolescence rend possible l'utilisation sous-optimale de ses matériaux constitutifs. L'effet d'autres fonctionnalités de cette solution sur ses performances environnementales n'ont pas pu être caractérisées. Cela concerne sa capacité à être déployée dans des délais courts, et son modèle financier évitant l'immobilisation de capital.

Enfin, l'étude a mis en lumière des situations pour lesquelles les bénéfices environnementaux deviennent incertains, voire négatifs. Cela est en particulier le cas de prestation lointaine et très courte, alors qu'une plateforme logistique au fonctionnement optimisé et aux risques d'obsolescence très faibles est disponible à proximité.

Il est en outre important de rappeler que les résultats dépendent de l'état actuel des connaissances en analyse de cycle de vie. En particulier, les bases de données et méthodes de caractérisations utilisées sont susceptibles d'évoluer dans les années à venir.

Grâce à cette perspective environnementale, l'étude contribue à mieux connaître les caractéristiques de l'économie de fonctionnalité, ses avantages et ses limites. Une analyse des conséquences environnementales de ce type de modèle économique à une échelle plus intégrée pourrait également être poursuivie. Par ailleurs, au cours de l'étude, les aspects sociétaux et économiques de ce type de modèle d'affaire ont également suscité un vif intérêt. L'investigation future de ces enjeux pourra s'appuyer sur le modèle développé dans cette étude.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) (2010) *Analyse technico-économique de 39 plateformes françaises de tri/valorisation des déchets du BTP - synthèse*. [en ligne] Accessible depuis: [http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=9D3A556D5CFA1B6E7E9AAE994E4FF965\\_tomcatlocal1323335190093.pdf](http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=9D3A556D5CFA1B6E7E9AAE994E4FF965_tomcatlocal1323335190093.pdf) [consultée le 10/08/2012].

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) (2012) *Données générales chiffres clefs*. [en ligne] Accessible depuis: <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?catid=14705> [consultée le 10/08/2012].

Association Française de Normalisation (AFNOR) (2004) *NF P01-010 : Qualité environnementale des produits de construction - Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction*

Association Française de Normalisation (AFNOR) (2006) *FD P01-015 : Qualité environnementale des produits de construction - Fascicule de données énergie et transport*

Centre d'Etudes des Tunnels (CETU) – Marsault, J.P. et Carlotti, P. (2002) *Calcul des émissions de polluants des véhicules automobiles en tunnel*. [en ligne] Accessible depuis: <http://portail.documentation.developpement-durable.gouv.fr/dtrf/pdf/pj/Dtrf/0003/Dtrf-0003183/DT3183.pdf/> [consultée le 20/08/2012].

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM) (2011a) *DECLARATION ENVIRONNEMENTALE et SANITAIRE CONFORME A LA NORME NF P 01-010 - Contreventement en acier*. [en ligne] Accessible depuis: <http://www.inies.fr/> [consultée le 01/08/2012].

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM) (2011b) *DECLARATION ENVIRONNEMENTALE et SANITAIRE CONFORME A LA NORME NF P 01-010 - Portique constitué de profilés reconstitués soudés en acier*. [en ligne] Accessible depuis: <http://www.inies.fr/> [consultée le 01/08/2012].

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM) (2011c) *DECLARATION ENVIRONNEMENTALE et SANITAIRE CONFORME A LA NORME NF P 01-010 - Tube creux en acier*. [en ligne] Accessible depuis: <http://www.inies.fr/> [consultée le 01/08/2012].

EVEA – Laratte, B., Péchenart, E., Puyou, J.B. (2008) *Etude ACV de la BATYLINE®*. Commanditaire : Serge Ferrari

Kellenberger, D., Althaus H.J., Künniger, T., Lehman, M., Jungbluth, N., Thalman, P. (2007) *Life Cycle Inventories of Building Products*. ecoinvent report No. 7. Suisse: Dübendorf

Petri, C.A. (1966) *Communication with automata*. DTIC Research Report AD0630125.

QUALIPAL (2012) *Fiche UIC 435-2*. [en ligne] Accessible depuis: [http://www.qualipal.asso.fr/indoc/f\\_x.asp?sCodeSel=2010100&iNiveauSel=3&doc=modele4.asp&iPageID=79&iMenuID=36&iSsMenuID=0&url=doc/Gabarits/modele4.asp?iPageID=79](http://www.qualipal.asso.fr/indoc/f_x.asp?sCodeSel=2010100&iNiveauSel=3&doc=modele4.asp&iPageID=79&iMenuID=36&iSsMenuID=0&url=doc/Gabarits/modele4.asp?iPageID=79) [consultée le 30/08/2012].

Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (Sétra) – Gavaud, O. et Le Bourhis, P. (2009) *Les bâtiments logistiques : fonction et impacts sur les territoires*. [en ligne] Accessible depuis: [http://www.setra.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/0961w\\_batiments\\_logistiques\\_V\\_auteur.pdf](http://www.setra.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/0961w_batiments_logistiques_V_auteur.pdf) [consultée le 15/08/2012].

Service de l'observation et des statistiques (SOEs) – Commissariat général au développement durable - Jacquesson, F. (2012) *Les entrepôts et leur activité en 2010*. [en ligne] Accessible depuis: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/CS334.pdf> [consultée le 15/08/2012].

Syndicat National du Profilage et des Produits Plats en Acier (SNPPA) (2006) *DECLARATION ENVIRONNEMENTALE et SANITAIRE CONFORME A LA NORME NF P 01-010 – Bardage en acier simple peau*. [en ligne] Accessible depuis: <http://www.inies.fr/> [consultée le 01/08/2012].

Syndicat National du Profilage et des Produits Plats en Acier (SNPPA) (2011) *DECLARATION ENVIRONNEMENTALE et SANITAIRE CONFORME A LA NORME NF P 01-010 - Poutre en éléments minces en acier (panne, lisse ou solive)*. [en ligne] Accessible depuis: <http://www.inies.fr/> [consultée le 01/08/2012].

Fenwick-Linde (2012) *Les chariots de manutention Fenwick pour la livraison, préparation de commandes, magasinage, stockage*. [en ligne] Accessible depuis: <http://www.fenwick-linde.com/chariots/index.cfm> [consultée le 15/08/2012].

STILL GmbH (2012) *Chariots élévateurs diesel ou GPL | STILL France*. [en ligne] Accessible depuis: <http://www.still-fr.com/chariots-eleveurs-diesel-gpl.0.0.html> [consultée le 15/08/2012].

Weidema, B. P. et Wesnæs, M. S. (1996). Data quality management for life cycle inventories — an example of using data quality indicators. *Journal of Cleaner Production* 4: 167-174

# 7. ANNEXES

## 7.1. Données afférentes aux structures

### 7.1.1. Structures typiques

Pour choisir les structures métallo-textiles étudiées dans les scénarios, la liste des poses et déposes issue du logiciel de gestion a été étudiée. L'objectif était de déterminer les structures d'environ 400 m<sup>2</sup> et 800 m<sup>2</sup> les plus utilisées.

Le tableau 7.1-a présente la liste des codes des structures correspondant aux poses et déposes enregistrées dans le logiciel de gestion interne. Seules les structures de type megatex pour des prestations locatives ont été retenues. Cette liste contient les prestations déjà effectuées et prévues depuis la mise en place du logiciel. La nomenclature est celle utilisée par Locabri

**Tableau 7.1-a. Liste des codes structures correspondant à des poses et déposes effectuées ou prévues pour des prestations locatives. Liste issue du logiciel de gestion interne de Locabri en mai 2012. Nombre d'éléments : 858.**

MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-099	MGX10/5X40-B-Z0_1	MGX15/4X10-T-Z0_1
MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX20/4X10-EB-009	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X30-B-Z0_1
MGX20/4X20-T-003	MGX15/4X20-B-023	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX15/5X20-B-Z0_1
MGX20/4X25-B-001	MGX10/4X10-ET-026	MGX15/4X15-T-Z0_1	MGX15/4X15-B-Z0_1
MGX10/4X10-T-007	MGX20/4X20-T-Z0_1	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX15/4X20-B-Z0_1
MGX10/4X20-B-037	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX10/4X15-B-Z0_1	MGX15/4X25-T-031
MGX10/4X40-T-002	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX10/5X40-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-107
MGX10/4X10-B-002	MGX20/5X65-T-Z0_1	MGX10/4X25-ET-039	MGX15/5X30-T-Z0_1
MGX20/5X100-T-001	MGX10/4X15-B-Z0_1	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX10/4X15-B-Z0_1
MGX10/4X15-B-005	MGX10/4X10-T-104	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX20/4X5-T-010
MGX20/4X25-ET-001	MGX20/4X25-T-Z0_1	MGX30/6X5-B-Z0_1	MGX20/4X50-EB-017
MGX20/4X25-ET-007	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX15/5X20-EBR-001	MGX10/4X15-ET-040
MGX10/4X25-T-030	MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX15/4X15-B-004	MGX15/4X35-ET-026
MGX10/4X35-T-008	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX15/4X20-EB-039	MGX10/4X10-T-071
MGX15/5X20-EBR-001	MGX10/4X10-T-092	MGX10/4X25-B-023	MGX20/4X50-ET-017
MGX20/4X85-B-002	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX05/4X10-T-Z0_1	MGX10/4X20-T-101
MGX10/4X15-T-025	MGX20/4X45-T-Z0_1	MGX15/4X30-EB-025	MGX15/5X15-ET-004
MGX10/4X60-T-002	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X10-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-043
MGX10/4X10-B-016	MGX15/4X35-T-Z0_1	MGX10/4X10-B-Z0_1	MGX20/5X60-T-004
MGX15/4X15-T-032	MGX10/4X40-T-014	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX15/5X35-T-021
MGX15/4X40-EB-010	MGX20/5X10-EB-006	MGX15/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X10-T-Z0_1
MGX20/5X30-ET-003	MGX15/4X25-T-029	MGX15/4X5-B-Z0_1	MGX20/5X10-B-Z0_1
MGX20/5X45-EB-004	MGX15/4X15-B-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX15/4X20-T-Z0_1
MGX10/4X25-ET-020	MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X145-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1
MGX25/6X40-EB-002	MGX20/5X15-EB-006	MGX15/4X20-T-062	MGX20/5X5-T-005
MGX15/5X15-T-021	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X20-ET-003	MGX10/4X15-B-Z0_1
MGX10/4X15-T-041	MGX15/5X20-T-Z0_1	MGX10/4X40-T-002	MGX20/5X45-T-Z0_1
MGX10/4X10-T-044	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/4X25-ETR-001	MGX20/4X40-T-008
MGX10/4X20-EB-019	MGX20/4X10-T-Z0_1	MGX10/4X20-EB-003	MGX20/5X80-T-Z0_2
MGX10/4X60-T-003	MGX15/4X15-B-Z0_1	MGX10/4X20-T-140	MGX10/5X10-T-Z0_2
MGX10/4X15-EB-029	MGX15/5X10-T-Z0_1	MGX10/4X25-T-048	MGX15/5X30-T-Z0_1
MGX10/4X30-ET-021	MGX20/5X60-EB-010	MGX10/4X15-EB-050	MGX15/4X15-T-033
MGX15/4X35-T-010	MGX10/4X10-T-098	MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X15-ET-041
MGX15/4X25-EB-026	MGX20/4X20-EB-024	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X25-T-Z0_1
MGX10/4X35-EB-011	MGX15/5X5-T-Z0_1	MGX10/5X20-B-Z0_1	MGX15/4X40-T-Z0_1



MGX20/4X30-T-016	MGX20/4X15-EB-003	MGX30/5X50-B-Z0_1	MGX15/4X20-B-Z0_1
MGX15/4X20-EB-017	MGX10/4X15-EB-040	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX20/4X50-T-Z0_1
MGX20/4X40-T-008	MGX15/4X10-T-021	MGX20/5X10-B-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1
MGX20/5X40-B-005	MGX10/4X20-T-142	MGX15/4X15-T-Z0_1	MGX15/4X20-B-Z0_1
MGX15/5X20-ET-016	MGX10/4X40-T-Z0_1	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX15/4X20-B-Z0_1
MGX10/4X15-B-037	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX15/5X100-T-Z0_1	MGX10/5X20-T-Z0_1
MGX10/4X20-EB-055	MGX10/4X30-T-044	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX20/4X40-T-Z0_1
MGX10/4X25-ET-025	MGX15/5X25-T-Z0_1	MGX20/4X35-B-Z0_2	MGX15/4X20-ET-025
MGX10/4X20-T-101	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX10/4X25-B-018	MGX20/4X80-T-Z0_1
MGX10/4X15-B-042	MGX20/4X40-T-Z0_1	MGX15/4X35-T-002	MGX15/5X10-T-Z0_1
MGX10/4X15-EB-040	MGX10/4X30-T-Z0_1	MGX20/4X30-EBP-002	MGX20/4X25-B-002
MGX20/5X5-T-005	MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX20/5X25-B-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1
MGX10/4X10-T-071	MGX10/4X30-T-Z0_1	MGX10/5X15-T-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1
MGX15/5X20-EB-012	MGX15/4X25-EBR-001	MGX20/5X80-T-Z0_2	MGX10/5X20-B-Z0_1
MGX10/4X15-T-073	MGX10/4X15-B-042	MGX15/4X25-T-Z0_1	MGX20/4X40-T-Z0_1
MGX20/4X50-EB-017	MGX20/4X50-B-023	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X20-T-Z0_1
MGX15/4X25-ETR-001	MGX10/4X30-EB-052	MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX20/5X50-T-Z0_1
MGX15/4X30-B-006	MGX20/5X50-B-Z0_1	MGX15/5X30-T-Z0_5	MGX10/4X15-T-Z0_1
MGX20/4X20-EB-014	MGX15/4X15-T-Z0_1	MGX10/5X5-T-Z0_1	MGX20/5X30-B-Z0_1
MGX10/4X5-T-013	MGX15/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X20-B-Z0_2
MGX15/4X10-B-012	MGX10/4X10-T-094	MGX15/5X10-T-Z0_1	MGX10/4X65-B-Z0_1
MGX20/4X100-T-017	MGX15/4X30-T-Z0_4	MGX10/4X15-B-Z0_1	MGX20/4X20-B-Z0_2
MGX10/4X30-B-015	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX20/5X45-B-Z0_1	MGX20/4X30-T-Z0_1
MGX20/5X20-EB-006	MGX10/5X20-T-Z0_1	MGX15/4X20-B-Z0_1	MGX15/4X15-T-Z0_1
MGX20/4X10-ET-009	MGX10/4X30-T-Z0_1	MGX10/5X5-B-Z0_1	MGX20/4X20-B-Z0_1
MGX15/4X25-EBR-001	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX20/4X25-B-Z0_1	MGX20/4X20-T-003
MGX20/4X15-EB-003	MGX20/4X5-T-Z0_1	MGX10/4X25-T-Z0_1	MGX20/5X60-EB-003
MGX15/4X25-T-021	MGX10/4X15-T-110	MGX15/4X30-B-Z0_3	MGX15/4X15-T-Z0_1
MGX15/5X30-T-019	MGX15/4X20-T-072	MGX20/4X35-B-Z0_1	MGX10/4X10-T-Z0_1
MGX10/4X25-B-018	MGX15/4X25-B-018	MGX10/5X20-T-Z0_1	MGX15/4X30-B-Z0_3
MGX20/5X35-T-013	MGX10/4X60-ET-004	MGX15/4X10-B-Z0_1	MGX10/5X20-T-Z0_1
MGX10/4X20-EB-031	MGX10/5X25-B-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX10/5X45-T-Z0_1
MGX10/4X20-EB-051	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX15/4X25-BR-002	MGX20/4X40-T-Z0_1
MGX15/4X15-B-014	MGX20/5X25-T-Z0_1	MGX15/5X10-T-Z0_1	MGX25/6X40-EB-002
MGX10/4X5-T-014	MGX20/5X40-T-Z0_1	MGX15/4X15-T-Z0_9	MGX15/4X5-T-Z0_1
MGX20/5X10-B-004	MGX15/4X15-T-032	MGX15/4X25-T-Z0_1	MGX10/4X40-B-Z0_1
MGX20/4X50-ET-017	MGX10/4X15-T-109	MGX10/4X5-T-014	MGX20/4X20-T-Z0_1
MGX10/4X20-EB-052	MGX20/4X40-T-Z0_1	MGX15/4X35-EB-020	MGX15/4X20-T-Z0_1
MGX10/4X30-B-016	MGX05/4X10-T-Z0_1	MGX15/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X20-B-Z0_1
MGX10/4X20-TP-001	MGX10/5X25-T-Z0_1	MGX15/4X15-B-017	MGX20/5X45-EB-004
MGX15/5X15-T-029	MGX20/4X40-T-Z0_1	MGX20/4X20-T-Z0_1	MGX20/5X50-B-Z0_1
MGX10/4X20-EB-054	MGX20/5X35-T-Z0_3	MGX20/5X40-T-Z0_1	MGX20/5X15B
MGX20/5X5-TR-001	MGX15/5X15-T-030	MGX20/4X50-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1
MGX10/4X20-T-125	MGX10/4X40-T-Z0_1	MGX10/4X20-T-125	MGX20/4X50-ET-010
MGX10/4X30-T-038	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX15/5X5-T-Z0_1	MGX15/4X20-ET-022
MGX10/4X15-ET-040	MGX20/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX10/5X40-T-Z0_1
MGX10/4X25-T-047	MGX15/5X30-B-Z0_4	MGX10/4X35-B-Z0_3	MGX10/4X10-T-Z0_1
MGX20/5X10-T-012	MGX20/5X40-EB-011	MGX10/4X15-B-Z0_1	MGX10/4X20-B-Z0_1
MGX15/4X15-T-033	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX10/5X5-B-Z0_1
MGX15/5X20-ET-021	MGX15/4X50-B-Z0_1	MGX5/4X20-B-Z0_1	MGX20/5X45-EB-005
MGX10/4X15-EBP-007	MGX15/4X65-B-Z0_1	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1
MGX10/4X15-ET-043	MGX10/4X10-B-016	MGX15/4X5-T-Z0_1	MGX15/4X5-T-Z0_1
MGX15/4X30-ET-025	MGX10/4X20-T-138	MGX10/5X20-B-Z0_1	MGX20/4X40-T-015

MGX10/4X10-B-048	MGX20/5X35-EB-006	MGX15/5X20-B-008	MGX15/4X20-TR-002
MGX20/4X10-T-008	MGX20/4X30-T-016	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X30-T-019
MGX10/4X40-T-014	MGX10/4X60-ET-004	MGX10/4X5-T-Z0_1	MGX20/5X30-ET-003
MGX20/5X45-EB-005	MGX10/4X40-T-Z0_1	MGX10/4X5-T-Z0_1	MGX20/4X15-T-Z0_1
MGX10/4X25-B-020	MGX20/5X15B	MGX10/4X30-B-Z0_1	MGX15/5X20-ET-021
MGX20/4X20-B-010	MGX15/5X15-T-Z0_1	MGX20/5X20-T-010	MGX10/4X5-T-013
MGX10/4X15-EB-048	MGX15/5X20-T-Z0_1	MGX10/5X10-T-Z0_1	MGX10/4X35-EB-011
MGX10/4X5-T-015	MGX10/4X10-B-Z0_1	MGX15/4X15-T-Z0_1	MGX30/6X100-B-001
MGX15/4X25-T-027	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-096
MGX10/4X30-T-039	MGX10/4X20-B-044	MGX20/5X120-T-003	MGX10/4X25-T-Z0_14
MGX10/4X30-EB-051	MGX20/5X25-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX20/4X40-EB-011
MGX20/5X40-ET-012	MGX20/5X50-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X35-T-012
MGX15/4X20-EB-037	MGX20/4X30-B-Z0_1	MGX15/4X15-EB-007	MGX10/4X10-T-005
MGX15/5X35-T-012	MGX20/4X25-T-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX15/4X15-B-Z0_1
MGX10/4X20-TR-001	MGX20/4X30-B-Z0_1	MGX20/4X5-T-Z0_1	MGX10/4X15-EB-025
MGX10/4X10-T-099	MGX10/4X15-T-060	MGX15/4X30-T-Z0_1	MGX10/4X10-ET-025
MGX10/4X10-T-094	MGX15/4X25-T-Z0_1	MGX15/4X55-B-Z0_4	MGX20/4X100-ET-001
MGX15/4X25-T-028	MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX15/4X20-B-Z0_1	MGX20/5X40-B-005
MGX10/4X20-EB-059	MGX10/4X25-T-Z0_1	MGX10/4X15-EB-029	MGX20/4X35-EB-012
MGX10/4X60-ET-004	MGX15/5X15-T-Z0_1	MGX20/5X40-T-Z0_1	MGX15/4X15-BR-002
MGX15/4X15-ET-013	MGX20/4X100-T-Z0_1	MGX15/4X55-T-Z0_1	MGX20/5X15-ET-004
MGX10/4X10-T-098	MGX20/4X100-T-017	MGX20/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X20-T-127
MGX15/5X20-T-042	MGX15/5X25-ET-008	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX15/4X25-B-015
MGX10/4X5-T-018	MGX15/4X50-EB-003	MGX20/5X35-ET-006	MGX15/4X25-B-012
MGX15/4X80-T-002	MGX15/4X15-B-Z0_1	MGX15/4X25-T-027	MGX10/4X10-T-015
MGX15/4X25-T-029	MGX15/4X35-T-Z0_1	MGX20/4X25-B-Z0_1	MGX10/4X10-T-096
MGX15/4X25-BR-002	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X10-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1
MGX20/4X50-B-023	MGX10/5X35-T-Z0_1	MGX15/4X25-T-Z0_1	MGX15/5X20-ET-016
MGX10/4X25-B-023	MGX20/5X50-T-Z0_1	MGX10/4X25-ET-033	MGX10/4X15-B-036
MGX20/5X60-EB-010	MGX15/5X40-B-Z0_1	MGX20/4X20-B-Z0_1	MGX15/4X20-T-Z0_1
MGX10/4X40-T-016	MGX15/5X20-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-083	MGX10/4X30-ET-040
MGX10/4X25-T-048	MGX20/5X10-T-Z0_2	MGX20/4X25-T-015	MGX20/4X35-B-008
MGX10/4X25-ET-033	MGX15/5X30-EB-013	MGX15/4X40-T-017	MGX20/4X25-T-027
MGX10/4X25-ET-039	MGX15/4X10-B-012	MGX20/4X30-B-Z0_1	MGX10/4X15-B-037
MGX15/4X20-EB-039	MGX20/4X25-B-Z0_1	MGX20/4X25-B-Z0_1	MGX10/4X15-B-054
MGX15/4X35-EB-020	MGX10/4X15-B-Z0_1	MGX15/4X20-B-Z0_1	MGX15/4X30-EB-023
MGX15/4X30-EB-025	MGX15/4X25-ET-014	MGX10/5X15-T-Z0_1	MGX15/5X20-EB-011
MGX15/4X25-ET-013	MGX10/5X20-T-Z0_1	MGX10/4X5-T-Z0_1	MGX20/4X85-B-002
MGX10/4X15-T-107	MGX15/5X15-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X35-B-005
MGX20/4X100-T-024	MGX15/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X15-B-056	MGX10/4X15-T-090
MGX10/4X40-T-017	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/4X20-T-071	MGX20/4X25-B-007
MGX15/5X30-T-021	MGX20/5X30-B-Z0_1	MGX10/4X15-B-Z0_1	MGX10/4X20-EB-053
MGX15/4X10-T-019	MGX10/4X10-T-091	MGX15/4X65-B-Z0_1	MGX20/4X45-ET-003
MGX10/4X10-T-104	MGX20/5X25-B-Z0_1	MGX10/4X5-T-Z0_1	MGX15/4X40-EB-002
MGX15/5X25-T-020	MGX15/5X20-T-Z0_1	MGX20/4X30-B-Z0_1	MGX10/4X20-TR-001
MGX15/4X20-T-072	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX20/4X20-EB-022	MGX15/4X15-T-029
MGX15/4X25-B-018	MGX10/4X10-T-Z0_2	MGX15/5X20-B-Z0_1	MGX10/4X5-T-012
MGX10/4X15-T-109	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX10/4X10-T-077
MGX10/4X30-EB-052	MGX15/5X20-T-Z0_1	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX20/4X35-T-009
MGX20/5X15-ET-014	MGX15/4X25-T-028	MGX10/4X25-B-020	MGX10/4X15-EB-047
MGX20/4X20-EB-024	MGX30/6X55-B-Z0_1	MGX10/4X20-T-122	MGX10/4X15-EBP-007
MGX15/4X20-ET-025	MGX10/4X25-T-Z0_1	MGX15/5X25-T-020	MGX15/4X10-EB-008
MGX10/4X15-T-110	MGX15/5X30-T-Z0_1	MGX15/4X15-T-Z0_9	MGX15/4X20-EB-042

MGX10/4X30-ET-007	MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-025	MGX10/4X20-T-018
MGX15/4X40-T-017	MGX20/4X45-T-Z0_1	MGX15/4X25-T-Z0_1	MGX20/5T
MGX20/5X45-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X15-EB-027	MGX10/4X5-T-015
MGX10/4X15-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X5-T-Z0_1	MGX15/5X25-T-Z0_1
MGX15/4X20-B-024	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X10-B-Z0_2	MGX20/5X15-T-008
MGX10/4X10-B-048	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX20/4X15-B-Z0_1	MGX15/5X30-B-Z0_4
MGX10/4X50-T-007	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/4X80-T-002	MGX10/4X10-B-Z0_1
MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX15/4X55-T-Z0_1	MGX15/4X80-T-Z0_1	MGX10/4X25-T-Z0_2
MGX10/5X15-T-Z0_4	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX15/4X15-B-014
MGX15/5X30-T-Z0_5	MGX20/5X65-T-Z0_1	MGX15/4X40-T-Z0_1	MGX20/4X45-T-Z0_1
MGX20/4X15-B-Z0_1	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-082
MGX15/4X55-B-Z0_4	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX20/4X80-ETR-001	MGX15/4X5-T-005
MGX20/4X25-T-029	MGX15/4X80-T-Z0_1	MGX10/4X30-T-038	MGX15/4X20-T-023
MGX10/4X20-EB-019	MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX15/4X10-B-Z0_1	MGX10/4X20-B-037
MGX20/5X30-T-018	MGX10/4X30-B-Z0_1	MGX15/4X25-T-Z0_1	MGX10/4X60-T-002
MGX20/4X50-T-033	MGX10/4X25-T-047	MGX10/4X10-T-099	MGX15/4X20-EB-037
MGX15/5X15-T-021	MGX15/5X10-T-Z0_1	MGX15/5X30-T-Z0_1	MGX10/4X10-T-018
MGX15/4X15-ET-013	MGX20/4X40-T-Z0_1	MGX20/4X45-T-Z0_1	MGX10/4X10-B-002
MGX20/5X25-B-Z0_1	MGX10/4X40-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X15-B-005
MGX15/5X10-T-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X5-ET-005
MGX10/5X10-T-Z0_2	MGX15/4X15-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-048
MGX10/5X30-T-Z0_1	MGX20/4X20-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X50-T-006
MGX20/4X25-B-Z0_1	MGX10/4X10-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X15-EB-048
MGX15/5X30-T-Z0_1	MGX10/4X5-T-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX20/5X15-EB-004
MGX10/4X45-B-Z0_1	MGX10/4X50-T-007	MGX10/4X35-B-Z0_3	MGX10/4X20-EB-059
MGX15/4X20-T-Z0_4	MGX20/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-108
MGX15/4X25-T-021	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX20/4X50-B-Z0_1	MGX20/5X10-B-004
MGX10/4X30-B-015	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X40-B-Z0_1	MGX10/4X25-EB-030
MGX10/4X20-T-018	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX10/4X30-B-Z0_1	MGX15/4X35-T-010
MGX10/4X5-T-018	MGX20/4X45-T-Z0_1	MGX10/4X40-T-016	MGX15/4X25-ETP-003
MGX10/4X20-T-111	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX10/4X25-ET-025	MGX15/5X40-ET-023
MGX10/4X15-B-Z0_1	MGX15/5X30-ET-010	MGX10/4X145-T-Z0_1	MGX20/4X25-T-015
MGX10/4X25-ET-020	MGX10/5X30-B-Z0_1	MGX15/4X25-ET-013	MGX15/5X20-EB-011
MGX20/4X25-ET-007	MGX10/4X25-B-Z0_1	MGX10/5X25-B-Z0_1	MGX20/4X35-B-008
MGX15/4X40-T-Z0_1	MGX20/5X40-T-Z0_1	MGX15/5X100-T-Z0_1	MGX20/4X25-T-027
MGX10/5X45-T-Z0_1	MGX15/5X20-T-Z0_1	MGX15/4X25-EB-026	MGX10/4X20-T-111
MGX10/4X25-T-Z0_1	MGX10/4X20-EB-051	MGX15/4X30-ET-025	MGX20/5X45-B-Z0_1
MGX20/4X10-T-008	MGX20/4X25-T-001	MGX10/5X20-B-Z0_1	MGX20/4X20-B-Z0_1
MGX10/4X20-EB-052	MGX20/5X30-T-Z0_1	MGX15/4X25-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1
MGX20/4X20-EB-014	MGX20/4X50-T-Z0_2	MGX10/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X20-B-Z0_1
MGX20/4X100-T-024	MGX10/4X30-T-039	MGX20/5X10-T-012	
MGX20/4X50-B-Z0_1	MGX15/4X30-T-Z0_4	MGX20/4X50-B-Z0_1	
MGX10/5X30-B-Z0_1	MGX10/4X5-T-021	MGX10/4X15-T-Z0_1	
MGX20/5X40-EB-011	MGX10/4X65-B-Z0_1	MGX20/4X25-T-Z0_1	
MGX15/4X40-T-Z0_1	MGX15/4X10-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	
MGX10/4X30-B-016	MGX10/4X30-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	
MGX10/4X25-EB-033	MGX15/4X25-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	
MGX20/4X35-B-Z0_2	MGX20/4X50-B-020	MGX10/4X15-T-Z0_1	
MGX20/4X25-ET-001	MGX10/4X30-ET-021	MGX10/4X15-T-Z0_1	
MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX20/4X50-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	
MGX20/4X40-T-Z0_1	MGX20/4X20-B-Z0_2	MGX10/4X15-T-Z0_1	
MGX15/4X30-T-Z0_1	MGX20/4X30-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	
MGX10/5X40-B-Z0_1	MGX20/4X100-T-Z0_1	MGX15/4X20-B-Z0_1	

MGX20/4X20-B-010	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/4X15-T-035
MGX15/4X75-T-003	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X15-T-Z0_1
MGX20/4X40-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX20/5X25-B-Z0_1
MGX10/4X25-T-Z0_14	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/5X35-T-Z0_1
MGX15/4X10-T-019	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X20-T-Z0_1
MGX15/4X30-B-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX20/5X10-T-Z0_2
MGX20/4X40-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX15/5X10-T-Z0_1
MGX20/5X30-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1
MGX20/4X50-T-Z0_2	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX10/4X15-B-055
MGX20/5X20-EB-006	MGX10/4X30-B-Z0_1	MGX15/4X30-T-Z0_1
MGX15/5X15-ET-006	MGX10/5X5-T-Z0_1	MGX10/5X25-T-Z0_1
MGX15/5X25-ET-010	MGX15/4X25-T-Z0_1	MGX15/5X20-T-Z0_1
MGX10/4X40-B-Z0_1	MGX10/4X30-ET-033	MGX20/4X35-B-Z0_1
MGX10/4X25-T-Z0_1	MGX20/5X15-ET-014	MGX30/5X50-B-Z0_1
MGX15/4X20-B-Z0_1	MGX15/4X20-T-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1
MGX10/5X10-T-Z0_1	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX10/4X25-T-Z0_1
MGX10/4X40-T-Z0_1	MGX15/4X15-B-Z0_1	MGX10/4X30-B-Z0_1
MGX10/4X20-TP-001	MGX15/4X15-T-Z0_1	MGX10/4X15-T-Z0_1
MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX15/4X20-B-Z0_1	MGX10/4X5-T-Z0_1
MGX20/4X40-T-Z0_1	MGX20/4X80-T-Z0_1	MGX10/4X30-B-Z0_1
MGX10/4X30-B-Z0_1	MGX10/4X10-T-Z0_1	MGX20/4X20-B-004
MGX15/4X25-T-Z0_1	MGX10/5X10-T-Z0_4	MGX10/4X35-EB-002
MGX10/4X15-T-Z0_1	MGX20/4X20-B-Z0_1	MGX20/4X25-B-001
MGX10/4X20-EB-049	MGX15/5X30-T-Z0_1	MGX10/4X5-T-Z0_1
MGX10/4X20-EB-055	MGX15/4X5-T-Z0_1	MGX15/4X30-T-Z0_1
MGX10/4X25-T-Z0_1	MGX20/4X50-T-037	MGX20/4X45-T-Z0_1
MGX20/4X30-B-Z0_1	MGX10/4X40-BP-001	MGX15/5X30-T-007
MGX20/4X25-B-Z0_1	MGX10/4X30-T-Z0_1	MGX10/4X25-B-Z0_1
MGX15/4X20-B-Z0_1	MGX15/4X30-B-Z0_1	MGX15/5X20-T-Z0_1
MGX10/4X40-T-Z0_1	MGX20/5X50-T-Z0_1	MGX10/4X20-T-Z0_1
MGX10/4X10-T-007	MGX10/4X10-B-Z0_1	MGX10/4X10-ET-023

Un traitement statistique a été appliqué à ces données. Le tableau 7.1-b présente les structures typiques pour les surfaces recherchées, par ordre décroissant du nombre d'occurrences. La nomenclature utilisée est celle de l'étude.

**Tableau 7.1-b. Structures typiques ayant une surface d'environ 400 m<sup>2</sup> et 800 m<sup>2</sup>. Y figurent les structures dont le nombre d'occurrences est supérieur à 10. Tableau issu du tableau 7.1-a**

Intervalles de surface	Code structure	Nombre d'occurrences
]300 m <sup>2</sup> ; 500 m <sup>2</sup> [	MG4x15x25-T	25
	MG4x20x20-B	16
	MG4x10x40-T	13
	MG5x15x30-T	13
]700 m <sup>2</sup> ; 900 m <sup>2</sup> [	MG4x20x50-T	13

## 7.1.2.Composition des éléments des MG4x15

Cette liste a été générée par Locabri. Dans l'étude, chaque pièce est identifiée par son « numéro de plan ». Dans la liste donnée par Locabri, certaines pièces n'avaient pas de numéro de plan. Pour l'étude, des numéros commençant par « XX » ont été attribués aux pièces sans numéro afin de pouvoir les identifier.

**Tableau 7.1-c. Liste des pièces des éléments de base des structures MG4x15.**

MGX15H4-CHP CHARPENTE DE BASE MG 15H4 - Nomenclature location					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100012	Axe Diam. 16x130 jonct/poteau	AB/MG	4	AT 017
Article	100013	Axe Diam. 16x200 platine	AB/MG	4	AT 015
Article	100009	Axe Diam.18x125 bracon/tirant	AB, MG	4	AT 016
Article	100008	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	MG 20h4 R/H5	8	AT 026
Article	100018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H		4	ES 018
Article	100016	Bracon/tirant 2m AB/MG	et MG 15 H 5	2	ES 016
Article	100034	Carré alu AB, MG 15, 20m		8	PI 027
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		12	AT 018
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		8	XX 000
Article	100045	Jonction faîtage grand modèle	AB/MG	2	ES 015
Article	100093	Panne alu 125*76 AB MG	10,15,20 m	7	ES 000
Article	500009	Piquet 840 mm AB, MG		16	XX 002
Article	100050	Platine 4 trous AB/MG		4	ES 013
Article	100102	Poteau 4m MG 15, 20m		4	PT 000
Article	100120	Traverse pignon 15 m AB/MG	/MG5 15m	4	TR 002
Article	100170	Tendeur toile de toit AB/MG 15	et 20 m	4	PM 234
Article	100171	Jonction barre tension AB	MG, MG 25/30 m	4	ES 040
Article	200045	Barre de tension AB,MG H 4	/H 5	2	ES 042
Article	100143	Serrage barre de charge en LP	AB/MG	4	AT 031
MGX15H4-CAB JEUX DE CABLES DE CVT MG 15H4 - Nomenclature location					

Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100012	Axe Diam. 16x130 jonct/poteau	AB/MG	-4	AT 017
Article	100152	Câble cvt latéral MG 15 m H 4		4	CB 005
Article	100150	Câble cvt faîtage AB/MG 15,20		2	CB 003
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		-4	AT 018
Article	100163	Piquet Diam.30 Lg 1260 mm	AB,MG,MD	16	XX 010
<b>ABX/MGX-TOI-15</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	200019	Toiture AB, MG 15m		1	TO 002
<b>MGX15H4-CCP-T CHARPENTE COMPL TOILEE MG 15H4 - Nomenclature location</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100012	Axe Diam. 16x130 jonct/poteau	AB/MG	2	AT 017
Article	100013	Axe Diam. 16x200 platine	AB/MG	2	AT 015
Article	100009	Axe Diam.18x125 bracon/tirant	AB, MG	2	AT 016
Article	100008	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	MG 20h4 R/H5	4	AT 026
Article	100018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H		2	ES 018
Article	100016	Bracon/tirant 2m AB/MG	et MG 15 H 5	1	ES 016
Article	100034	Carré alu AB, MG 15, 20m		4	PI 027
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		6	AT 018
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		4	XX 000
Article	100045	Jonction faîtage grand modèle	AB/MG	1	ES 015
Article	100093	Panne alu 125*76 AB MG	10,15,20 m	7	ES 000
Article	500009	Piquet 840 mm AB, MG		8	XX 002
Article	100050	Platine 4 trous AB/MG		2	ES 013
Article	100102	Poteau 4m MG 15, 20m		2	PT 000
Article	100124	Traverse std 15 m AB,MG H4/H5		2	TR 003
Article	100170	Tendeur toile de toit AB/MG 15	et 20 m	2	PM 234
Article	100171	Jonction barre tension AB	MG, MG 25/30 m	2	ES 040
Article	200045	Barre de tension AB,MG H 4	/H 5	2	ES 042
<b>MGX15H4-CCP-B CHARPENTE COMPL BARDEE MG 15H4 - Nomenclature location</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100012	Axe Diam. 16x130 jonct/poteau	AB/MG	2	AT 017
Article	100013	Axe Diam. 16x200 platine	AB/MG	2	AT 015
Article	100009	Axe Diam.18x125 bracon/tirant	AB, MG	2	AT 016
Article	100008	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	MG 20h4 R/H5	4	AT 026
Article	100018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H		2	ES 018
Article	100016	Bracon/tirant 2m AB/MG	et MG 15 H 5	1	ES 016
Article	100034	Carré alu AB, MG 15, 20m		4	PI 027
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		6	AT 018
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		4	XX 000

Article	100045	Jonction faîtage grand modèle	AB/MG	1	ES 015
Article	100093	Panne alu 125*76 AB MG	10,15,20 m	7	ES 000
Article	300038	Pièce de haut intermédiaire LP	MG 10,15,20	2	PM 214
Article	500009	Piquet 840 mm AB, MG		8	XX 002
Article	100129	Platine bardage 8 trous	MG H4/H5	2	ES 035
Article	100102	Poteau 4m MG 15, 20m		2	PT 000
Article	100124	Traverse std 15 m AB, MG H4/H5		2	TR 003
Article	100170	Tendeur toile de toit AB/MG 15	et 20 m	2	PM 234
Article	100171	Jonction barre tension AB	MG, MG 25/30 m	2	ES 040
Article	200045	Barre de tension AB, MG H 4	/H 5	2	ES 042

#### MGX15H4-PIG-T HABILLAGE PIGNON TOILE MG 15H4 - Nomenclature location

Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100009	Axe Diam.18x125 bracon/tirant	AB, MG	8	AT 016
Article	100008	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	MG 20h4 R/H5	-4	AT 026
Article	300168	Barre de charge 5m AB, MG	5, 10, 15, 20m - Grande	3	ES 237
Article	100018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H		-2	ES 018
Article	100016	Bracon/tirant 2m AB/MG	et MG 15 H 5	2	ES 016
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB, MG, MD		9	AT 018
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		-2	XX 000
Article	100085	Montant Lg 5025 mm	MG 15,20 m	2	ES 006
Article	300126	Pignon MG 15m/ 4m		1	XX 001
Article	500009	Piquet 840 mm AB, MG		6	XX 002
Article	100050	Platine 4 trous AB/MG		2	ES 013
Article	100143	Serrage barre de charge en LP	AB/MG	2	AT 031
Article	100142	Serrage barre de charge Pignon	AB/MG	4	AT 035

#### RTC-MGX15H4-CEP RIDEAU TOILE COUL MG 15H4 CEP - Nomenclature location

Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	300168	Barre de charge 5m AB, MG	5, 10, 15, 20m - Grande	1	ES 237
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		2	XX 000
Article	300131	Rideau coulissant MG 10,15,20m	hauteur 4 m	1	TO 416
Article	300128	Potence rideau coulissant	Mégatex 4 m	2	ES 236
Article	300129	Rail rideau coulissant MG 4	et 5 m	1	ES 240
Article	300105	Fermeture rideau coul MG H4		1	PM 202
Article	300477	Rallonge doublement RTC Pignon	H5	2	PM 516
Article	300491	Centre FP 15 RTC	AB-MG4-MG5	1	TO 309

#### MGX15H4-PIG-B HABILLAGE PIG BARDAGE MG 15H4 - Nomenclature location

Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	300002	Pilage Angle en tôle MG 10,15,	20m Lg 1920 mm	4	PL 400
Article	100013	Axe Diam. 16x200 platine	AB/MG	2	AT 015
Article	100009	Axe Diam.18x125 bracon/tirant	AB, MG	8	AT 016
Article	100008	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	MG 20h4 R/H5	-4	AT 026



Article	100018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H		-2	ES 018
Article	100016	Bracon/tirant 2m AB/MG	et MG 15 H 5	2	ES 016
Article	300017	Fausse pointe AB, MG 15m		1	TO 413
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		10	AT 018
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		-4	XX 000
Article	300021	Jambe de force MG 10,15,20m		3	ES 226
Article	100085	Montant Lg 5025 mm	MG 15,20 m	2	ES 006
Article	300030	Pièce haut angle D - LP	MGX	1	PM 213
Article	300041	Pièce haut angle D - PIG	MGX	2	PM 217
Article	300137	Pièce bardage haut G - LP	MGX	1	PM 215
Article	300140	Pièce de haut angle gauche	Pignon MG 10, 15, 20m	2	PM 216
Article	500009	Piquet 840 mm AB, MG		6	XX 002
Article	100050	Platine 4 trous AB/MG		-2	ES 013
Article	100129	Platine bardage 8 trous	MG H4/H5	4	ES 035
Article	200024	Ressort cintre		36	XX 009
Article	100146	Sandow embout basculant	lg 300 mm	2	XX 007
Article	300088	Tôle 4m MG/H4 10, 15, 20m		16	XX 003
Article	300004	U de 40*60*70*3 Lg. 5m	MG 4 15, 20m	6	PL 401
Article	901003	Vis AP Colorvis TH8 Diam5,5x27		24	XX 006
Article	901002	Vis AP Zacrovis TH8 Diam4,8x25		12	XX 005

#### PC4-MGXH4-PIG PORTAIL COUL 4 M MG H4 PIG - Nomenclature location

Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		5	XX 000
Article	300043	Platine Verrou Portail MG		1	PM 212
Article	300178	Guide D&G Portail MG 4m		2	ES 253
Article	300179	Potence inter FER PC4	Portail Mgx 4m	2	ES 251
Article	300180	Rail Portail Mégatex 4m		1	ES 252
Article	300181	Support de rail PC4	Portail Mgx 4m	1	ES 250
Article	300233	Vantail droit Portail coul 4 m	SANS TOLE	1	ES 283
Article	300234	Vantail gauche Portail coul 4m	SANS TOLE	1	ES 284
Article	100162	Piquet Diam.30 Lg 460 mm	AB,MG	4	XX 008
Article	200024	Ressort cintre		-8	XX 009
Article	300088	Tôle 4m MG/H4 10, 15, 20m	+TOLE DES VANTAILS	1	XX 003
Article	300004	U de 40*60*70*3 Lg. 5m	MG 4 15, 20m	-2	PL 401
Article	300482	Potence acier PC4 Pignon MGX	Elément portail coulissant	2	ES 335

#### MGX15H4-LGP-T HABILLAGE L-PAN TOILE MG 15H4 - Nomenclature location

Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100013	Axe Diam. 16x200 platine	AB/MG	-1	AT 015
Article	300168	Barre de charge 5m AB, MG	5, 10, 15, 20m - Grande	1	ES 237
Article	300116	Panneau fixe MG 10, 15, 20 m	H 4m	1	TO 400
Article	100143	Serrage barre de charge en LP	AB/MG	1	AT 031



MGX15H4-LGP-B HABILLAGE L-PAN BARD MG 15H4 - Nomenclature location					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	300088	Tôle 4m MG/H4 10, 15, 20m	MG 4 15, 20m	5	XX 003
Article	300004	U de 40*60*70*3 Lg. 5m		2	PL 401
Article	901003	Vis AP Colorvis TH8 Diam5,5x27		6	XX 006

### 7.1.3.Composition des éléments des MG4x20

Tableau 7.1-d. Liste des pièces des éléments de base des structures MG4x15.

MGX20H4 - CHARPENTE DE BASE					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100012	Axe Diam. 16x130 jonct/poteau	AB/MG	4	AT 017
Article	100013	Axe Diam. 16x200 platine	AB/MG	4	AT 015
Article	100009	Axe Diam.18x125 bracon/tirant	AB, MG	4	AT 016
Article	100008	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	MG 20h4 R/H5	8	AT 026
Article	100018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H	et MG 15 H 5	4	ES 018
Article	100016	Bracon/tirant 2m AB/MG		2	ES 016
Article	100034	Carré alu AB, MG 15, 20m		8	PI 027
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		12	AT 018
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		8	XX 000
Article	100045	Jonction faîtage grand modèle	AB/MG	2	ES 015
Article	100093	Panne alu 125*76 AB MG	10,15,20 m	9	ES 000
Article	500009	Piquet 840 mm AB, MG		16	XX 002
Article	100050	Platine 4 trous AB/MG		4	ES 013
Article	100102	Poteau 4m MG 15, 20m		4	PT 000
Article	100121	Traverse pignon AB, MG 20m		4	TR 004
Article	100170	Tendeur toile de toit AB/MG 15	et 20 m	4	PM 234
Article	100171	Jonction barre tension AB	MG, MG 25/30 m	4	ES 040
Article	200045	Barre de tension AB,MG H 4	/H 5	2	ES 042
Article	100143	Serrage barre de charge en LP	AB/MG	2	AT 031
MGX20H4 - CABLES					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100012	Axe Diam. 16x130 jonct/poteau	AB/MG	-4	AT 017
Article	100151	Câble cvt latéral MG 10,20 H4		4	CB 004
Article	100150	Câble cvt faîtage AB/MG 15,20		2	CB 003
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		-4	AT 018
Article	100093	Panne alu 125*76 AB MG	10,15,20 m	-2	ES 000
Article	100094	Panne alu 125*76 anneaux	AB/MG	2	ES 001
Article	100163	Piquet Diam.30 Lg 1260 mm	AB,MG,MD	16	XX 010
MGX20H4 - TOITURE					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	200020	Toiture AB, MG 20m		1	TO 003

<b>MGX20H4 - CHARPENTE COMPLEMENTAIRE TOILEE</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100012	Axe Diam. 16x130 jonct/poteau	AB/MG	2	AT 017
Article	100013	Axe Diam. 16x200 platine	AB/MG	2	AT 015
Article	100008	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	MG 20h4 R/H5	6	AT 026
Article	100018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H		2	ES 018
Article	100034	Carré alu AB, MG 15, 20m		4	PI 027
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		4	AT 018
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		6	XX 000
Article	100093	Panne alu 125*76 AB MG	10,15,20 m	9	ES 000
Article	100045	Jonction faîtage grand modèle	AB/MG	1	ES 015
Article	500009	Piquet 840 mm AB, MG		8	XX 002
Article	100050	Platine 4 trous AB/MG		2	ES 013
Article	100102	Poteau 4m MG 15, 20m		2	PT 000
Article	100110	Tirant Mégatex 20m H 5m		1	ES 021
Article	100127	Traverse std AB, MG 20m		2	TR 005
Article	100170	Tendeur toile de toit AB/MG 15	et 20 m	2	PM 234
Article	100171	Jonction barre tension AB	MG, MG 25/30 m	2	ES 040
Article	200045	Barre de tension AB,MG H 4	/H 5	2	ES 042
<b>MGX20H4 - PIGNON TOILEE</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100009	Axe Diam.18x125 bracon/tirant	AB, MG	12	AT 016
Article	100008	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	MG 20h4 R/H5	-4	AT 026
Article	300167	Barre de charge 2,5 m AB, MG	20m - Petite	2	ES 238
Article	300219	Barre de charge 4,7 m AB,MG	20 m	1	ES 244
Article	300168	Barre de charge 5m AB, MG	5, 10, 15, 20m - Grande	2	ES 237
Article	100018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H		-2	ES 018
Article	100016	Bracon/tirant 2m AB/MG	et MG 15 H 5	2	ES 016
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		15	AT 018
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		-2	XX 000
Article	100085	Montant Lg 5025 mm	MG 15,20 m	2	ES 006
Article	100087	Montant Lg 5655 mm	MG 20m	2	ES 007
Article	300127	Pignon MG 20 m / 4m		1	XX 012
Article	500009	Piquet 840 mm AB, MG		12	XX 002
Article	100050	Platine 4 trous AB/MG		4	ES 013
Article	100143	Serrage barre de charge en LP	AB/MG	4	AT 031
Article	100142	Serrage barre de charge Pignon	AB/MG	6	AT 035
<b>MGX20H4 - HABILLAGE LONG PAN TOILE</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100013	Axe Diam. 16x200 platine	AB/MG	-1	AT 015
Article	300168	Barre de charge 5m AB, MG	5, 10, 15, 20m - Grande	1	ES 237
Article	300116	Panneau fixe MG 10, 15, 20 m	H 4m	1	TO 400

Article	100143	Serrage barre de charge en LP	AB/MG	1	AT 031
<b>MGX20H4 - PORTAIL RIDEAU COULISSANT</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		2	XX 000
Article	300116	Panneau fixe MG 10, 15, 20 m	H 4m	-1	TO 400
Article	100172	Reprise ouvrant et chéneau	en L-pan AB/MG	2	ES 041
Article	300131	Rideau coulissant MG 10,15,20m	hauteur 4 m	1	TO 416
Article	300129	Rail rideau coulissant MG 4	et 5 m	1	ES 240
Article	300105	Fermeture rideau coul MG H4		1	PM 202
<b>MGX20H4 - CHARPENTE COMPLEMENTAIRE BARDEE</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100012	Axe Diam. 16x130 jonct/poteau	AB/MG	2	AT 017
Article	100013	Axe Diam. 16x200 platine	AB/MG	2	AT 015
Article	100008	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	MG 20h4 R/H5	6	AT 026
Article	100018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H		2	ES 018
Article	100034	Carré alu AB, MG 15, 20m		4	PI 027
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		4	AT 018
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		6	XX 000
Article	100093	Panne alu 125*76 AB MG	10,15,20 m	9	ES 000
Article	100045	Jonction faîtage grand modèle	AB/MG	1	ES 015
Article	300038	Pièce de haut intermédiaire LP	MG 10,15,20	2	PM 214
Article	500009	Piquet 840 mm AB, MG		8	XX 002
Article	100129	Platine bardage 8 trous	MG H4/H5	2	ES 035
Article	100102	Poteau 4m MG 15, 20m		2	PT 000
Article	100110	Tirant Mégatex 20m H 5m		1	ES 021
Article	100127	Traverse std AB, MG 20m		2	TR 005
Article	100170	Tendeur toile de toit AB/MG 15	et 20 m	2	PM 234
Article	100171	Jonction barre tension AB	MG, MG 25/30 m	2	ES 040
Article	200045	Barre de tension AB,MG H 4	/H 5	2	ES 042
<b>MGX20H4 PIGNON BARDEE</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	300002	Pliage Angle en tôle MG 10,15,	20m Lg 1920 mm	4	PL 400
Article	100013	Axe Diam. 16x200 platine	AB/MG	4	AT 015
Article	100009	Axe Diam.18x125 bracon/tirant	AB, MG	12	AT 016
Article	100008	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	MG 20h4 R/H5	-4	AT 026
Article	100018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H		-2	ES 018
Article	100016	Bracon/tirant 2m AB/MG	et MG 15 H 5	2	ES 016
Article	300018	Fausse pointe AB, MG 20m		1	TO 408
Article	100001	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD		20	AT 018
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		-4	XX 000
Article	300021	Jambe de force MG 10,15,20m		3	ES 226
Article	100085	Montant Lg 5025 mm	MG 15,20 m	2	ES 006

Article	100087	Montant Lg 5655 mm	MG 20m	2	ES 007
Article	300030	Pièce de haut angle droit Lg-p	MG 10, 15, 20m	1	PM 213
Article	300041	Pièce de haut angle droit Pig	MG 10,15,20m	3	PM 217
Article	300137	Pièce de haut angle gauche	e Long pan MG 10, 15, 20m	1	PM 215
Article	300140	Pièce de haut angle gauche	Pignon MG 10, 15, 20m	3	PM 216
Article	500009	Piquet 840 mm AB, MG		12	XX 002
Article	100050	Platine 4 trous AB/MG		-2	ES 013
Article	100129	Platine bardage 8 trous	MG H4/H5	6	ES 035
Article	200024	Ressort cintre		46	XX 009
Article	100146	Sandow embout basculant	lg 300 mm	2	XX 007
Article	300088	Tôle 4m MG/H4 10, 15, 20m		22	XX 004
Article	300004	U de 40*60*70*3 Lg. 5m	MG 4 15, 20m	4	PL 401
Article	300101	U jaune 70*60*40* - Lg 2.5 m	MG 10,15,20 m	4	XX 011
Article	901003	Vis AP Colorvis TH8 Diam5,5x27		36	XX 006
Article	901002	Vis AP Zacrovis TH8 Diam4,8x25		12	XX 005
Article	300472	U Bard 70x60x40 lg 4.65 m	centre pignon 20 m MG H 4	2	PL 407
<b>MGX20H4 - LONG PAN BARDEE</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	300088	Tôle 4m MG/H4 10, 15, 20m		5	XX 004
Article	300004	U de 40*60*70*3 Lg. 5m	MG 4 15, 20m	2	PL 401
Article	901003	Vis AP Colorvis TH8 Diam5,5x27		6	XX 006
<b>MGX20H4 - PORTAIL COULISSANT</b>					
Type	N°	Désignation	Désignation 2	Quantité	N° de plan
Article	100002	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD		5	XX 000
Article	300043	Platine Verrou Portail MG		1	PM 212
Article	300178	Guide D&G Portail MG 4m		2	ES 253
Article	300179	Potence inter FER PC4	Portail Mgx 4m	2	ES 251
Article	300180	Rail Portail Mégatex 4m		1	ES 252
Article	300181	Support de rail PC4	Portail Mgx 4m	1	ES 250
Article	300233	Vantail droit Portail coul 4 m	SANS TOLE	1	ES 283
Article	300234	Vantail gauche Portail coul 4m	SANS TOLE	1	ES 284
Article	100162	Piquet Diam.30 Lg 460 mm	AB,MG	4	XX 008
Article	200024	Ressort cintre		-8	XX 009
Article	300088	Tôle 4m MG/H4 10, 15, 20m	+ TOLE DES VANTAILS	1	XX 004
Article	300004	U de 40*60*70*3 Lg. 5m	MG 4 15, 20m	-2	PL 401
Article	300076	Potence fer nue PC4-MG	Portail Mégatex	2	ES 345
Article	300481	Fixation potence courte		6	PM 246

### 7.1.4.Liste des pièces de base

Le tableau 7.1-e présente la masse et le type de toutes les pièces nécessaires à la formation des éléments de base des structures MG4x15 et MG4x20.

Les masses ont été évaluées de différentes manières.

- Certaines pièces possèdent une fiche technique qui indique leur masse.
- D'autres pièces possèdent une fiche technique qui n'indique pas la masse. Ces fiches possèdent un plan, à partir duquel il est possible de calculer le volume des pièces. Connaissant le type de matériaux, il a été possible d'en déduire la masse.
- La masse de certaines pièces a pu être extrapolée à partir de la masse de pièces similaires.
- Pour certaines pièces, le personnel de Locabri a fourni la masse.
- Il a été possible de négliger la masse de certaines pièces dont aucune information n'était disponible et qui ont une masse très faible.

**Tableau 7.1-e. Liste des pièces de base nécessaire aux structures MG4x15 et MG4x20.**

N° de plan	Nom	Masse	Matériaux	Source
AT 015	Axe Diam. 16x200 platine	0,32	acier	Locabri - fiche technique
AT 016	Axe Diam.18x125 bracon/tirant	0,26	acier	Locabri - fiche technique
AT 017	Axe Diam. 16x130 jonct/poteau	0,21	acier	Locabri - fiche technique
AT 018	Goupille Bêta Diam.04 AB,MG,MD	0,014	acier	Locabri
AT 026	Axe Diam. 30x180 bracon/tirant	3,925	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
AT 031	Serrage barre de charge en LP	0,495	acier	Locabri
AT 035	Serrage barre de charge Pignon	0,495	acier	Pièce similaire à la pièce AT 031
CB 003	Câble cvt faîtage AB/MG 15,20	7	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
CB 004	Câble cvt latéral MG 10,20 H4	5	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
CB 005	Câble cvt latéral MG 15 m H 4	3	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 000	Panne alu 125*76 AB MG	15,5	aluminium	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 001	Panne alu 125*76 anneaux	15,5	aluminium	Calcul à partir de la masse des pièces ES 000, AT 012, AT013, AT 019 et des donénes de la fiche technique
ES 006	Montant Lg 5025 mm	45,14	aluminium	Locabri - fiche technique
ES 007	Montant Lg 5655 mm	50,84	aluminium	Extrapolation à partir de la pièce ES 006
ES 013	Platine 4 trous AB/MG	9,74	acier	Locabri - fiche technique
ES 015	Jonction faîtage grand modèle	14,02	acier	Locabri - fiche technique
ES 016	Bracon/tirant 2m AB/MG	10,59	acier	Locabri - fiche technique
ES 018	Bracon Lg 2282 mm MG H4 R MG H	13,79	aluminium	Locabri - fiche technique
ES 021	Tirant Mégatex 20m H 5m	16,8	aluminium	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 035	Platine bardage 8 trous	19,89	acier	Locabri - fiche technique
ES 040	Jonction barre tension AB	10	acier	Extrapolation à partir d'autres pièces de type "barre tension"
ES 041	Reprise ouvrant et chéneau	3,2	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 042	Barre de tension AB,MG H 4	9,68	aluminium	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 208	Potence gauche Porte Piétonne	17,97	acier	Locabri - fiche technique
ES 209	Potence droite Porte Piétonne	17,97	acier	Locabri - fiche technique
ES 226	Jambe de force MG 10,15,20m	4,86	acier	Locabri - fiche technique
ES 236	Potence rideau coulissant	20	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la

fiche technique				
ES 237	Barre de charge 5m AB, MG	11,44	acier	Locabri - fiche technique
ES 238	Barre de charge 2,5 m AB, MG	5,9	acier	Extrapolation à partir de la pièce ES 037
ES 240	Rail rideau coulissant MG 4	15,13	acier	Locabri - fiche technique
ES 244	Barre de charge 4,7 m AB, MG	10,5	acier	Extrapolation à partir de la pièce ES 037
ES 250	Support de rail PC4	14,2	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 251	Potence inter FER PC4	18,75	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 252	Rail Portail Mégatex 4m	25	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 253	Guide D&G Portail MG 4m	12,4	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 279	Porte piét. anti-panique	10	aluminium	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 283	Vantail droit Portail coul 4 m	120	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 284	Vantail gauche Portail coul 4m	120	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
ES 335	Potence acier PC4 Pignon MGX	25	acier	Extrapolation à partir de la pièce ES 251
ES 345	Potence fer nue PC4-MG	13,73	acier	Locabri - fiche technique
PI 027	Carré alu AB, MG 15, 20m	0,14	aluminium	Locabri - fiche technique
PL 400	Pliage Angle en tôle MG 10,15,	5,64	acier	Locabri - fiche technique
PL 401	U de 40*60*70*3 Lg. 5m	20	tôle	Locabri - fiche technique
PL 407	U Bard 70x60x40 lg 4.65 m	18,6	acier	Extrapolation à partir de la pièce PL 401
PM 202	Attache amovible lisse montant	17	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
PM 212	Platine Verrou Portail MG	1,2	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
PM 213	Pièce haut angle D - LP	2,35	acier	Locabri - fiche technique
PM 214	Pièce de haut intermédiaire LP	2,35	acier	Pièces similaires à la pièce PM 215
PM 215	Pièce bardage haut G - LP	2,35	acier	Locabri - fiche technique
PM 216	Pièce de haut angle gauche	2,35	acier	Locabri - fiche technique
PM 217	Pièce haut angle D - PIG	2,35	acier	Locabri - fiche technique
PM 234	Tendeur toile de toit AB/MG 15	2,84	acier	Locabri - fiche technique
PM 246	Fixation potence courte	0,42	acier	Locabri - fiche technique
PM 516	Rallonge doublement RTC Pignon	0,43	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
PT 000	Poteau 4m MG 15, 20m	49,97	aluminium	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
TO 002	Toit AB/MG 15m	52,81	toile 602	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
TO 003	Toiture AB, MG 20m	69,22	toile 602	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
TO 309	Centre FP 15 RTC	6,02	toile 602	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
TO 400	Panneau fixe MG	11,5	toile 502	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
TO 408	Fausse pointe AB, MG 20m	23,46	toile 602	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
TO 413	Fausse pointe AB, MG 15m	13,55	toile 602	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
TO 416	Rideau pignon	11,5	toile 502	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
TO PM 009	Profil plastique de liaison	n/a	plastique	Masse considérée comme négligeable
TR 002	Traverse pignon 15 m AB/MG	74,55	aluminium	Locabri - fiche technique

TR 003	Traverse std 15 m AB, MG H4/H5	64,94	aluminium	Locabri - fiche technique
TR 004	Traverse pignon AB, MG 20m	164,44	aluminium	Extrapolation à partir de la pièce TR 002
TR 005	Traverse std AB, MG 20m	145,1	aluminium	Extrapolation à partir de la pièce TR 003
U 001	U vert 70*40*40 - Lg 1000 mm	2	tôle	Calcul à partir des dimensions (épaisseur supposée : 1,7 mm)
XX 000	Goupille Bêta Diam.06 MG ,MD	0,021	acier	Extrapolation à partir de la pièce AT018
XX 001	Pignon MG 15m/ 4m	48,06	toile	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
XX 002	Piquet 840 mm AB, MG Diam 30mm	4,66	acier	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
XX 003	Tôle 4m MG/H4 - 3820mm	27,4276	tôle	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique
XX 004	Tôle 1000TS - H1805 dessus PP	27,4276	tôle	Similaire à la pièce XX 003
XX 005	Vis AP Zacrovis TH8 Diam4,8x25	0,006	acier	Locabri
XX 006	Vis AP Colorvis TH8 Diam5,5x27	0,003	acier	Locabri
XX 007	Sandow embout basculant	n/a	acier	Masse considérée comme négligeable
XX 008	Piquet Diam.30 Lg 460 mm	2,55	acier	Calcul à partir des dimensions
XX 009	Ressort cintre	n/a	acier	Masse considérée comme négligeable
XX 010	Piquet Diam.30 Lg 1260 mm	6,99	acier	Calcul à partir des dimensions
XX 011	U jaune 70*60*40* - Lg 2.5 m	10	acier	Extrapolation à partir de la pièce PL 401
XX 012	Pignon MG 20 m / 4m	115,24	Toile 502	Calcul à partir des dimensions figurant sur la fiche technique

A partir du tableau 7.1-c, du tableau 7.1-d et tableau 7.1-e, il est possible de construire les matrices de composition des MG4x15 et MG4x20 (pour cela, on rappelle qu'il faut intégrer les ouvrants aux éléments pignons).

### 7.1.5. Consommation des machines outils utilisées par Locabri

Lorsque le client ne peut mettre à disposition ses propres engins, les machines outils sont louées par Locabri. L'un des loueurs récurrents est l'entreprise Loxam. Les factures émises par Loxam précisent le type d'engin loué et la durée. Sur la plupart d'entre-elles figure également la quantité de carburant facturée. Cette quantité traduit la consommation en carburant des machines.

Les données du tableau 7.1-f sont issues des factures émises par Loxam pour des locations ayant eu lieu en novembre et décembre 2011. Les machines outils ont été regroupées en trois catégories : les chariots élévateurs, les chariots télescopiques ou « manusco », les nacelles.

**Tableau 7.1-f. Données issues des factures émises par Loxam pour des locations de machines outils ayant eu lieu en novembre et décembre 2011. Nombre de factures consultées : 59.**

type de machine	nombre de jours de location	consommation de carburant (L)
chariot télescopique	16	95
chariot télescopique	3	26
chariot télescopique	3	13
nacelle	1	18
nacelle	2	13
chariot télescopique	3	28
nacelle	2	7

chariot télescopique	2	40
nacelle	2	27
chariot élévateur	1	15
chariot élévateur	2	14
chariot élévateur	1	23
chariot télescopique	2	11
chariot télescopique	1	12
chariot élévateur	1	12
chariot télescopique	4	84
nacelle	1	5
chariot élévateur	1	15
nacelle	10	27
nacelle	1	5
nacelle	2,5	10
nacelle	1	9
chariot élévateur	1	8
chariot télescopique	11	95
chariot télescopique	1	19
chariot élévateur	1	21
nacelle	7	24
chariot télescopique	7	47
chariot télescopique	1	8
chariot élévateur	1	10
chariot élévateur	4	17
chariot élévateur	1	6
chariot télescopique	1	5
nacelle	3,5	12
chariot élévateur	4	42
chariot élévateur	1	19
chariot télescopique	1,5	25
chariot élévateur	1	8
chariot élévateur	9	51
chariot élévateur	1	4
chariot élévateur	1	10
chariot télescopique	5	41
nacelle	5	25
nacelle	2	9
nacelle	1	6
nacelle	2	9
nacelle	10	68
chariot élévateur	2,5	53
chariot télescopique	1,5	5
nacelle	1	8
chariot télescopique	15	49
nacelle	3	9
chariot élévateur	1	17
chariot élévateur	1	9
chariot élévateur	1	17
chariot télescopique	2	19
chariot télescopique	1	23
chariot télescopique	1	11
nacelle	2	7

Le tableau 7.1-g montre les consommations journalières moyennes par catégorie de machines outils évaluées à partir des données figurant dans le tableau 7.1-f.



**Tableau 7.1-g. Consommations journalières moyennes des principaux types de machines outils louées auprès de Loxam**

<b>type de machine</b>	<b>consommation journalière moyenne (L/jours)</b>	<b>nombre de factures</b>
chariot élévateur	12	20
chariot télescopique	10	20
nacelle	6,1	19

## 7.2. Données et modèles afférents aux tournées

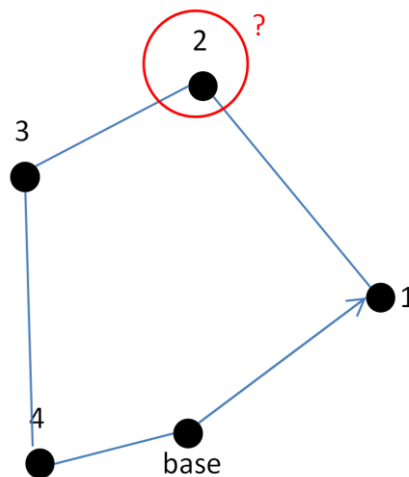
### 7.2.1. Modélisation du transport en tournée

La pose et la dépose d'une structure sont effectuées par des équipes au cours de tournées hebdomadaires. Au début d'une tournée, l'équipe affectée à la tournée reçoit un plan de route (pose de telle structure à tel endroit, dépose à tel endroit, etc.), et le camion est chargé en fonction. A la fin de la tournée, une certaine quantité de carburant a été consommée. L'objectif de la modélisation est d'arriver à allouer une part de cette consommation à une pose ou une dépose particulière, en fonction de sa localisation géographique et du type de structure.

#### 7.2.1.1. Définition du problème

Voici comment le problème peut être posé. Soit un camion se rendant dans  $N$  points depuis son entrepôt. Pour cela, il effectue une tournée : il part de sa base, passe par les  $N$  points, puis rentre à sa base. La tournée est « optimisée », c'est-à-dire que l'ordre de passage est choisi afin de minimiser la distance à parcourir.

Soit  $k$  un point choisi aléatoirement parmi les  $N$  points d'arrêt. Quelle est la part de carburant qui est due à la prestation  $k$  ?



La seule consommation de carburant mesurable est la consommation de la tournée entière,  $C_{\text{tournée}}$ . La quantité de carburant que l'on souhaite calculer est une grandeur abstraite : la prestation  $k$  n'a pas, à elle seule, engendrée de consommation. C'est à cause de la prestation  $k$  et des autres qu'il y a eu consommation de carburant.

#### 7.2.1.2. Définir une règle d'allocation

Il s'agit donc d'allouer de manière abstraite une partie de la consommation ( $C_k$ ) à la prestation  $k$ . Une allocation est forcément liée au choix arbitraire d'une règle d'allocation. La seule condition objective de conception d'une règle d'allocation est que « la somme de toutes les consommations allouées doit valoir la consommation réelle générée par la tournée » (condition 1). Nous allons d'abord supposer qu'il n'y a pas de

chargement/déchargement aux points d'arrêt (pas de variation de charge donc pas d'allocation massique), et que « toutes les prestations se valent » (pas d'allocation économique).

La règle d'allocation la plus basique consiste à partager équitablement la consommation entre les N prestations. La consommation allouée à k est donc :

$$C_k = \frac{C_{\text{tournée}}}{N}$$

### 7.2.1.3. Allocation dépendante de la distance

On peut également vouloir concevoir une règle dépendant des distances. La consommation allouée à une prestation effectuée proche d'un entrepôt doit être plus faible que celle d'une prestation effectuée loin de l'entrepôt (condition 2).

Une règle respectant (1) et (2) peut s'exprimer ainsi :

$$C_k = C_{\text{tournée}} * f(D_k)$$

où f est une fonction de  $\{D_i\}$  dans R, telle que (pour tout A et B de  $\{D_i\}$ ,  $A > B \Rightarrow f(A) > f(B)$ ) et  $(\sum_k f(D_k) = 1)$ .

Il est suffisant de définir la règle suivante :

$$C_k = C_{\text{tournée}} * \frac{D_k}{\sum_i D_i}$$

En supposant que N et les  $D_i$  sont tous indépendants entre eux, on obtient une évaluation de la consommation moyenne d'une prestation située à la distance  $D_k$  :

$$C_k = c * D_k * \frac{D_{\text{tournée}}}{N_{\text{moy}} * D_{\text{moy}}} \text{ où}$$

- c est la consommation moyenne des camions,
- $D_{\text{tournée}}$  la distance moyenne effectuée lors d'une tournée,
- $N_{\text{moy}}$  le nombre moyen de prestation effectuée lors d'une tournée,
- $D_{\text{moy}}$  la distance moyenne d'une prestation.

En réalité, l'hypothèse d'indépendance n'est pas tout à fait vérifiée : il est probable que, plus une prestation est située loin de la base, plus la tournée est longue.

### 7.2.1.4. Allocation dépendante de la distance et de la masse

Pour chaque prestation i, la masse de la structure que le camion doit livrer ou récupérer est  $M_i$ . La masse du camion à vide est  $M_{\text{camion}}$ . La condition (2) se réécrit ainsi : à distance égale, la part allouée à une prestation est d'autant plus grande que la masse chargée / déchargée à cette prestation k est grande ; à masse égale, la part allouée est d'autant plus grande que la distance est grande.

Une forme générale est :

$$C_k = C_{\text{tournée}} * f(D_k; M_k)$$

où f est une fonction définie sur l'ensemble  $\{D_i; M_i\}$ , telle que (pour tout (A ; B) et (C ; D) de  $\{D_i; M_i\}$ ,  $A > C \Rightarrow f(A ; B) > f(C ; B)$  et  $B > D \Rightarrow f(A ; B) > f(A ; D)$ ) et  $(\sum_k f(D_k; M_k) = 1)$ .

On choisit la règle suivante :

$$C_k = C_{\text{tournée}} * \frac{D_k * M_k}{\sum_i D_i * M_i}$$

En supposant toutes ces variables indépendants, on a, avec des valeurs moyennes :

$$C_k = c * D_{\text{tournee}} * \frac{D_k * M_k}{N_{\text{moy}} * D_{\text{moy}} * M_{\text{moy}}} \text{ où}$$

- $M_{\text{moy}}$  est la masse moyenne posée ou déposée lors d'une tournée.

La formule peut se réécrire :

$$C_k = c * D_k * M_k * \frac{D_{\text{tournee}}}{N_{\text{moy}} * D_{\text{moy}} * M_{\text{moy}}}$$

A  $M_k$  (resp.  $D_k$ ) constant, la part de carburant allouée à  $k$  est une fonction linéaire de la distance  $D_k$  (resp. de la masse  $M_k$ ).

### 7.2.1.5. Prise en compte des prestations hors pose / dépose

Avec la formule précédente, la part allouée à une prestation pour laquelle il n'y a ni chargement ni déchargement de matière est nulle. Or on souhaiterait allouer tout de même une quantité de carburant à ces prestations.

On va alors introduire la masse du camion à vide  $M_{\text{camion}}$ . Chaque prestation, avec ou sans chargement/déchargement, mobilise une partie de cette masse de camion  $M_{\text{camion}}/N$ . On remplace donc  $M_i$  par  $M_{\text{camion}}/N + M_i$  :

$$C_k = C_{\text{tournee}} * \frac{D_k * \left( \frac{M_{\text{camion}}}{N} + M_k \right)}{\sum_i D_i * \left( \frac{M_{\text{camion}}}{N} + M_i \right)}$$

En supposant toutes ces variables indépendants, on a, avec des valeurs moyennes :

$$C_k = c * D_{\text{tournee}} * \frac{D_k * \left( \frac{M_{\text{camion}}}{N_{\text{moy}}} + M_k \right)}{N_{\text{moy}} * D_{\text{moy}} * \left( \frac{M_{\text{camion}}}{N_{\text{moy}}} + M_i \right)}$$

La formule peut se réécrire :

$$C_k = c * D_k * \left( M_k + \frac{M_{\text{camion}}}{N_{\text{moy}}} \right) * \frac{D_{\text{tournee}}}{D_{\text{moy}} * (M_{\text{camion}} + N_{\text{moy}} * M_{\text{moy}})}$$

On note cette formule Carburant(D ;M). Cette fois-ci, à  $D_k$  constant, la part de carburant allouée à  $k$  est une fonction affine de la masse  $M_k$ . Dans le calcul de  $M_{\text{moy}}$ , il faut bien veiller à inclure les « masses nulles » des prestations sans chargement/déchargement.

## 7.2.2.Distance moyenne d'une tournée

Le tableau 7.2-a présente les relevés des compteurs kilométriques des onze camions de Locabri effectués en 2011. Ces relevés sont effectués à la fin de chaque semaine.

**Tableau 7.2-a. Relevé des compteurs kilométriques des onze camions de Locabri.**  
Ces relevés portent sur l'année 2011. Le premier relevé a été effectué la semaine 52 de 2010, le dernier a été effectué la semaine 51 de 2011.

Camion	Sem 52	Sem 01	Sem 02	Sem 03
1	328585	328585	328585	328907

2	942968	943870	944756	945624
3	776021	777323	777761	778580
4	805564	807001	807001	807001
5	946095	947951	947951	949552
6	602487	603689	604495	604495
7	791402	791402	791804	791804
8	699459	700300	702559	702559
9	712894	712894	712894	713420
10	661405	661841	662592	663037
11	740691	741562	742559	743829
<b>Camion</b>	<b>Sem 04</b>	<b>Sem 05</b>	<b>Sem 06</b>	<b>Sem 07</b>
1	328907		329115	329118
2	945807		946569	947919
3	779809		783266	783266
4	807759		808179	808179
5	950894		952558	952983
6	605555		607940	608956
7	793148			796776
8	704367	704367	704385	704409
9	715155		718019	718021
10	664052		665791	666609
11	743829		744526	746239
<b>Camion</b>	<b>Sem 08</b>	<b>Sem 09</b>	<b>Sem 10</b>	<b>Sem 11</b>
1	329118	329689	330115	330115
2	947919		949018	949018
3		783596	784322	785587
4	808179	809608	810379	811338
5	954686	956808	957483	957933
6	610601	612230	612230	614259
7	796777	797960	799072	799666
8	704456	705182	706507	707584
9	720223	720917	720917	720920
10	666618	667675	668282	668330
11	747047	748739	748786	749278
<b>Camion</b>	<b>Sem 12</b>	<b>Sem 13</b>	<b>Sem 14</b>	<b>Sem 15</b>
1	331632	331896	332376	333962
2	950125	950732	950732	951409
3	786821	787338	787745	788503
4	812772	814450	815960	815965
5	959697	960616	961068	961347
6	615406	616532	617875	619460
7	799933	800993	802752	803588
8	709479	711054	712042	712042
9	721459	721495	721898	721898
10	668984	670270	671654	673036
11	749316	751117	752810	752822
<b>Camion</b>	<b>Sem 16</b>	<b>Sem 17</b>	<b>Sem 18</b>	<b>Sem 19</b>
1	333963	335076		335189
2	952232	952560		953333
3	788648	789369		790721
4	817535	818601		820994
5	962926	963402		965836
6	619786	620275		621829
7	803591	803592		803592
8	712189	713868		715483
9	722606	723781		726037
10	674505	674505		676142
11	752822	753172		756824
<b>Camion</b>	<b>Sem 20</b>	<b>Sem 21</b>	<b>Sem 22</b>	<b>Sem 23</b>
1	335189	335189	335915	336176
2	954368	954438	954572	955235
3	792226	792226	793619	793883

4	822235	822235	824252	825942
5	966430	966861	968203	968205
6	621893	621893	622612	624319
7	805054	805055	806085	806972
8	715483	716673	716684	718097
9	727389	727389	728151	728759
10	676516	676516	676718	678351
11	756824	758262	758262	759062
<b>Camion</b>	<b>Sem 24</b>	<b>Sem 25</b>	<b>Sem 26</b>	<b>Sem 27</b>
1	336734	337197	337212	337860
2	956485	956648	957673	958449
3	793933	794853	796388	797275
4	827053	828102	829637	830933
5	970110	ABS	ABS	ABS
6	624785	626075	626808	627723
7	808206	811030	811033	812379
8	719632	721131	722983	723913
9	728765	729457	730827	731029
10	679849	681204	681372	681448
11	759438	759438	759536	760040
<b>Camion</b>	<b>Sem 28</b>	<b>Sem 29</b>	<b>Sem 30</b>	<b>Sem 31</b>
1	337919	339195	339274	339339
2	959017	960453	960625	960831
3			797906	798014
4	830934	832736	833507	835490
5	974423	974423	974453	974453
6	628991		630685	631974
7	812452	812452	813835	
8	724975	725712	726229	726605
9	731089		734867	734869
10	681709	681928		
11	761391	761393	761440	763117
<b>Camion</b>	<b>Sem 32</b>	<b>Sem 33</b>	<b>Sem 34</b>	<b>Sem 35</b>
1		341422		341769
2		963220	964231	964620
3		798125	799162	799230
4		837516	839496	841390
5		976602	978714	979153
6		634192	635047	637200
7		816736	816740	817730
8		727462	727961	729854
9		735001	735526	736398
10		685136	686281	686541
11		764787	764788	766468
<b>Camion</b>	<b>Sem 36</b>	<b>Sem 37</b>	<b>Sem 38</b>	<b>Sem 39</b>
1	342467	342469	342509	343024
2	965374	966053	966484	966822
3	800362	801296	802361	803998
4	843044	843906	845023	846062
5	981459	981669	983681	983894
6	637227	637227	637227	637227
7	818549	819931	821263	822518
8	730018	730019	731629	732156
9	738091	738170	740063	741439
10	687992	689203	690179	692225
11	767760	768000	768597	769867
<b>Camion</b>	<b>Sem 40</b>	<b>Sem 41</b>	<b>Sem 42</b>	<b>Sem 43</b>
1	344751	345047	345048	
2	967376	968175	968522	
3	804366	804932	806309	
4	847494	848979	850545	
5	985819	ABS	ABS	ABS

6	637290	637290	639534	
7	824316	824401	824993	
8	733394	733400	ABS	ABS
9	743139	745144	745206	
10	693549	694111	695344	
11	771160	772740	772766	ABS
<b>Camion</b>	<b>Sem 44</b>	<b>Sem 45</b>	<b>Sem 46</b>	<b>Sem 47</b>
1	346399	346735	347177	347886
2	969137	969139	969966	971866
3	806828	807356	807513	809117
4	852911	854148	855420	856271
5	ABS	987644	989054	990889
6	639675	641564	642036	642106
7	826933	827025	827493	828618
8	ABS	ABS	ABS	736151
9	747395	748591	750582	751574
10	698600	698689	698661	699143
11	ABS	ABS	ABS	777530
<b>Camion</b>	<b>Sem 48</b>	<b>Sem 49</b>	<b>Sem 50</b>	<b>Sem 51</b>
1	347891	347895	348643	348731
2	972028	973520	973586	973740
3	810506	810893	811520	811793
4	857801	ABS	859785	860785
5	993991	ABS	ABS	995070
6	642697	643460	ABS	644936
7	829188	829991	830840	833110
8	737035	738956	740671	740791
9	753228	ABS	755846	757329
10	700443	700632	700756	700999
11	777530	777577	778828	780026

En soustrayant la distance relevée à la fin d'une semaine par la distance relevée à la fin de la semaine précédente, il est possible d'obtenir la distance parcourue chaque semaine par chaque camion. Ces distances figurent dans le tableau 7.2-b.

**Tableau 7.2-b. Distance parcourue par camion par semaine.**

<b>Camion</b>	<b>Sem 01</b>	<b>Sem 02</b>	<b>Sem 03</b>	<b>Sem 04</b>
1			322	
2	902	886	868	183
3	1302	438	819	1229
4	1437			758
5	1856		1601	1342
6	1202	806		1060
7		402		1344
8	841	2259		1808
9			526	1735
10	436	751	445	1015
11	871	997	1270	
<b>Camion</b>	<b>Sem 05</b>	<b>Sem 06</b>	<b>Sem 07</b>	<b>Sem 08</b>
1		208	3	
2		762	1350	
3		3457		
4		420		
5		1664	425	1703
6		2385	1016	1645
7			3628	1
8		18	24	47
9		2864	2	2202
10		1739	818	9
11		697	1713	808

<b>Camion</b>	<b>Sem 09</b>	<b>Sem 10</b>	<b>Sem 11</b>	<b>Sem 12</b>
1	571	426		1517
2		1099		1107
3	330	726	1265	1234
4	1429	771	959	1434
5	2122	675	450	1764
6	1629		2029	1147
7	1183	1112	594	267
8	726	1325	1077	1895
9	694		3	539
10	1057	607	48	654
11	1692	47	492	38
<b>Camion</b>	<b>Sem 13</b>	<b>Sem 14</b>	<b>Sem 15</b>	<b>Sem 16</b>
1	264	480	1586	1
2	607		677	823
3	517	407	758	145
4	1678	1510	5	1570
5	919	452	279	1579
6	1126	1343	1585	326
7	1060	1759	836	3
8	1575	988		147
9	36	403		708
10	1286	1384	1382	1469
11	1801	1693	12	
<b>Camion</b>	<b>Sem 17</b>	<b>Sem 18</b>	<b>Sem 19</b>	<b>Sem 20</b>
1	1113		113	
2	328		773	1035
3	721		1352	1505
4	1066		2393	1241
5	476		2434	594
6	489		1554	64
7	1			1462
8	1679		1615	
9	1175		2256	1352
10			1637	374
11	350		3652	
<b>Camion</b>	<b>Sem 21</b>	<b>Sem 22</b>	<b>Sem 23</b>	<b>Sem 24</b>
1		726	261	558
2	70	134	663	1250
3		1393	264	50
4		2017	1690	1111
5	431	1342	2	1905
6		719	1707	466
7	1	1030	887	1234
8	1190	11	1413	1535
9		762	608	6
10		202	1633	1498
11	1438		800	376
<b>Camion</b>	<b>Sem 25</b>	<b>Sem 26</b>	<b>Sem 27</b>	<b>Sem 28</b>
1	463	15	648	59
2	163	1025	776	568
3	920	1535	887	
4	1049	1535	1296	1
5				4313
6	1290	733	915	1268
7	2824	3	1346	73
8	1499	1852	930	1062
9	692	1370	202	60
10	1355	168	76	261
11		98	504	1351
<b>Camion</b>	<b>Sem 29</b>	<b>Sem 30</b>	<b>Sem 31</b>	<b>Sem 32</b>
1	1276	79	65	



2	1436	172	206	
3		631	108	
4	1802	771	1983	
5		30		
6		1694	1289	
7		1383		
8	737	517	376	
9		3778	2	
10	219			
11	2	47	1677	
<b>Camion</b>	<b>Sem 33</b>	<b>Sem 34</b>	<b>Sem 35</b>	<b>Sem 36</b>
1	2083		347	698
2	2389	1011	389	754
3	111	1037	68	1132
4	2026	1980	1894	1654
5	2149	2112	439	2306
6	2218	855	2153	27
7	2901	4	990	819
8	857	499	1893	164
9	132	525	872	1693
10	3208	1145	260	1451
11	1670	1	1680	1292
<b>Camion</b>	<b>Sem 37</b>	<b>Sem 38</b>	<b>Sem 39</b>	<b>Sem 40</b>
1	2	40	515	1727
2	679	431	338	554
3	934	1065	1637	368
4	862	1117	1039	1432
5	210	2012	213	1925
6				63
7	1382	1332	1255	1798
8	1	1610	527	1238
9	79	1893	1376	1700
10	1211	976	2046	1324
11	240	597	1270	1293
<b>Camion</b>	<b>Sem 41</b>	<b>Sem 42</b>	<b>Sem 43</b>	<b>Sem 44</b>
1	296	1		1351
2	799	347		615
3	566	1377		519
4	1485	1566		2366
5				
6		2244		141
7	85	592		1940
8	6			
9	2005	62		2189
10	562	1233		3256
11	1580	26		
<b>Camion</b>	<b>Sem 45</b>	<b>Sem 46</b>	<b>Sem 47</b>	<b>Sem 48</b>
1	336	442	709	5
2	2	827	1900	162
3	528	157	1604	1389
4	1237	1272	851	1530
5	1825	1410	1835	3102
6	1889	472	70	591
7	92	468	1125	570
8			2751	884
9	1196	1991	992	1654
10	89		482	1300
11			4764	
<b>Camion</b>	<b>Sem 49</b>	<b>Sem 50</b>	<b>Sem 51</b>	
1	4	748	88	
2	1492	66	154	
3	387	627	273	

4		1984	1000
5			1079
6	763		1476
7	803	849	2270
8	1921	1715	120
9		2618	1483
10	189	124	243
11	47	1251	1198

Pour connaître le nombre de tournée effectuée, on compte le nombre de distances supérieures à 50 km. On suppose qu'une distance inférieure à 50 km est trop faible pour correspondre à une tournée. Ce calcul donne 399.

Pour connaître la distance moyenne d'une tournée, on somme ces mêmes distances que l'on divise pour le nombre total de tournées. Ce calcul donne :

$$\frac{439767}{399} = 1102 \text{ km}$$

### 7.2.3. Nombre moyen de prestations par tournée

Le tableau 7.2-c montre des données issues du logiciel de gestion interne de Locabri. Il s'agit du nombre de prestations effectuées en 2011 et ayant nécessité le déplacement d'une équipe de Locabri. Ces prestations sont regroupées en trois catégories :

- les poses,
- les déposes,
- les autres interventions, essentiellement des interventions de réparations ou autres interventions gratuites effectuées sur une structure déjà en place.

**Tableau 7.2-c. Données extraites du logiciel de gestion interne de Locabri, correspondantes à l'année 2011.**

type d'intervention	nombre
poses	503
déposes	251
autres	160
<b>TOTAL</b>	<b>914</b>

A partir du nombre de tournées calculé dans l'annexe 7.2.2, on peut calculer le nombre moyen d'interventions par tournée :

$$\frac{914}{399} = 2,3$$

### 7.2.4. Distance moyenne d'une prestation

Dans la formule Carburant(D ;M) (voir annexe 7.2.1.5), si D = D<sub>moy</sub>, il n'est pas nécessaire de connaître D<sub>moy</sub> pour calculer la consommation de carburant. Dans l'étude, on a souhaité pouvoir calculer les consommations de prestations qui ne sont pas situées à la distance moyenne.

A partir de la liste des prestations effectuées en 2011, on a extrait la liste des villes dans lesquelles se sont déroulées ces prestations. Pour certaines prestations, la localisation n'a pu être trouvée. Pour chaque prestation mentionnant le nom de la ville, la distance routière entre Brignais et la ville en question a été

évaluée en utilisant google maps. Dans certains cas, par commodité, la distance entre le chef lieu du département où a lieu la prestation et Brignais a été retenue. Le tableau 7.2-d présente la liste des villes où ont eu lieu les prestations en 2011 et les distances kilométriques retenues.

**Tableau 7.2-d. Liste des villes dans lesquelles ont eu lieu des prestations en 2011, par ordre alphabétique. La deuxième colonne indique les distances kilométriques retenues pour le calcul de la distance moyenne. Nombre d'occurrence : 771.**

Ville	Distance (km)		
AGNETZ	550	AVIGNON CEDEX 9	230
AGNETZ	550	AVIGNON Cedex 9	230
AIX EN PROVENCE	299	AVOINES	510
AIX EN PROVENCE	299	AYTRE	724
AIX EN PROVENCE CEDEX 4	299	AYTRE	724
AIZENAY	750	AYTRE	724
ALBI	384	BAGNERES DE LUCHON	530
ALBI	384	BAGNEUX	470
ALBI CEDEX 9	384	BALLEE	660
ALES	250	BARBEREY ST SULPICE	394
ALLINGES	200	BASTIA	668
ALMUSAFES - VALENCIA (ESPAGNE)	1011	BAUGE	620
ALPIARCA	1302	BAYET	240
Amiens	615	BAYONNE	758
AMILLY	440	BAZIEGE	530
AMILLY	440	BEAUCAIRE	250
AMILLY	450	BEAUMONT HAGUE CEDEX	830
ANDREZIEUX BOUTHEON	50	BEAUMONT HAGUE CEDEX	830
ANDREZIEUX BOUTHEON	50	BEAUREPAIRE	60
ANDREZIEUX BOUTHEON CEDEX	50	BEAUREPAIRE	60
ANET	539	BEAUSEMBLANT	69,2
Angers	618	BEAUVAIS CEDEX	557
Angoulême	533	BEDARIEUX	370
ANNONAY	74,2	BEDARIEUX	370
ANTHY SUR LEMAN	200	BELFORT	357
ANTHY SUR LEMAN	200	BENET	750
APREMONT	119	BENFELD	477
APREMONT	119	BERGERAC CEDEX	490
APT	230	BERGERAC CEDEX	490
APT	230	BERRE L'ETANG	293
ARAMON	250	BETTON	780
ARBENT	118	BETTON	780
ARGENTAT	390	BETTON	780
Arles	284	BEYNOST	36,2
AUBAGNE	334	BEYNOST	36,2
AUBERGENVILLE	490	BEZIERS	366
AUBERVILLIERS	490	BEZIERS	366
AUBERVILLIERS	490	BEZIERS	366
AUBEVOYE	580	BIARD	560
AUBEVOYE	580	BLENOD LES PONT A MOUSSON	420
AUBIERE	180	BLIESBRUCK	554
AUBIERE	180	BLOIS	531
AUBIERE	180	BLOIS	531
AUBIERE	190	BLOIS	531
AUBIERES	190	BOE	550
AURAY	850	BOLLENE	230
AUTRUY SUR JUINE	450	BONNEUIL SUR MARNE	480
AUXERRE CEDEX	313	BONNEUIL SUR MARNE	480
AVALLON	350	BONNEUIL SUR MARNE	480
AVEIZIEUX	50	BONNEUIL SUR MARNE	480
Avignon	230	BONNINGUES LES CALAIS	750
Avignon	230	BORDERES SUR L'ECHAZ	680

BORMES LES MIMOSAS	418	CHAMBERY	112
BORMES LES MIMOSAS	418	Chambéry	112
BOURG D'OISAN	60	Chambéry	112
BOURG EN BRESSE	96,5	Chambéry	112
BOURG EN BRESSE	96,5	Chambéry	112
BOURG EN BRESSE	96,5	CHAMBRAY LES TOURS	510
BOURG EN BRESSE CEDEX	96,5	CHANTEPIE	780
BOURG EN BRESSE CEDEX	96,5	CHAPONOST	6
BOURG EN BRESSE CEDEX	96,5	CHARBONNIERES	25,4
BOURG EN BRESSE Cedex	96,5	CHARMEIL	191
Bourges	361	CHARMEILLE VICHY	191
Bourges	361	CHARMES	393
BOURGOIN JALLIEU	60	CHARMES SUR RHONE	117
BOURGOIN JALLIEU	60	CHASSENEUIL DU POITOU	560
BREARD GEOVREISSIAT	104	CHASSIEU	28,6
BRIANCON	228	CHATEAU GAILLARD	67,4
BRICE SOUS FORET	500	CHATEAU GAILLARD	67,4
BRIDE LES BAINS	192	CHATEAU-ARNOUX	267
BRIGNAIS	1	CHATEAUBERNARD	572
BRIGNAIS	1	CHATEAUNEUF DE GALAURE	130
BRIGNOLES	360	CHATEAUNEUF SUR LOIRE	443
BRIGNOLES	360	CHATEAUNEUF SUR LOIRE	443
BRINDAS	11,6	CHATEAUNEUF SUR LOIRE	443
BRIVE LA GAILLARDE	382	CHATELLERAULT	561
BRIVES CHARENSAC	116	CHATTE	60
BRON	18	CHELLES	491
BRON CEDEX	18	CHELLES CEDEX	491
BRON CEDEX	18	CHEVILLY	450
BRUZ	780	CHEYLAS	60
BUCHELAY	490	CHILLY MAZARIN	460
CABRIES	310	CHISSAY EN TOURAINE	530
CABRIES	310	CHOLET	620
CABRIES	310	CLAYE SOUILLY	420
CADEROUSSE	206	CLAYE-SOUILLY	420
CALAIS	764	CLERMONT FERRAND	189
CALAIS	764	CLESSE	150
CALUIRE	18	CODOLET	208
CALUIRE ET CUIRE	18	COIGNIERES	490
CALUIRE ET CUIRE CEDEX	18	COLOMIERS	550
CAPINGHEIM	650	COLOMIERS	550
CARCASSONNE	446	COLOMIERS	550
CARNAC	850	COLOMIERS	550
CARNAC	850	COLOMIERS	550
CARROS	481	CORBAS	17
CASSENEUIL	550	CORNEBARRIEU	530
CASTELNAU DE LEVIS	387	COURNON D'AUVERGNE	180
CASTELNAU D'ESTRETEFONDS	530	COURPIERE	180
CASTELNAU D'ESTRETEFONDS	530	COURTRY	420
CASTELNAUDARY	485	COUTRAS	527
CASTELNAUDARY	485	CRAN GEVRIER	200
CASTRES CEDEX	444	CRAPONNE SUR ARZON	110
CAVAILLON	230	CRECHY	161
CESSIEU	60,3	CREPY EN VALOIS	550
CESTAS	589	CREPY EN VALOIS	550
CHABEUIL	114	CREPY EN VALOIS	550
CHABEUIL	114	CREPY EN VALOIS CEDEX	550
CHALON SUR SAONE	146	CREST	25
CHAMBERY	112	CREST	25
CHAMBERY	112	CREYS MEPIEU	60

CREYSSE	490	GANGES	340
CROLLES	60	GAP	214
CRUVIERS LASCOURS	250	GAP CEDEX	214
CRUVIERS LASCOURS	250	GARDANNE	316
CUCQ	750	GARDANNE	316
DANGE ST ROMAIN	560	GARDANNE	316
DANNEMARIE SUR CRETE	490	GASSIN	410
DECAZEVILLE	349	GASSIN	410
DECINES CHARPIEU	25	GENAS	29
DEMI QUARTIER	200	GENAS CEDEX	29
DENAIN	650	GENEVE 23	164
DIGOIN	159	GENNEVILLIERS	489
DIOU	183	GENNEVILLIERS CEDEX	489
DORCEAU	601	GENVAL	773
DOUARNENEZ	930	GEX	166
DOULCHARD	242	GONESSE	500
DRAGUIGNAN	408	GONFREVILLE L'ORCHER	670
DRANCY	490	GONFREVILLE L'ORCHER	670
ECHIROLLES	60	GOUSSAINVILLE	500
EGLETONS	390	GRAND COURONNE	660
ENNERY	550	GRANS	274
EPAGNY	200	GRANS	274
EPAGNY	200	GRANS	274
EPINAL	398	GRANVILLE	830
ESSARTS	750	GRASSE	457
ESTILLAC	560	GRASSE	457
ETAMPES	470	GRAULHET	500
ETAMPES	470	Grenoble	114
ETAMPES	470	Grenoble	114
EVIAN CEDEX	200	Grenoble	114
EVIAN CEDEX	200	GRENOBLE CEDEX	114
EVIAN CEDEX	200	GRENOBLE CEDEX 9	114
EVIAN LES BAINS	200	GRENOBLE CEDEX 9	114
FECAMP	676	GRENOBLE CEDEX 9	114
FECAMP	676	GRENOBLE CEDEX 9	114
FEURS	54	GRENOBLE CEDEX 9	114
FEYTIAT	450	GRENOBLE CEDEX 9	114
FEYZIN	14	GRENOBLE CEDEX 9	114
FISMES	500	GRENOBLE CEDEX 9	114
FITZ JAMES	550	GRIGNY	9
FLEURIEUX SUR L'ARBRESLE	27,5	GUIPAVAS	930
FLEURIEUX SUR L'ARBRESLE	27,5	HAUTERIVES	83,1
FLEURY LES AUBRAIS	440	HAVANGE	550
FLINS S/SEINE	490	HENIN BEAUMONT	750
FONTAINE	60	HEUDEBOUVILLE	580
FONTAINE	60	HEYRIEUX	60
FONTAINE LES DIJON	214	IFS	710
FONTENAY MAUVOISIN	490	ILLZACH	430
FONTENAY TRESIGNY	490	INGERSHEIM	427
FRANCHEVILLE	11	INGRANDES SUR VIENNE	560
FRANCHEVILLE	11	ISLE SUR LA SORGUE CEDEX	230
FRANS	48	ISSE	700
FREJUS	413	JASSANS RIOTTIER	46,7
FREJUS	413	JAUX	550
FREJUS	413	JOIGNY	350
FREJUS	413	JOINVILLE LE PONT	480
FRONTIGNAN	300	JOUY SUR MORIN	420
GAILLAN EN MEDOC	635	JOUY SUR MORIN	420
GAILLAN EN MEDOC	635	JOUY SUR MORIN	420

JUVAINCOURT	390	LE POUZIN	128
L ILE ST DENIS	490	LE TEIL	153
LA BALME DE SILLINGY CEDEX	200	LEGANES (MADRID)	1242
LA BALME DE SILLINGY CEDEX	200	LENTILLY	26
LA BATIE ROLLAND	102	LERE	325
LA BATIE ROLLAND	102	LES MILLES	301
LA BLANC MESNIL	491	LES PENNES MIRABEAU CEDEX	299
LA BOISSE	38,2	LES PENNES MIRABEAU CEDEX	299
LA CAVALERIE	396	LES PORTES EN RE	763
LA CHAPELLE SAINT LAURENT	570	LES TOURETTES	130
LA CHAPELLE SAINT LAURENT	570	LESPINASSE	530
LA CHAPELLE SAINT URSIN	361	LEVALLOIS CEDEX	480
LA CHARTRE SUR LE LOIR	620	LIFFOL LE GRAND	390
LA CHAUSSEE SAINT VICTOR CEDEX	530	LISIEUX	579
LA CROIX DE LA ROCHETTE	143	LISIEUX CEDEX	579
LA FLOCELLIERE	750	L'ISLE D'ABEAU	49,8
LA FLOCELLIERE	750	LODEVE	370
LA FOUILLOUSE	50	LORIENT	869
LA GARDE	360	LORIENT	869
LA MULATIERE	12	LORIOLE SUR DROME	130
LA MURE	60	LORIOLE SUR DROME	130
La Rochelle	721	LORRIS	440
LA ROCHELLE	721	LOUDEAC	872
La Rochelle	721	LOZANNE	34
LA SELLE CRAONNAISE	660	LUCEAU	620
LA SEYNE SUR MER	410	LUDRES	420
LA SEYNE SUR MER	410	LUNEL	280
LA TESTE DE BUSH	633	LYON	17,5
LA TOUR DU PIN CEDEX	60	LYON	17,5
LA TOUR DU PIN CEDEX	60	LYON 09	17,5
LA TREMBLADE	650	MABLY	50
LALINDE	488	MACON	85
LANGONNET	850	MACON	85
LANNEMEZAN	680	MADRID	1242
LARAGNE MONTGELIN	235	MAGNY LES HAMEAUX	486
LATTES	350	MAILLEBOIS	558
LAUDUN L'ARDOISE	250	MALEMORT SUR CORREZE	390
LAUDUN L'ARDOISE	250	MALIJAI	272
LE BOUCAU	730	MANOSQUE	304
LE BOULOU	450	MANSIGNE	620
LE BOURG D OISANS	60	MARANS	713
LE BOURGET	490	MARMANDE	564
LE BREUIL	150	MARNE LA VALLEE CEDEX 2	487
LE CANNET	446	MARNE LA VALLEE	487
LE CHAMBON-FEUGEROLLES Cedex	50	MARSANNAY LA COTE	220
LE CHEYLAS	60	MARSEILLAN	320
LE COTEAU	50	Marseille	313
LE COTEAU	50	MARSEILLE 13	313
LE HAVRE	671	MARSEILLE CEDEX 11	313
LE HAVRE	671	MARSEILLE CEDEX 11	313
LE MANS	611	MARTIGNAT	108
LE MERIOT	431	MARTIGUES	321
LE MEUX	550	MASSANGIS	350
LE MEUX	550	MASSANGIS	350
LE MONASTERE	314	MAXEVILLE	419
LE MUY	410	MAZAN	230
LE PERTRE	780	MERIGNAC	581
LE PLESSIS BELLEVILLE	550	MERU CEDEX	550
LE PLESSIS ROBINSON	480	MESLAY DU MAINE	664

MESLIERES	490	ORLY	480
MEYZIEU	33	ORLY	480
MEYZIEU CEDEX	33	OULLINS	8
MIGENNES	350	OYONNAX	114
MIGENNES	350	OYONNAX	114
MILLAS	450	PAGNY SUR MEUSE	407
MIONS	29	PARETS DEL VALLES	618
MIONS	29	PARGNY SUR SAULX	500
MIONS	29	PASSY	200
MOLINGES	149	PASSY	200
MONCHY LE PREUX	750	Pau	728
MONETEAU	350	PERONNE	614
MONTATAIRE	550	Perpignan	452
MONTAYRAL	550	PERRIGNY	166
MONTBELIARD CEDEX	490	PERTUIS	230
MONTELIMAR	148	PERTUIS	230
MONTELIMAR	148	PEZENAS	300
MONTESSON	490	PEZENAS	300
MONTIGNY LES CORMEILLES	500	PEZENAS	300
MONTLUEL	40,7	PIERRE BENITE CEDEX	9
MONTMELIAN	125	PIERRE BENITE CEDEX	9
MONTPELLIER	304	PIERREFITTE NESTALAS	680
MONTPELLIER cÚdex 2	304	PIERRELATTE	172
MONTREAL LA CLUSE	104	PIERRELATTE CEDEX	172
MONTSOULT	500	PLELAN LE GRAND	780
MONTSOULT	500	PLOUHARNEL	850
MONTSOULT	500	POMPIGNAN	304
MORZINE-AVORIAZ	220	PONCHATEAU	700
MOUANS SARTOUX	448	PONT DE L'ISERE	95,2
MOUANS SARTOUX	448	PONT DE L'ISERE	95,2
MOUILLERON LE CAPTIF	752	PONT STE MARIE	390
MOYAUX	669	PONT SUR YONNE	350
MULSANNE	600	pontcharra sur turdine	43
MUNSTER	550	PORNIC	700
MURS ERIGNE	620	POUZAUGES	750
NANTES	707	PRIMARETTE	60
NANTUA	106	PRISSE	91
NAPOLI	1201	PUGET SUR ARGENS	408
NARBONNE	390	PUGET SUR ARGNES	408
NEVERS	258	PUYGOUZON	388
Nevers	258	PUYGOUZON	388
Nevers	258	QUESSY-CITE (TERGNIER)	591
NICE	470	QUESTEMBERT	850
NIMES	250	QUETIGNY LES DIJON	220
NIMES	252	Quimper	928
NIORT CEDEX	577	RAMATUELLE	410
NIORT CEDEX	577	REIGNAC SUR INDRE	510
NOE	530	REIGNAC SUR INDRE	510
NOGENT SUR MARNE	480	REIGNAC SUR INDRE	510
NOGENT SUR MARNE	483	REIMS	502
NOIRMOUTIER	750	REIMS	502
NORT SUR ERDRE	700	Rennes	782
NOYAL CHATILLON SUR SEICHE	780	RENNES CEDEX	782
NOYELLES SUR ESCAUT	654	REVIN	606
NOYEN SUR SARTHE	620	RILLIEUX LA PAPE	29
NOYON	550	RILLIEUX LA PAPE	29
NUITS SAINT GEORGES	220	RIOM	180
NUITS SAINT GEORGES	220	RIVESALTES	450
NURIEUX VOLOGNAT	106	ROANNE CEDEX	50

ROCBARON	360	SALINS LES THERMES	188
ROCHEFORT SUR NENON	230	SALVAGNAC	557
ROCHEFORT SUR NENON	235	SANARY	369
RODEZ CEDEX 9	313	SANARY SUR MER	369
ROMANECHÉ THORINS	160	SANNOIS	500
ROMANECHÉ THORINS	160	SANNOIS	500
ROMANECHÉ THORINS	160	SCIEZ SUR LEMAN	200
ROMANS CEDEX	102	SCIONZIER	200
ROMILLY SUR SEINE	428	SCORBE CLAIRVAUX	566
ROMILLY SUR SEINE	428	SEBONCOURT	620
ROSIERES EN HAYE	420	SEGRE Cedex	620
ROUSSET	313	SENLIS CEDEX	550
RUEIL-MALMAISON CEDEX	480	SENS	383
RULLY	157	SENS	383
RUOMS	193	SERIGNAN	300
RUY MONTCEAU	60	SEURRE	220
SAINT AMAND LES EAUX	650	SEYNOD	200
SAINT AMBROIX	250	SISTERON	252
SAINT ANTONIN NOBLE VAL	529	SOLEYMIEU	60
SAINT AULAIRE	394	SOUDAN	700
SAINT AULAIRE	394	SOUDAN	700
SAINT CLAIR DU RHONE	60	SOUFFELWEYERSHEIM	470
SAINT DIZIER	385	ST MARCEL LES VALENCE	130
SAINT ETIENNE CEDEX 1	47	ST CHAMOND	50
SAINT ETIENNE DU ROUVRAY	599	ST CIER SUR GIRONDE	600
SAINT FLORENT SUR CHER	365	ST ELOY LES MINES	180
SAINT GELY DU FESC	350	ST FONS CEDEX	13
SAINT GENES CHAMPANELLE	190	ST GENIS LAVAL CEDEX	6
Saint Georges de Grehaine	780	ST GENIS LAVAL CEDEX	6
SAINT GERAND	850	ST GENIS LAVAL CEDEX	6
SAINT GERMAIN DU PUY	371	ST GEORGES DE MONTAIGU	750
SAINT HILAIRE DE RIEZ	750	ST HILAIRE DE BRETHMAS	250
SAINT JEAN DE MAURIENNE	183	ST JEAN DE BOURNAY	60
SAINT JULIEN DE CHEDON	530	ST JEAN DE MAURIENNE	183
SAINT JULIEN DE CHEDON	530	ST JEAN DE MAURIENNE	183
SAINT JUNIEN	456	ST LUPICIN	161
SAINT LAURENT NOUAN	530	ST MARTIN BELLEVUE	200
SAINT LEGER DE LA MARTINIERE	570	ST MARTIN DE CRAU	299
SAINT MARCEL	160	ST MARTIN D'HERES	60
SAINT MARCEL LES VALENCE	130	ST MAURICE DE BEYNOST	35,5
SAINT MAXIMIN	410	ST MAURICE DE BEYNOST	35,5
SAINT MEDARD EN JALLES	595	ST PAUL LES ROMANS	111
SAINT PERAY	108	ST PAUL LES ROMANS	111
SAINT PERE EN RETZ	700	ST PRIEST	20
SAINT PHILBERT SUR RISLE	580	ST PRIEST	20
SAINT POL SUR MER	650	ST PRIEST CEDEX	20
SAINT PRIEST	20	ST PRIEST CEDEX	20
SAINT PRIEST CEDEX	20	ST PRIEST CEDEX	20
SAINT RAPHAEL	410	ST PRIEST CEDEX	20
SAINT ROMAIN DE JALIONAS	60	ST PRIEST CEDEX	20
SAINT ROMAIN EN GIER	17	ST SOUPPLETS	420
SAINT ROMAIN EN GIER	17	ST VULBAS	59,2
SAINT ROMAIN LE PUY	50	ST VULBAS	59,2
SAINT SATURNIN	636	TAIN L'HERMITAGE CEDEX	89,7
SAINTE MARIE DES CHAMPS	639	Tarbes	685
SAIT MAURICE L'EXIL Cedex	60	TAVAU	227
SALAUNES	595	TAVERS	440
SALINDRES	250	TAVERS	450
SALINDRES	250	THOUARS	570



THOUARS CEDEX	570	VERNEUIL SUR AVRE	575
TIFFAUGES	750	VERNOUILLET	540
TIFFAUGES	750	VEUREY VOROIZE	60
TOMBLAINE	420	VILLE LA GRAND	170
TORCY	420	VILLE LA GRAND	170
TOUCY	337	VILLEFRANCHE SUR SAONE	53
Toulouse	537	VILLEFRANCHE SUR SAONE	53
Toulouse	537	VILLEFRANCHE SUR SAONE	53
TOURLAVILLE	831	VILLEFRANCHE SUR SAONE	53
TOURNAN EN BRIE	420	VILLEFRANCHE SUR SAONE	53
TOURNON CEDEX	90,6	VILLEFRANCHE SUR SAONE CEDEX	53
TOURNUS	150	VILLEFRANCHE/SAONE Cedex	53
TOURS CEDEX 1	510	VILLEFRANCHE/SAONE Cedex	53
TOURVILLE LA RIVIERE	670	VILLEJUST	468
TRAPPES CEDEX	480	VILLEJUST	468
TRELISSAC	446	VILLENEUVE SAINT GEORGES	480
TREVOUX CEDEX	51,7	VILLENEUVE SAINT GEORGES	480
TRIGNAC	700	VILLERS COTTERETS	554
Troyes CEDEX	387	VILLERS ECALLES	640
UZEZ	250	VILLERS ECALLES	640
VAL DE REUIL CEDEX	583	VILLEURBANNE	18
VALENCE	102	VILLEURBANNE	18
VALENCIENNES	650	VITROLLES CEDEX	295
VALENTINE ST GAUDENS	540	VITROLLES CEDEX	295
VALENTINE ST GAUDENS	540	VITRY LE FRANCOIS	500
VALENTINE ST GAUDENS	540	VITRY SUR SEINE	480
VALS PRES LE PUY	110	VITTEL	390
Vannes	813	VIUZ EN SALLAZ	200
Vannes	813	VIUZ EN SALLAZ	200
VARENNES SUR SEINE	422	VIVIEZ	352
VARENNES SUR SEINE	422	VOREPPE	60
VAULX EN VELIN	18	WITTENHEIM	430
VAUX EN BUGEY	76,5	YDES	274
VENELLES	307	YDES	274
VENISSIEUX	16	YDES	274
VENISSIEUX CEDEX	17	YZEURE	211
VERGEZE	250		
VERGEZE	250		
VERNEUIL L'ETANG	420		

La valeur moyenne de ces distances est 360 km.

## 7.2.5. Consommation moyenne des camions

La consommation moyenne des camions a été évaluée à partir des distances parcourues par la flotte Locabri en 2011 (voir annexe 7.2.2) et les achats de carburants par ces mêmes camions en 2011.

Les camions se ravitaillent auprès des stations TOTAL. Les factures émises par TOTAL pour les onze camions effectuant les tournées ont été consultées. Ces factures sont bimensuelles. La période choisie est janvier – septembre 2011. Cette période correspond aux semaines 1 à 39 de l'année 2011.

**Tableau 7.2-e. Achat de carburant diesel par les camions Locabri effectuant les tournées. Toutes les quantités sont en litres.**

<i>Camion</i>	<i>janvier</i>		<i>février</i>	
	1ère quinzaine	2ème quinzaine	1ère quinzaine	2ème quinzaine

	1	379,28	1940,92	415,19	513,95
	2	564,45	557,29		
	3	563,49	1060,79	556,85	
	4	989,93	754,51	902,92	512,01
	5	713,84	590,16	378,35	327,28
	6	490,96	508,42	337,88	1256,15
	7		1152,96	863,93	832,48
	8				40,73
	9	672,23	293,93	553,37	
	10		1081,95	714,15	550,13
	11	837,24	913,85		400
	<b>mars</b>			<b>avril</b>	
<b>Camion</b>		<b>1ère quinzaine</b>	<b>2ème quinzaine</b>	<b>1ère quinzaine</b>	<b>2ème quinzaine</b>
	1	1308,91	570	722,77	805,97
	2	989,24	1021,85	550,37	1000,72
	3	476,32	518,58	493,43	
	4	1046,22	1196,44	1340,29	
	5	406,62	685,79	1014,75	312,87
	6	377,09	436,74	914,21	
	7	418,08		419,28	718,1
	8	227,32	335,23	864,44	
	9	343,15	628,56	294,26	263,36
	10	686,56	415,46	1335,34	423,75
	11	998,12	1288,46	612,09	526,9
	<b>mai</b>			<b>juin</b>	
<b>Camion</b>		<b>1ère quinzaine</b>	<b>2ème quinzaine</b>	<b>1ère quinzaine</b>	<b>2ème quinzaine</b>
	1	568,12	726,32	469,82	1273,96
	2	654,57	985,32	1055,12	615,65
	3	637,94	771,77	326,3	468,66
	4	563,18	307,73	1121,2	
	5	440,61	395,46	721	988,51
	6	1365,54	482,11		
	7	418,21	834,75	438,07	404,89
	8	200		245,65	449,63
	9	273,94	499,63	673,17	370,81
	10			828,88	1349,31
	11	434,32	606,59	1092,78	958,1
	<b>juillet</b>			<b>août</b>	
<b>Camion</b>		<b>1ère quinzaine</b>	<b>2ème quinzaine</b>	<b>1ère quinzaine</b>	<b>2ème quinzaine</b>
	1	503,35	100,22	1127,55	754,54
	2	561,95	1110,39	1265,62	1056,46
	3	386,87			507,45
	4	755,52	500,18	1142,71	891,31
	5		302,26	716,43	427,2
	6	889,22		326,62	1422,61
	7	439,58	1173,56	428,63	
	8		388,9	154,91	640,61
	9	286,93	691,31	1208,07	323,9
	10	416,67	400,32	563,51	755,79
	11	876,21	430,01	778,26	388,9
	<b>septembre</b>				
<b>Camion</b>		<b>1ère quinzaine</b>	<b>2ème quinzaine</b>		
	1	970,28	1257,13		
	2	1169,97	1065,99		
	3	487,45	885,65		
	4	494,52			
	5	788,37	1178,44		
	6	474,35	896,71		
	7	795,23	1231,4		

8		
9	333,78	335,14
10	687,71	1228,01
11	628,56	625,82

Le total de ces achats s'élève à 115 855,87 L. La distance parcourue par ces mêmes camions pendant cette période est de 331 661 km (voir tableau 7.2-b).

La consommation moyenne est donc de :

$$\frac{115\,855,87}{331\,661} = 0,35 \text{ L/km}$$

## 7.2.6.Masse moyenne à vide des camions Locabri

Les cartes grises des onze tracteurs de la flotte Locabri ont été consultées, ainsi que celles de trois remorques. Le tableau 7.2-f liste les données collectées.

**Tableau 7.2-f. Données collectées sur les cartes grises des véhicules de la flotte Locabri**

Donnée « masse du véhicule en service et dispositif d'attelage » des tracteurs (en kg) (donnée présente sur 9 des 11 cartes grises consultées)	Donnée « poids à vide national » des remorques (en kg) (3 cartes grises consultées)
10356	6440
9395	5640
9255	5940
8031	
8239	
7185	
7147	
7357	
7619	
Moyenne : 8287	Moyenne : 7968

La moyenne des camions est donc la somme de la moyenne de la masse en service du tracteur et de la masse à vide de la remorque, soit 14,3 tonnes.

## 7.2.7.Masse moyenne des prestations

M<sub>moy</sub> est calculée à partir de la liste des structures posées et déposées en 2011. A partir du code des structures, il est possible de recalculer la masse des structures. Pour cela, il faut disposer des matrices de composition de toutes ces structures (AB3x5, AB3x10, AB3x15, AB3x20, MG4x5, MG4x10, MG4x15, MG4x20, MG5x10, MG5x15, MG5x20, MG6x30). Or, seules les matrices des MG4x15 et des MG4x20 ont été rigoureusement construites (voir annexes 7.1.2 et 7.1.3). Les autres sont extrapolées à partir de ces deux matrices. Voici comment les extrapolations ont été réalisées.

- Identification des éléments « long pan » et toitures :
  - Pour une même hauteur, les éléments « long pan toile » et « long pan tôle » sont identiques, quelques soient la gamme et la portée. Ainsi les 6<sup>èmes</sup> et 9<sup>èmes</sup> lignes des matrices C<sub>AB3x5</sub>, C<sub>AB3x10</sub>, C<sub>AB3x15</sub>, C<sub>AB3x20</sub> sont identiques, tout comme celles des matrices C<sub>MG4x5</sub>, C<sub>MG4x10</sub>, C<sub>MG4x15</sub>, C<sub>MG4x20</sub> et des matrices C<sub>MG5x10</sub>, C<sub>MG5x15</sub>, C<sub>MG5x20</sub>.

- Par portée, les éléments « toitures » sont identiques, quel que soit la gamme et la hauteur. Ainsi, les 3<sup>èmes</sup> lignes des matrices  $C_{AB3 \times 5}$  et  $C_{MG4 \times 5}$  sont identiques, tout comme celles des matrices  $C_{AB3 \times 10}$ ,  $C_{MG4 \times 10}$ ,  $C_{MG5 \times 10}$ , des matrices  $C_{AB3 \times 15}$ ,  $C_{MG4 \times 15}$ ,  $C_{MG5 \times 15}$  et  $C_{AB3 \times 20}$ ,  $C_{MG4 \times 20}$ ,  $C_{MG5 \times 20}$ .
- Calcul des autres éléments des MG4 :
  - Les autres éléments de  $C_{MG4 \times 10}$  ont été obtenus à partir des éléments de  $C_{MG4 \times 15}$  et de  $C_{MG4 \times 20}$ . L'hypothèse est qu'il y a une relation affine entre la portée et chaque élément de  $C_{MG4 \times \text{PORTEE}}$ . Ainsi  $C_{MG4 \times 10} = C_{MG4 \times 15} - (C_{MG4 \times 15} - C_{MG4 \times 20})$ . En réalisant cette opération, la masse d'aluminium des pignons toilés et bardés devient négative. Cela provient du fait que les pignons des MG4x20 possèdent deux montants supplémentaires, plus lourds que ceux des MG4x15. Pour ces éléments, une règle de proportionnalité a été effectuée à partir des MG4x15 (\*2/3).
  - Les autres éléments de  $C_{MG4 \times 5}$  ont été obtenus en divisant ceux de  $C_{MG4 \times 10}$  par deux.
- Calcul des matrices des MG5 :
  - $C_{MG5 \times 10}$ ,  $C_{MG5 \times 15}$  et  $C_{MG5 \times 20}$  ont été respectivement obtenues en appliquant le facteur de proportionnalité 5/4 à  $C_{MG4 \times 10}$ ,  $C_{MG4 \times 15}$  et  $C_{MG4 \times 20}$ , sauf les lignes correspondantes aux toitures qui ne dépendent pas de la hauteur de la structure.
- Calcul des matrices des AB3 :
  - $C_{AB3 \times 5}$ ,  $C_{AB3 \times 10}$ ,  $C_{AB3 \times 15}$  et  $C_{AB3 \times 20}$  ont été respectivement obtenues en appliquant le facteur de proportionnalité 3/4 à  $C_{MG4 \times 5}$ ,  $C_{MG4 \times 10}$ ,  $C_{MG4 \times 15}$  et  $C_{MG4 \times 20}$ , sauf les lignes correspondantes aux toitures qui ne dépendent pas de la hauteur de la structure.
- Calcul de la matrice des MG6x30 :
  - Les lignes correspondantes aux éléments « long pan toile » (6<sup>ème</sup>) et « long pan tôle » (9<sup>ème</sup>) ont été obtenues en appliquant le facteur 6/4 à ces mêmes lignes de la matrice  $C_{MG4 \times 15}$ .
  - La ligne correspondante à l'élément « toiture » (3<sup>ème</sup>) a été obtenue en appliquant le facteur 3/2 à la même ligne de la matrice  $C_{MG4 \times 20}$ .
  - Tous les autres éléments ont été obtenus en appliquant le facteur 3/2\*6/4 aux éléments correspondants de la matrice  $C_{MG4 \times 20}$ .

Le tableau 7.2-g présente ces matrices.

**Tableau 7.2-g. Les matrices de compositions des différentes structures. Seules les  $C_{MG4 \times 15}$  et  $C_{MG4 \times 20}$  sont issues de données primaires. Les autres ont été extrapolées à partir de ces dernières.**

$C_{AB,5}$	109,125	93,75	0	0	0
	0	48,375	0	0	0
	0	0	0	0	18,5
	66,75	47,625	0	0	0
	15,75	36,375	0	9,75	1,875
	0	9	0	9	0
	66,75	55,875	0	0	0
	15,75	50,625	187,875	0	1,875
	0	0	132,75	0	0
$C_{AB,10}$	218,25	187,5	0	0	0
	0	96,75	0	0	0
	0	0	0	0	37
	133,5	95,25	0	0	0
	31,5	72,75	0	19,5	3,75
	0	9	0	9	0
	133,5	111,75	0	0	0

	31,5	101,25	375,75	0	3,75
	0	0	132,75	0	0
<b>C<sub>AB,15</sub></b>	511,5	187,5	0	0	0
	0	102,75	0	0	0
	0	0	0	0	53
	289,5	93	0	0	0
	47,25	101,25	0	27	10,5
	0	9	0	9	0
	289,5	111,75	0	0	0
	47,25	207,75	468,75	0	10,5
	0	0	132,75	0	0
<b>C<sub>AB,20</sub></b>	804,75	187,5	0	0	0
	0	108,75	0	0	0
	0	0	0	0	69
	445,5	90,75	0	0	0
	123	129,75	0	34,5	17,25
	0	9	0	9	0
	445,5	111,75	0	0	0
	123	314,25	561,75	0	17,25
	0	0	132,75	0	0
<b>C<sub>MG4,5</sub></b>	145,5	125	0	0	0
	0	64,5	0	0	0
	0	0	0	0	18,5
	89	63,5	0	0	0
	21	48,5	0	13	2,5
	0	12	0	12	0
	89	74,5	0	0	0
	21	67,5	250,5	0	2,5
	0	0	177	0	0
<b>C<sub>MG4,10</sub></b>	291	250	0	0	0
	0	129	0	0	0
	0	0	0	0	37
	178	127	0	0	0
	42	97	0	26	5
	0	12	0	12	0
	178	149	0	0	0
	42	135	501	0	5
	0	0	177	0	0
<b>C<sub>MG4,15</sub></b>	682	250	0	0	0
	0	137	0	0	0
	0	0	0	0	53
	386	124	0	0	0
	63	135	0	36	14
	0	12	0	12	0
	386	149	0	0	0
	63	277	625	0	14
	0	0	177	0	0
<b>C<sub>MG4,20</sub></b>	1073	250	0	0	0
	0	145	0	0	0
	0	0	0	0	69
	594	121	0	0	0
	164	173	0	46	23

	0	12	0	12	0
	594	149	0	0	0
	164	419	749	0	23
	0	0	177	0	0
<b>C<sub>MG5,10</sub></b>	363,75	312,5	0	0	0
	0	161,25	0	0	0
	0	0	0	0	37
	222,5	158,75	0	0	0
	52,5	121,25	0	32,5	6,25
	0	15	0	15	0
	222,5	186,25	0	0	0
	52,5	168,75	626,25	0	6,25
	0	0	221,25	0	0
<b>C<sub>MG5,15</sub></b>	852,5	312,5	0	0	0
	0	171,25	0	0	0
	0	0	0	0	53
	482,5	155	0	0	0
	78,75	168,75	0	45	17,5
	0	15	0	15	0
	482,5	186,25	0	0	0
	78,75	346,25	781,25	0	17,5
	0	0	221,25	0	0
<b>C<sub>MG5,20</sub></b>	1341,25	312,5	0	0	0
	0	181,25	0	0	0
	0	0	0	0	69
	742,5	151,25	0	0	0
	205	216,25	0	57,5	28,75
	0	15	0	15	0
	742,5	186,25	0	0	0
	205	523,75	936,25	0	28,75
	0	0	221,25	0	0
<b>C<sub>MG6,30</sub></b>	2414,25	562,5	0	0	0
	0	326,25	0	0	0
	0	0	0	0	103,5
	1336,5	272,25	0	0	0
	369	389,25	0	103,5	51,75
	0	18	0	18	0
	1336,5	335,25	0	0	0
	369	942,75	1685,25	0	51,75
	0	0	398,25	0	0

Le principe de calcul est expliqué pour les poses. Il s'applique de la même manière aux déposes.

- La liste des poses contient la description des structures posées (gamme, portée, longueur, type d'habillage). Sur les 503 poses effectuées, seules 487 codes structures étaient disponibles, et 481 exploitables (voir tableau 7.2-h). Le calcul est donc effectué pour 487 structures puis extrapolé aux 502 poses.

**Tableau 7.2-h. Liste des 481 codes de structures posées en 2011.**

MGX15/5X40-ET-023	ABX20H3X25-B-Z0_1	MGX10H4X20-T-Z0_1	MGX20H5X35-T-Z0_3	ABX10H3X10-T-Z0_1
ABX15/3X25-ET-012	ABX20H3X45-B-Z0_1	ABX10H3X30-T-Z0_1	MGX15H4X50-B-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1
MGX20/4X25-ET-007	ABX20H3X35-B-Z0_1	MGX20H4X45-T-Z0_1	ABX20H3X30-T-Z0_1	ABX10H3X25-T-Z0_1
MGX10/4X15-EB-048	ABX20H3X25-B-Z0_1	ABX5H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	ABX10H3X10-B-Z0_1

MGX10/4X10-B-048	ABX20H3X25-B-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	ABX5H3X15-T-Z0_1	MGX10H4X25-B-Z0_1
ABX5/3X15-EB-022	MGX15H4X30-B-Z0_1	ABX5H3X15-T-Z0_1	MGX15H4X65-B-Z0_1	MGX15H5X20-T-Z0_1
ABX15/3X15-T-015	ABX15H3X30-T-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	MGX15H5X15-T-Z0_1	MGX10H4X65-B-Z0_1
ABX10/3X30-ET-049	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX15H4X15-B-Z0_1	ABX20H3X30-B-Z0_1	ABX10H3X35-B-Z0_1
MGX15/4X20-ET-025	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX5H3X10-B-Z0_1	ABX20H3X60-T-Z0_1	MGX15H4X25-T-Z0_1
MGX20/4X20-EB-024	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX5H3X25-B-Z0_1	ABX20H3X45-T-Z0_1	MGX15H4X10-T-Z0_1
MGX20/5X15-ET-014	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX10H4X20-B-Z0_1	ABX5H3X10-B-Z0_1	ABX5H3X15-T-Z0_1
MGX15/4X20-T-072	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX15H5X20-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_2	ABX10H3X10-T-Z0_2
MGX20H5X45-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_2	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX15H5X20-T-Z0_1	ABX5H3X10-T-Z0_1
MGX15H5X30-T-Z0_5	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	MGX10H4X10-B-Z0_1	MGX10H4X30-B-Z0_1
MGX10H4X15-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	MGX15H4X20-T-Z0_1	ABX15H3X75-T-Z0_1
ABX20H3X30-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX20H5X15B
MGX10H5X15-T-Z0_4	ABX5H3X20-B-Z0_2	MGX20H4X10-T-Z0_1	ABX15H3X40-B-Z0_1	MGX20H4X50-B-Z0_1
MGX20H4X25-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX15H3X25-B-Z0_1	ABX20H3X25-T-Z0_1	MGX20H4X20-B-Z0_2
MGX15H5X10-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX15H4X15-B-Z0_1	ABX10H3X30-T-Z0_1	MGX20H4X30-T-Z0_1
MGX10/4X30-EB-052	ABX10H3X20-T-Z0_1	ABX5H3X15-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX5H3X20-T-Z0_1
MGX10H5X10-T-Z0_2	ABX10H3X25-B-Z0_2	MGX15H5X10-T-Z0_1	MGX20H5X50-T-Z0_1	MGX15H4X25-T-Z0_1
MGX10H4X20-B-Z0_1	MGX10H4X25-T-Z0_14	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX5H3X15-B-Z0_1	MGX10H4X10-T-Z0_1
ABX10/3X15-B-028	ABX20H3X30-B-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1	ABX5H3X15-T-Z0_1	ABX10H3X20-T-Z0_1
ABX10/3X30-ET-050	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX5H3X15-B-Z0_1	MGX20H4X30-B-Z0_1	MGX10H4X30-B-Z0_1
ABX10/3X20-EB-102	ABX5H3X30-B-Z0_1	MGX15H5X5-T-Z0_1	ABX15H3X95-T-Z0_1	MGX10H5X5-T-Z0_1
MGX10/4X15-T-110	ABX15H3X25-T-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1
ABX10H3X15-T-Z0_1	ABX5H3X20-T-Z0_1	ABX15H3X10-B-Z0_1	MGX15H5X15-T-Z0_1	ABX20H3X30-B-Z0_1
ABX10/3X20-EBP-104	MGX20H4X40-T-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	MGX10H4X25-T-Z0_2	MGX10H4X15-T-Z0_1
ABX15/3X35-ET-019	ABX10H3X30-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX10H4X25-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1
ABX10/3X15-EB-093	ABX5H3X20-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X5-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1
ABX10/3X25-EB-013	ABX10H3X10-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X150-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1
MGX15/4X40-T-017	ABX20H3X30-B-Z0_1	ABX5H3X30-B-Z0_1	MGX20H4X100-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1
ABX5/3X20-T-047	ABX10H3X15-B-Z0_1	ABX15H3X20-B-Z0_1	ABX15H3X70-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1
ABX10/3X30-EB-029	ABX5H3X15-B-Z0_1	ABX15H3X20-B-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1
MGX20H5X25-B-Z0_1	ABX10H3X20-T-Z0_1	ABX10H3X10-B-Z0_2	MGX10H5X35-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1
MGX15H5X30-T-Z0_1	ABX10H3X25-B-Z0_1	ABX20H3X30-T-Z0_1	MGX20H5X50-T-Z0_1	ABX10H3X30-T-Z0_1
ABX5H3X10-T-Z0_1	ABX5H3X15-T-Z0_2	ABX10H3X15-B-Z0_1	MGX20H5X10-T-Z0_2	MGX10H4X10-T-Z0_1
MGX10H5X30-T-Z0_1	MGX20H4X50-T-Z0_2	MGX10H4X40-T-Z0_1	MGX15H5X20-T-Z0_1	MGX15H4X15-B-Z0_1
MGX10H4X45-B-Z0_1	ABX10H3X20-T-Z0_1	ABX10H3X30-B-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	MGX15H4X20-B-Z0_1
ABX10/3X30-EBP-007	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	MGX15H5X40-B-Z0_1	MGX15H4X15-T-Z0_1
ABX5/3X20-EB-026	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX10H4X20-T-Z0_1	MGX15H4X20-B-Z0_1	ABX5H3X15-B-Z0_1
MGX10/4X50-T-007	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX5H3X15-T-Z0_1
MGX20H4X15-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	ABX20H3X30-T-Z0_3	ABX10H3X10-B-Z0_1
ABX10/3X20-EBP-103	ABX5H3X25-B-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	ABX5H3X15-T-Z0_1
ABX15/3X10-T-019	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	MGX15H5X20-T-Z0_1	MGX15H5X30-T-Z0_1
ABX10H3X15-B-Z0_1	MGX10H4X40-B-Z0_1	ABX5H3X20-B-Z0_2	ABX10H3X30-B-Z0_1	ABX15H3X10-T-Z0_1
ABX10/3X20-T-073	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	ABX5H3X5-B-Z0_1	MGX15H4X5-T-Z0_1
MGX15H4X55-B-Z0_4	MGX15H4X20-B-Z0_1	ABX5H3X20-B-Z0_2	MGX10H4X20-T-Z0_1	MGX10H5X10-T-Z0_4
MGX15H4X20-T-Z0_4	ABX10H3X10-T-Z0_1	MGX20H4X40-T-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	MGX20H4X20-B-Z0_1
ABX15H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	ABX20H3X95-T-Z0_1	MGX20H4X80-T-Z0_1
MGX10/4X20-T-018	ABX10H3X30-T-Z0_2	ABX15H3X20-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX5H3X5-T-Z0_1
ABX20/3X40-EB-007	ABX5H3X10-T-Z0_1	MGX15H5X25-T-Z0_1	MGX10H4X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1
ABX20/3X40-EB-008	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX15H4X20-T-Z0_1	ABX5H3X15-B-Z0_1	ABX10H3X20-T-Z0_1
ABX10H3X15-B-Z0_1	MGX10H4X40-T-Z0_1	ABX20H3X10-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX10H4X10-T-Z0_1
ABX20H3X30-B-Z0_1	MGX10H5X10-T-Z0_1	ABX10H3X10-B-Z0_1	MGX15H5X30-T-Z0_1	MGX10H4X10-B-Z0_1
ABX15H3X35-T-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1	MGX10H4X30-T-Z0_1	ABX5H3X15-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1
ABX10H3X25-B-Z0_1	MGX10H4X10-T-Z0_1	ABX5H3X20-T-Z0_1	ABX10H3X30-B-Z0_1	ABX5H3X10-B-Z0_1
ABX10H3X10-T-Z0_1	ABX5H3X10-B-Z0_1	ABX20H3X25-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1
MGX10H4X25-T-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	MGX10H4X20-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1
ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX5H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X30-B-Z0_1	MGX20H4X45-T-Z0_1	ABX5H3X15-T-Z0_1
MGX10H5X45-T-Z0_1	ABX20H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X10-B-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_2	MGX10H4X15-T-Z0_1

MGX20H4X50-B-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	MGX15H4X15-T-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	ABX5H3X20-T-Z0_1
MGX10H4X15-B-Z0_1	ABX20H3X20-B-Z0_1	MGX20H5X50-B-Z0_1	MGX10H4X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1
MGX10H5X30-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	MGX15H4X80-T-Z0_1	MGX15H4X15-T-Z0_1
ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1
ABX10H3X45-B-Z0_1	MGX10H4X30-B-Z0_1	MGX15H4X20-B-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	ABX5H3X10-B-Z0_1
MGX15H4X40-T-Z0_1	MGX20H4X40-T-Z0_1	ABX5H3X10-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1
ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X30-B-Z0_1	ABX20H3X30-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	ABX15H3X35-T-Z0_1
MGX20/5X40-EB-011	MGX15H4X25-T-Z0_1	ABX10H3X25-B-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	MGX10H4X15-B-Z0_1
ABX5H3X20-B-Z0_2	MGX10H4X15-T-Z0_1	MGX10H5X20-T-Z0_1	ABX5H3X10-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1
ABX20H3X35-B-Z0_1	ABX10H3X30-B-Z0_1	ABX10H3X30-T-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1	ABX5H3X10-T-Z0_1
ABX10H3X30-B-Z0_1	ABX10H3X30-T-Z0_1	MGX10H4X30-T-Z0_1	ABX15H3X15-B-Z0_1	MGX10H5X40-T-Z0_1
MGX15H4X40-T-Z0_1	MGX20H4X25-B-Z0_1	MGX15H4X30-T-Z0_4	MGX10H4X30-B-Z0_1	MGX30H6X5-B-Z0_1
ABX10H3X25-B-Z0_1	MGX10H4X25-T-Z0_1	MGX10H4X10-T-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	ABX5H3X20-B-Z0_1
ABX10H3X25-T-Z0_1	ABX5H3X15-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X15-B-Z0_1	MGX10H4X10-T-Z0_1
ABX15H3X15-T-Z0_1	MGX10H4X40-T-Z0_1	MGX15H4X20-T-Z0_1	MGX10H4X10-B-Z0_1	ABX5H3X15-B-Z0_1
ABX15H3X40-B-Z0_1	MGX15H4X20-B-Z0_1	ABX10H3X25-T-Z0_1	MGX15H4X55-T-Z0_1	ABX5H3X20-T-Z0_1
ABX15H3X30-T-Z0_1	ABX5H3X30-T-Z0_1	ABX5H3X10-B-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	ABX15H3X5-T-Z0_1
ABX20H3X25-B-Z0_1	MGX20H4X20-T-Z0_1	ABX10H3X25-B-Z0_1	ABX15H3X20-T-Z0_1	ABX5H3X20-T-Z0_1
MGX20H4X40-T-Z0_1	ABX15H3X15-B-Z0_1	ABX10H3X30-B-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1	MGX10H4X20-T-Z0_1
ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX20H4X30-B-Z0_1	MGX20H4X5-T-Z0_1	ABX5H3X20-T-Z0_1	ABX15H3X15-T-Z0_1
ABX15/3X20-EB-032	MGX15H4X20-T-Z0_1	ABX20H3X20-B-Z0_1	MGX15H4X15-B-Z0_1	
MGX15H4X30-T-Z0_1	ABX5H3X10-B-Z0_1	MGX15/4X25-B-018	MGX10H4X5-T-Z0_1	
ABX10H3X15-B-Z0_1	MGX10H4X15-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX20H4X20-T-Z0_1	
ABX20H3X35-B-Z0_2	ABX20H3X30-B-Z0_2	MGX10H5X25-B-Z0_1	ABX5H3X20-B-Z0_1	
MGX20H4X35-B-Z0_2	ABX10H3X25-T-Z0_1	ABX15H3X35-T-Z0_2	MGX20H5X30-B-Z0_1	
ABX10H3X10-T-Z0_2	MGX15H4X20-T-Z0_1	MGX10H4X20-T-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	
MGX15H4X20-T-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	ABX10H3X25-B-Z0_1	MGX10H4X15-T-Z0_1	
ABX15H3X25-B-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1	MGX20H5X40-T-Z0_1	ABX15H3X40-T-Z0_1	
ABX10H3X25-T-Z0_1	ABX10H3X25-B-Z0_1	ABX5H3X10-T-Z0_1	ABX10H3X15-T-Z0_1	
ABX15H3X15-T-Z0_1	ABX10H3X35-B-Z0_1	ABX10H3X55-T-Z0_1	ABX15H3X10-T-Z0_1	
ABX10H3X20-T-Z0_1	MGX20H5X65-T-Z0_1	MGX20H5X25-T-Z0_1	MGX20H4X20-B-Z0_1	
MGX10H5X40-B-Z0_1	ABX15H3X40-B-Z0_4	ABX5H3X20-B-Z0_2	MGX10H4X10-T-Z0_1	
ABX20H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX05H4X10-T-Z0_1	ABX5H3X25-B-Z0_1	
MGX20H4X40-B-Z0_1	MGX10H4X20-B-Z0_1	MGX10H5X25-T-Z0_1	MGX20H4X45-T-Z0_1	
MGX20H5X30-T-Z0_1	MGX20H4X25-T-Z0_1	MGX15H5X30-B-Z0_4	MGX10H4X10-T-Z0_1	
ABX15/3X25-EB-027	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX15H4X20-T-Z0_1	MGX30H6X55-B-Z0_1	
ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX15H4X20-T-Z0_1	ABX15H3X20-B-Z0_1	ABX20H3X20-B-Z0_1	
ABX15/3X10-ET-009	MGX10H4X10-T-Z0_1	MGX20H4X15-T-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	
ABX10H3X30-T-Z0_1	ABX20H3X50-B-Z0_1	MGX20H4X40-T-Z0_1	MGX20H5X40-T-Z0_1	

- Ceci permet de faire correspondre à chaque structure posée un vecteur de formation. Par exemple, à la structure *MGX20H4X25-B-Z0\_1* correspond le vecteur de formation  $V_{MG4,20}(5 ; 1)$ .
- Ces vecteurs de formation sont regroupés par gamme et portée. Voir tableau 7.2-i.



**Tableau 7.2-i. Nombre d'occurrences des vecteurs de formation des structures posées, regroupés par gamme et portée.**

Gamme	Portée	Vecteur de formation	Nombre d'occurrences
Abritex	5	$V_{AB \times 5}(M ; B)$	59
	10	$V_{AB \times 10}(M ; B)$	154
	15	$V_{AB \times 15}(M ; B)$	37
	20	$V_{AB \times 20}(M ; B)$	33
MegatexH4	5	$V_{MG4 \times 5}(M ; B)$	1
	10	$V_{MG4 \times 10}(M ; B)$	75
	15	$V_{MG4 \times 15}(M ; B)$	40
	20	$V_{MG4 \times 20}(M ; B)$	32
MegatexH5	10	$V_{MG5 \times 10}(M ; B)$	14
	15	$V_{MG5 \times 15}(M ; B)$	18
	20	$V_{MG5 \times 20}(M ; B)$	16
MegatexH6	30	$V_{MG6 \times 30}(M ; B)$	2
Total général			481

- Par gamme et portée, on somme l'ensemble des vecteurs de formation. Les vecteurs sommes des vecteurs de formation sont notés  $SV_{GAMME, PORTEE}$  (voir tableau 7.2-j).

**Tableau 7.2-j. Vecteurs sommes des vecteurs de formation des poses effectuées en 2011**

$SV_{AB,5}$	59	105	193	59	56	174	75	62	212
-------------	----	-----	-----	----	----	-----	----	----	-----

$SV_{AB,10}$	154	318	629	169	110	448	306	198	810
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

$SV_{AB,15}$	37	90	202	112	46	270	53	28	134
--------------	----	----	-----	-----	----	-----	----	----	-----

<b>SV<sub>AB,20</sub></b>	33	95	214	62	18	142	119	48	286
---------------------------	----	----	-----	----	----	-----	-----	----	-----

<b>SV<sub>MG4,5</sub></b>	1	1	2	1	2	4	0	0	0
---------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

<b>SV<sub>MG4,10</sub></b>	75	154	298	135	102	372	88	48	224
----------------------------	----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	-----

<b>SV<sub>MG4,15</sub></b>	40	97	211	108	52	268	63	28	154
----------------------------	----	----	-----	-----	----	-----	----	----	-----

<b>SV<sub>MG4,20</sub></b>	32	93	219	124	38	286	63	26	152
----------------------------	----	----	-----	-----	----	-----	----	----	-----

<b>SV<sub>MG5,10</sub></b>	14	31	68	38	22	98	16	6	38
----------------------------	----	----	----	----	----	----	----	---	----

<b>SV<sub>MG5,15</sub></b>	18	40	82	52	32	136	12	4	28
----------------------------	----	----	----	----	----	-----	----	---	----

<b>SV<sub>MG5,20</sub></b>	16	48	113	70	22	162	27	10	64
----------------------------	----	----	-----	----	----	-----	----	----	----

<b>SV<sub>MG5,20</sub></b>	2	5	12	0	0	0	10	4	24
----------------------------	---	---	----	---	---	---	----	---	----

- Le produit vectoriel de **SV<sub>GAMME,PORTEE</sub>** et **C<sub>GAMME,PORTEE</sub>** est un vecteur dont les composants sont les masses totales de pièces posées pour la gamme et la portée considérée. Par exemple, pour les MG4x15 :

$$\mathbf{SV}_{MG4x15} * \mathbf{C}_{MG4x15} = (98326 \quad 64060 \quad 44758 \quad 5088 \quad 12303)$$

Le tableau 7.2-k présente ces vecteurs pour chaque gamme et portée de structures posées en 2011. Cela représente les masses de pièces posées par catégories. Par exemple, l'élément de la première ligne et troisième colonne indique qu'environ 40 tonnes de tôles ont été posées dans des structures AB3x5 en 2011.

**Tableau 7.2-k. Masses de pièces posées en 2011 par catégorie de pièces (colonnes), par gamme et portée de structures (lignes)**

17241	24353	39791	2112	3792
-------	-------	-------	------	------

106725	142016	181926	6177	24428
--------	--------	--------	------	-------

70190	45428	30914	3672	11483
-------	-------	-------	------	-------

115310	54141	64931	1899	15905
--------	-------	-------	------	-------

277	398	0	74	42
-----	-----	---	----	----

67819	89711	63696	7116	11776
-------	-------	-------	------	-------

98326	64060	44758	5088	12303
-------	-------	-------	------	-------

155910	66776	46378	5180	16583
--------	-------	-------	------	-------

18578	23536	12165	2185	2691
-------	-------	-------	------	------

49060	31595	9320	3480	4976
-------	-------	------	------	------

100043	41741	23523	3695	8717
--------	-------	-------	------	------

19670	9880	16299	0	1449
-------	------	-------	---	------

- La somme des colonnes de ce tableau permet d’obtenir la masse de pièces posées en 2011, et ce pour chaque catégorie de pièces. Pour être plus exact, il faut enfin extrapoler aux 503 poses (voir tableau 7.2-l).

**Tableau 7.2-l. Masse de pièces posées en 2011**

	Masse d’aluminium (kg)	Masse de pièces d’acier (kg)	Masse de tôle (kg)	Masse de toile 502 (kg)	Masse de toile 602 (kg)	TOTAL toutes catégories de pièces confondues (kg)
TOTAL pour 481 poses	799478	583756	517401	40678	112695	1254530
Extrapolation aux 503 poses effectuées en 2011	836044	610456	541066	42539	117850	1311910

Le même calcul est effectué pour les 251 déposes qui ont eu lieu en 2011. Le tableau 7.2-m présente la liste des 213 codes structures exploitables.

**Tableau 7.2-m. 213 codes des structures déposées en 2011**

ABX5/3X10-T-082	MGX20/4X10-EB-009	ABX10H3X15-B-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1
ABX10/3X30-EB-015	ABX10/3X30-EB-025	MGX10H4X25-T-Z0_1	MGX15H4X20-T-Z0_1
ABX10/3X30-ET-044	ABX5/3X15-EB-017	ABX15H3X30-T-Z0_1	ABX10H3X20-B-Z0_1
ABX5/3X15-EB-022	ABX10/3X10-B-032	ABX5H3X10-B-Z0_1	ABX10H3X25-B-Z0_1
MGX10/4X30-ET-007	MGX10/4X15-T-099	ABX10H3X30-B-Z0_1	ABX10H3X30-B-Z0_1
ABX10/3X15-EB-088	MGX15/4X20-B-023	ABX5H3X15-T-Z0_2	MGX10H4X10-T-Z0_1
ABX10/3X20-B-031	ABX10/3X15-EBP-010	ABX10H3X10-T-Z0_1	MGX20/4X50-T-037
ABX15/3X25-EB-025	MGX10/4X10-ET-026	MGX20H5X65-T-Z0_1	MGX10/4X40-BP-001
ABX15/3X15-T-015	MGX10/4X10-T-104	MGX10H4X10-T-Z0_1	MGX10H4X30-T-Z0_1
ABX10/3X10-T-060	MGX10/4X10-T-092	MGX15H4X20-T-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1
MGX10/4X10-B-048	MGX20/5X10-EB-006	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX20H5X50-T-Z0_1
MGX15/4X20-B-024	MGX10/4X40-T-014	ABX5/3X10-B-011	MGX15H4X30-B-Z0_1
MGX10/4X20-EB-019	MGX15/4X25-T-029	MGX10/4X25-T-047	ABX5H3X15-T-Z0_1
MGX20/4X25-T-029	ABX20/3X30-EB-032	ABX5/3X30-B-006	MGX15H4X20-T-Z0_1
MGX20/4X50-T-033	ABX15/3X10-T-017	ABX20H3X30-B-Z0_1	MGX10/4X25-ET-039
ABX5/3X10-T-084	MGX20/5X15-EB-006	MGX15H5X10-T-Z0_1	MGX10H4X10-T-Z0_1
MGX20/5X30-T-018	MGX10/4X10-T-098	ABX15H3X35-T-Z0_1	ABX15H3X35-T-Z0_1
ABX5/3X15-B-024	MGX20/5X60-EB-010	ABX5H3X25-B-Z0_1	ABX10H3X20-T-Z0_1
MGX15/4X15-ET-013	MGX15/4X10-T-021	ABX5H3X30-B-Z0_1	MGX10H5X40-B-Z0_1
ABX15/3X20-EB-031	MGX10/4X15-EB-040	MGX20H4X40-T-Z0_1	MGX15/5X20-EBR-001
ABX15/3X35-ET-019	ABX10/3X20-B-022	MGX10H4X40-T-Z0_1	MGX15/4X15-B-004
MGX15/5X15-T-021	MGX20/4X15-EB-003	ABX20H3X95-T-Z0_1	ABX5/3X5-EB-021
MGX10/4X60-ET-004	MGX10/4X20-T-142	MGX10H4X20-T-Z0_1	MGX10/4X25-B-023
MGX10/4X30-B-015	ABX10/3X25-EB-011	MGX10/4X50-T-007	MGX15/4X30-EB-025
MGX15/4X25-T-021	MGX10/4X30-T-044	ABX10H3X25-T-Z0_1	MGX15/4X20-EB-039
MGX10/4X20-T-111	ABX10/3X30-EB-008	ABX20H3X30-B-Z0_1	MGX05H4X10-T-Z0_1
MGX10/4X5-T-018	ABX10/3X15-T-047	ABX10H3X15-T-Z0_1	MGX10H4X10-B-Z0_1
MGX10/4X25-ET-020	MGX10/4X15-B-042	MGX15/5X30-ET-010	ABX10H3X10-T-Z0_1
ABX10/3X15-B-023	MGX15/4X25-EBR-001	MGX10H5X30-B-Z0_1	ABX10H3X20-T-Z0_1
MGX20/4X25-ET-007	MGX20/4X50-B-023	ABX10H3X25-T-Z0_1	ABX10H3X30-T-Z0_1
MGX20/4X20-EB-014	MGX10/4X10-T-094	ABX10H3X30-B-Z0_1	ABX10H3X25-T-Z0_1
MGX10/4X20-EB-052	ABX10/3X15-T-071	ABX5H3X10-T-Z0_1	MGX10H4X10-B-Z0_1
MGX20/4X10-T-008	ABX10/3X25-T-019	MGX20/4X25-T-001	ABX10H3X10-T-Z0_1
ABX15/3X15-EB-009	MGX15/4X25-B-018	MGX10/4X20-EB-051	
MGX20/4X100-T-024	MGX15/4X20-T-072	MGX10/4X30-T-039	
MGX10/4X25-EB-033	MGX10/4X15-T-109	MGX10/4X5-T-021	
MGX10/4X30-B-016	MGX15/4X15-T-032	MGX20H5X30-T-Z0_1	
MGX20/4X25-ET-001	ABX5/3X15-EB-021	MGX20H4X50-T-Z0_2	
ABX10/3X15-B-008	ABX10/3X10-T-047	ABX5H3X20-B-Z0_2	
ABX10/3X20-T-073	ABX10/3X60-ET-001	MGX15H4X30-T-Z0_4	
ABX15/3X25-T-005	ABX10/3X10-B-003	ABX10H3X20-B-Z0_1	
MGX20/4X20-B-010	ABX10/3X5-T-001	ABX10H3X15-B-Z0_1	
MGX15/4X75-T-003	MGX10/4X15-T-060	MGX10/4X30-ET-021	
MGX15/4X10-T-019	MGX15/5X25-ET-008	MGX20/4X50-B-020	
ABX10/3X20-EBP-104	MGX15/4X50-EB-003	ABX10H3X25-B-Z0_1	
MGX15/5X15-ET-006	MGX20/4X100-T-017	ABX5H3X20-B-Z0_1	
MGX15/5X25-ET-010	ABX5/3X30-T-012	ABX10H3X10-B-Z0_1	
MGX20/5X20-EB-006	ABX20H3X20-B-Z0_1	ABX15H3X40-T-Z0_1	
ABX10/3X10-EB-070	MGX15/5X30-EB-013	ABX10H3X15-T-Z0_1	
ABX10/3X15-T-072	MGX15/4X25-ET-014	ABX15H3X10-T-Z0_1	
ABX10H3X10-T-Z0_1	MGX10/4X10-T-091	ABX10H3X10-T-Z0_1	
MGX10H4X25-T-Z0_1	MGX15/4X25-T-028	ABX10H3X15-B-Z0_2	
ABX10/3X10-T-048	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX5H3X10-T-Z0_1	
MGX10/4X20-TP-001	ABX10H3X20-B-Z0_1	MGX20H4X100-T-Z0_1	
MGX10/4X20-EB-049	ABX10H3X25-B-Z0_1	ABX10H3X10-T-Z0_1	

MGX10/4X20-EB-055	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X10-B-Z0_1
ABX20/3X25-T-007	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10/3X30-T-019
ABX10/3X10-ET-045	ABX15H3X20-B-Z0_1	MGX10/4X30-ET-033
MGX10/4X10-T-007	ABX10H3X30-B-Z0_1	MGX20/5X15-ET-014
ABX10/3X10-ET-027	ABX10H3X20-B-Z0_1	ABX10H3X20-T-Z0_1

Le tableau 7.2-n présente les résultats obtenus.

**Tableau 7.2-n. Masse de pièces déposées en 2011**

	Masse d'aluminium (kg)	Masse de pièces d'acier (kg)	Masse de tôle (kg)	Masse de toile 502 (kg)	Masse de toile 602 (kg)	TOTAL toutes catégories de pièces confondues (kg)
TOTAL pour 213 déposes	426848	301969	225620	23878	56326	607792
Extrapolation aux 251 déposes effectuées en 2011	502999	355841	265871	28137	66375	716224

On suppose que les autres prestations ne mobilisent aucune masse. En réalité, les prestations de réparation peuvent entraîner le déplacement de pièces. La masse totale mobilisée est toutefois susceptible d'être faible.

Le tableau 7.2-o montre l'ultime étape de calcul permettant de calculer la masse moyenne des prestations.

**Tableau 7.2-o. Calcul de la masse moyenne des prestations effectuées en 2011**

Type de prestations	Nombre d'occurrences	Masse totale mobilisée (kg)
Poses	503	1311910
Déposes	251	716224
Autres	160	0
<i>Moyenne par prestation</i>		2219

La masse moyenne d'une prestation est donc fixée à 2 tonnes.

Ce calcul est entouré d'incertitudes provenant des possibilités d'erreurs dans l'extrapolation des matrices de construction ainsi que dans le comptage des « autres prestations » nécessitant le déplacement des équipes de Locabri.

## 7.3. Données utilisées pour la modélisation de l'usure

### 7.3.1. Quantités de métaux envoyés chez le ferrailleur

Le tableau 7.3-a présente les quantités de métaux envoyées chez le ferrailleur sur la période janvier – septembre 2011.

**Tableau 7.3-a. Quantités d'aluminium et de ferraille envoyées chez le ferrailleur de janvier à septembre 2011**

	aluminium	ferraille
janvier	180	1000
février	550	6920
mars	300	4200
avril	510	4000
mai	500	3000
juin	480	2000
septembre	320	1530
TOTAL	2840	22650

### 7.3.2. Quantités de métaux revenues des chantiers de déposes de janvier à septembre 2011

Ce calcul s'apparente à celui effectué annexe 7.2.7 pour le calcul de la masse moyenne des prestations. Il s'agit d'extraire du logiciel de gestion interne de Locabri les codes des structures déposées entre janvier et septembre 2011, puis d'effectuer le même calcul.

De janvier à septembre 2011, 145 déposes ont eu lieu, parmi lesquelles 113 codes structures sont exploitables (voir tableau 7.3-b).

**Tableau 7.3-b. Codes des structures déposées entre janvier et septembre 2011**

ABX10/3X10-EB-070	ABX5/3X10-T-082	MGX15/4X15-T-032
ABX10/3X15-T-072	ABX10/3X30-EB-015	ABX5/3X15-EB-021
ABX10H3X10-T-Z0_1	ABX10/3X30-ET-044	ABX10/3X10-T-047
MGX10H4X25-T-Z0_1	ABX5/3X15-EB-022	ABX10/3X60-ET-001
ABX10/3X10-T-048	MGX10/4X30-ET-007	ABX10/3X10-B-003
MGX10/4X20-TP-001	ABX10/3X15-EB-088	ABX10/3X5-T-001
MGX10/4X20-EB-049	ABX10/3X20-B-031	MGX10/4X15-T-060
MGX10/4X20-EB-055	ABX15/3X25-EB-025	MGX15/5X25-ET-008
ABX20/3X25-T-007	ABX15/3X15-T-015	MGX15/4X50-EB-003
ABX10/3X10-ET-045	ABX10/3X10-T-060	MGX20/4X100-T-017
MGX10/4X10-T-007	MGX10/4X10-B-048	ABX5/3X30-T-012
ABX10/3X10-ET-027	MGX15/4X20-B-024	ABX20H3X20-B-Z0_1
MGX20/4X10-EB-009	MGX10/4X20-EB-019	MGX15/5X30-EB-013



ABX10/3X30-EB-025	MGX20/4X25-T-029	MGX15/4X25-ET-014
ABX5/3X15-EB-017	MGX20/4X50-T-033	MGX10/4X10-T-091
ABX10/3X10-B-032	ABX5/3X10-T-084	MGX15/4X25-T-028
MGX10/4X15-T-099	MGX20/5X30-T-018	ABX10H3X20-B-Z0_1
MGX15/4X20-B-023	ABX5/3X15-B-024	ABX15/3X25-T-005
ABX10/3X15-EBP-010	MGX15/4X15-ET-013	MGX20/4X20-B-010
MGX10/4X10-ET-026	ABX15/3X20-EB-031	MGX15/4X75-T-003
MGX10/4X10-T-104	ABX15/3X35-ET-019	MGX15/4X10-T-019
MGX10/4X10-T-092	MGX15/5X15-T-021	ABX10/3X20-EBP-104
MGX20/5X10-EB-006	MGX10/4X60-ET-004	MGX15/5X15-ET-006
MGX10/4X40-T-014	MGX10/4X30-B-015	MGX15/5X25-ET-010
MGX15/4X25-T-029	MGX15/4X25-T-021	MGX20/5X20-EB-006
ABX20/3X30-EB-032	MGX10/4X20-T-111	MGX15/4X25-EBR-001
ABX15/3X10-T-017	MGX10/4X5-T-018	MGX20/4X50-B-023
MGX20/5X15-EB-006	MGX10/4X25-ET-020	MGX10/4X10-T-094
MGX10/4X10-T-098	ABX10/3X15-B-023	ABX10/3X15-T-071
MGX20/5X60-EB-010	MGX20/4X25-ET-007	ABX10/3X25-T-019
MGX15/4X10-T-021	MGX20/4X20-EB-014	MGX15/4X25-B-018
MGX10/4X15-EB-040	MGX10/4X20-EB-052	MGX15/4X20-T-072
ABX10/3X20-B-022	MGX20/4X10-T-008	MGX10/4X15-T-109
MGX20/4X15-EB-003	ABX15/3X15-EB-009	ABX10/3X15-B-008
MGX10/4X20-T-142	MGX20/4X100-T-024	ABX10/3X20-T-073
ABX10/3X25-EB-011	MGX10/4X25-EB-033	ABX10/3X15-T-047
MGX10/4X30-T-044	MGX10/4X30-B-016	MGX10/4X15-B-042
ABX10/3X30-EB-008	MGX20/4X25-ET-001	

Les résultats du calcul sont donnés dans le tableau 7.3-c.

**Tableau 7.3-c. Masse d'aluminium, de pièces d'acier et de tôles déposées entre janvier et septembre 2011**

	Masse d'aluminium (kg)	Masse de pièces d'acier (kg)	Masse de tôle (kg)
TOTAL pour 113 déposes	206387	148156	117731
Extrapolation aux 145 déposes effectuées	264833	190111	151070

Ainsi la quantité totale d'aluminium revenue des chantiers de dépose entre janvier et septembre 2011 s'élève à 265 tonnes. La quantité d'acier s'élève à 341 tonnes.

### 7.3.3. Durée moyenne d'une prestation

La durée moyenne d'une prestation a été évaluée à partir du fichier recensant l'ensemble des déposes effectuées en 2011. Pour chaque dépose figure la semaine au cours de laquelle la dépose a été effectuée, et la semaine au cours de laquelle la structure avait été posée.

Le tableau 7.3-d liste ces deux informations pour les 251 déposes effectuées en 2011.

**Tableau 7.3-d. Liste des dates des déposes effectuées en 2011 et dates des poses correspondantes. Le format de la date est le suivant : les quatre premiers chiffres forment l'année, les deux derniers indiquent la semaine.**

Date de pose	Date effective de dépose
201001	201101
200718	201101
200706	201101
200747	201101
200806	201101
200823	201101
200908	201101
200910	201101
200919	201101
200931	201101
200935	201101
200938	201101
200939	201101
201027	201101
201036	201101
200812	201106
201004	201106
201049	201106
200251	201106
201017	201106
201032	201106
201035	201106
201051	201106
200934	201106
201008	201106
201048	201106
200641	201106
200918	201106
201005	201106
201009	201106
201024	201106
201035	201106
201032	201106
201040	201106
201102	201106
201052	201106
200628	201111
201105	201111
200908	201112
200927	201112
200907	201112
201035	201112
200620	201112
201001	201112
200447	201112
200904	201112
200942	201112
201009	201112
201013	201112
201048	201112
201019	201112
201050	201112
200943	201113
200439	201113
200716	201113

201103	201113
200720	201114
201014	201114
201048	201114
201050	201114
201102	201114
200833	201115
200833	201115
200914	201115
200925	201115
201017	201115
201036	201115
201106	201115
201108	201115
200808	201116
200943	201116
200913	201118
200814	201118
201016	201118
201048	201118
200235	201119
200802	201119
200906	201119
201013	201119
201015	201119
201018	201119
201019	201119
201029	201119
201039	201119
201044	201119
201050	201120
200518	201121
200523	201121
200707	201121
200751	201121
200821	201121
201006	201121
201010	201121
201020	201121
201016	201121
201016	201121
201022	201121
201022	201121
201031	201121
201029	201121
201045	201121
200929	201122
201010	201122
201036	201122
201044	201122
200941	201123
200949	201123
201034	201124
201039	201124
200824	201125
200828	201125
200906	201125

201111	201125
201045	201125
201047	201125
201049	201126
200639	201127
200719	201127
200828	201127
200918	201127
201038	201127
201026	201128
201025	201128
201025	201128
201129	201128
201051	201129
201051	201129
201052	201130
201111	201131
201047	201131
200726	201131
200825	201131
200411	201135
199924	201135
200807	201135
200625	201136
200825	201136
200908	201136
201112	201136
201115	201136
200902	201137
201050	201137
201019	201138
201030	201139
201114	201139
201112	201140
201127	201140
201119	201140
201136	201140
201124	201140
201136	201140
201127	201140
201135	201140
201134	201140
201110	201140
201115	201140
201126	201140
201113	201140
201138	201140
201118	201140
201127	201140
201130	201140
201138	201140
201127	201140
201128	201140
200504	201141
201002	201141
201035	201141
201104	201141

201105	201141
201109	201141
201114	201141
201112	201141
201113	201141
201114	201141
201138	201141
201136	201141
201133	201141
201137	201141
201127	201141
201103	201142
201109	201142
201132	201142
201139	201142
200838	201143
201109	201143
201118	201143
201116	201143
201139	201143
200408	201144
200939	201144
201117	201144
201141	201144
201113	201144
201113	201144
201125	201144
201127	201144
201139	201144
201139	201144
200718	201145
201013	201145
201118	201145
201120	201145
201140	201145
201141	201145
201141	201145
201141	201145
201142	201145
201139	201146
201128	201146
201143	201146
201142	201146
201142	201146
200814	201147
200842	201147
201101	201147
201111	201147
201133	201147
201132	201147
201138	201147
201144	201148
201138	201148
201145	201148
200921	201149
201052	201149
201127	201149

201144	201149
201144	201149
201137	201149
201146	201149
201127	201150
201043	201151
201115	201151
201149	201151
201145	201151
201120	201152
201137	201152
200518	201152
200638	201152
201107	201152
201112	201152
201131	201152
201043	201152
201129	201152
201140	201152
201142	201152
201148	201152
201146	201152
201142	201152
201148	201152
201148	201152

A chaque ligne, l'écart en années (les quatre premiers chiffres) et en semaines (les deux derniers) peut donc être calculé, ce qui permet d'évaluer la durée de prestation. Il suffit ensuite de faire la moyenne de ces durées pour obtenir la durée moyenne d'une prestation. Au cours de cette opération, l'une des durées était négative. Cette prestation a donc été écartée de l'évaluation de la moyenne.

La moyenne obtenue s'élève à 72 semaines.

## 7.4. Données afférentes aux matériaux de construction des bâtiments

### 7.4.1. Locabri

Le tableau 7.4-a rassemble les données de Locabri pour le bâtiment de 4000 m<sup>2</sup>.

Tableau 7.4-a. Quantités de matières pour la construction de l'entrepôt Locabri 4000 m<sup>2</sup>

Elément	Matériaux	Masse (kg)
Charpente	acier galvanisé	159000
	aluminium	12000
Toiture	tôle	28720
	laine de verre	4000
Façade	tôle	27264
	laine de roche	23000
Massifs de fondation	béton massif (hors armature)	373000

A ces quantités il faut rajouter l'armature du béton. La masse volumique du béton de fondation est d'environ 2400 kg/m<sup>3</sup>, et l'armature d'acier est présente à environ 40 kg/m<sup>3</sup> (voir tableau 7.4-b)

Tableau 7.4-b. Donnée collectée relative au béton armé

Données	Valeur	Source
Quantité d'armature d'acier présente dans le béton armé du dallage (kg/ m <sup>3</sup> )	40	Base de données de l'outil Elodie (CSTB) – fiche « Béton armé pour le dallage d'un bâtiment de type tertiaire ou grand collectif »

La quantité d'armature en acier à ajouter est donc de :

$$\frac{373000}{2400} * 40 = 6217 \text{ kg}$$

En outre, le béton n'est pas acheminé tel quel sur le chantier de construction, mais est produit sur place à partir d'eau, de sable, de gravier et de ciment (voir tableau 7.4-c).

**Tableau 7.4-c. Données relatives à la composition du béton de fondation**

Données	Valeur
Fraction de sable dans le béton	33%
Fraction de gravier dans le béton	54%
Fraction de ciment dans le béton	15%
Eau nécessaire à la production d'1 kg de béton	6%

Ceci permet de décomposer le flux de béton en flux de sable, de gravier et de béton. Un flux d'eau nécessaire à la production du béton peut aussi être calculé. Celui-ci vaut :

$$EAU = 373000 * 0,06 = 22380 \text{ kg}$$

Le tableau présente les matériaux de construction par type de matières.

**Tableau 7.4-d. Décomposition des données Locabri en flux de matériaux de construction.**

Eléments	Matière	Sable	Gravier	Ciment	Profilé aluminium	Charpente acier galvanisé	Tôles	Acier armature	laine de roche	laine de verre feutre
Charpente	acier galvanisé					159000				
	aluminium				12000					
Toiture	tôle						28720			
	laine de verre									4000
Façade	tôle						27264			
	laine de roche								23000	
Massifs	béton massif	115630	201420	55950						
	acier armature							6217		

La somme de chaque colonne permet d'obtenir **XTOTAL** :

$$XTOTAL(4000m^2) = (115630 \quad 201420 \quad 55950 \quad 12000 \quad 159000 \quad 55984 \quad 6217 \quad 23000 \quad 4000) \text{ kg}$$

Dans le scénario 2, le bâtiment fait 685 m<sup>2</sup>. Une extrapolation surfacique est réalisée.

$$\begin{aligned}
 XTOTAL(685m^2) &= XTOTAL(4000m^2) * \frac{685}{4000} \\
 &= (19786 \quad 34465 \quad 9574 \quad 2053 \quad 27207 \quad 9579 \quad 1064 \quad 3936 \quad 684) \text{ kg}
 \end{aligned}$$

La quantité de d'eau nécessaire à la construction d'un bâtiment de 4000m<sup>2</sup> est :

$$EAU(4000m^2) = 22\,380 \text{ kg}$$

Une extrapolation surfacique est également réalisée :

$$EAU(685m^2) = EAU(4000m^2) * \frac{685}{4000} = 3\,833 \text{ kg}$$

## 7.4.2. Données du cabinet Deveraux

Tableau 7.4-e. Quantités de matières nécessaires à la construction d'un bâtiment industriel de stockage « type » (450 m<sup>2</sup>, habillage métallique simple peau non isolé, terrain favorable). Données issues d'une étude réalisée par le cabinet d'architecture Deveraux.

Données pour l'entrepôt 15x30m <sup>2</sup>	Masse (kg)
Nivellement et hérissos en gravier – épaisseur 30 cm	222768
Forme en sable	37128
Film polyane 200 microns	131,04
Unimat périphérique	165
Massifs isolés sous poteaux de charpente <ul style="list-style-type: none"> <li>• Béton (15,52 m<sup>3</sup>)</li> <li>• Acier</li> <li>• Béton de propreté (2,58 m<sup>3</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 31040</li> <li>• 922</li> <li>• 5160</li> </ul>
Longrines <ul style="list-style-type: none"> <li>• Béton (6,60 m<sup>3</sup>)</li> <li>• Acier</li> <li>• Béton de propreté (3,30 m<sup>3</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 13200</li> <li>• 1237,50</li> <li>• 6600</li> </ul>
Murs en aggloméré de béton creux	12375
Dallage béton B4 armé (65,52 m <sup>3</sup> )	163800
Charpente métallique en profilé acier	15750
Ossature métallique pour la façade, le bardage, les ouvertures	2500
Couverture de type bac acier sec	2414,32
Bardage horizontal en bac acier simple peau	2382,08

## 7.4.3. Données Ecoinvent 2.2

Tableau 7.4-f. Quantités de matières nécessaires à la construction d'un bâtiment industriel de stockage de 600m<sup>2</sup> en acier. Données issues du rapport ecoinvent no7 (Kellenberger et al, 2007)

Données	Masse (kg par m <sup>2</sup> de bâtiment)
Murs – briques de maçonnerie	107
Murs – mortier de ciment	21
Fondations – béton armé	669,3 (fraction béton) 20,7 (fraction acier)
Piliers et poutres en acier	30
Béton armé supportant les poutres et piliers	6,8 (fraction béton) 0,2 (fraction acier)
Plaques profilés en fibre-ciment pour le revêtement (durée de vie de 20 ans – 3 remplacements)	33
Tôles pour toiture (durée de vie de 30 ans – 2 remplacements)	3,6
Isolation – laine de roche (durée de vie de 20 ans – 3 remplacements)	2,2
Isolation – laine de verre (durée de vie de 20 ans – 3 remplacements)	2,2
Isolation – polystyrène (durée de vie de 20 ans – 3 remplacements)	1,8
Fenêtres – verre (durée de vie de 20 ans – 3 remplacements)	1,5
Fenêtres – cadre aluminium (durée de vie de 20 ans – 3 remplacements)	1

