

Travail de fin d'études / Projet de fin d'études : Analyse du Cycle de Vie en phase conception : influence de l'estimation des quantités sur la précision du calcul

Auteur : Castagné, Emma

Promoteur(s) : Attia, Shady; Boucher, Fabian

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil architecte, à finalité spécialisée en ingénierie architecturale et urbaine

Année académique : 2022-2023

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/17404>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Université de Liège
Faculté des Sciences Appliquées

—

Annexes

Analyse du Cycle de Vie en phase conception :
influence de l'estimation des quantités sur la
précision du calcul

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du
grade de master Ingénieur Civil Architecte par
Emma Castagné

Promoteur: Pr. ATTIA Shady - SBD Lab

Jury: Pr. DE BOISSIEU Aurélie,
Pr. REITER Sigrid,
M. BOUCHER Fabian,
Mme. DENIS Eloïse

Table des annexes

Table des annexes	2
1.1 <i>Annexes - Etat de l'art</i>	3
1.1.1 Vocabulaire utilisé pour l'étude	3
1.2 <i>Annexes - Méthodologie</i>	4
1.2.1 Niveaux de précision	4
1.2.2 Eléments sélectionnés	5
1.2.3 Collecte des données primaires	7
1.2.4 Traitement des données primaires	10
1.2.5 Analyse des données	14
1.2.6 Validation	16
1.3 <i>Annexes - Résultats</i>	24
1.3.1 Compléments sur les résultats de la validation	24
1.3.2 Comparaison des bordereaux et des modèles 3D	25
1.3.3 Comparaison des ratios calculés avec les bordereaux et des ratios généraux	28
1.3.4 Résultats par élément	29

1.1 Annexes - Etat de l'art

1.1.1 Vocabulaire utilisé pour l'étude

Le vocabulaire de l'étude est défini dans l'Etat de l'Art – Concepts et Définition. Le Tableau 0-1 explique la hiérarchie entre les différents termes de l'étude à travers des exemples.

Le Gros Œuvre se découpe en deux modèles 3D (Structure et Fondation) et en trois sous-lots (Ossature, Murs et Fondations). Au sein de chaque sous-lots, se trouvent des groupes d'éléments identiques (Dalles, Colonnes, Murs, etc.). Chacun de ces groupes est constitué d'éléments individuels (Dalles Hors Noyau par exemple). Chacun de ces éléments est constitué d'un certain nombre de produits de construction.

Tableau 0-1 - Hierarchie du vocabulaire utilisé

Hierarchie	Exemple				
Lot	GROS ŒUVRE				
Modèle 3D	STRUCTURE			FONDATION	
Sous-lot	OSSATURE		MURS		FONDATION
Groupe d'éléments	DALLES	COLONNES	MURS		DALLES
Élément	Dalles hors noyau	Poteaux mixtes acier-béton	Voiles du noyau	Maçonneries	Radier & Dalles Contre sol
Produit	<ul style="list-style-type: none"> - Coffrage - Armatures HA - Armatures TS - Béton C45/55 - Finition parement supérieur lissé - P.V. formes de pente - Caniveaux - Grilles - Siphons de sol 				

1.2 Annexes - Méthodologie

1.2.1 Niveaux de précision

Les niveaux de précisions sont rappelés dans le Tableau 0-2. Pour chacun, les quantités et les produits pris en compte à ce niveau de détail sont rappelés.

Tableau 0-2 – Détail des niveaux de précision

			Complétude des données	
			Prise en compte...	
			Des produits structurels	De tous les produits
Fiabilité des données	Quantités calculées sur base...	Des bordereaux	ACV de niveau A Quantités de béton, acier et armatures calculées selon les bordereaux	ACV de niveau B Quantités de tous les produits calculées selon les bordereaux
		Des modèles 3D et des ratios généraux	ACV de niveau C Quantités de béton et acier calculées grâce au modèle 3D Quantité d'armatures calculées grâce aux ratios généraux	ACV de niveau E Dans le cas de la Tour Triangle, il n'y a pas de maquette Revit qui détaille les produits comme les coffrages etc.
		Des modèles 3D et des ratios de la phase d'exécution	ACV de niveau D Quantité de béton et acier calculées grâce au modèle 3D Quantité d'armatures calculées grâce aux ratios de la phase d'exécution	
		Des données réelles	ACV de niveau F Le bâtiment n'étant pas encore construit entièrement, la maquette réelle du bâtiment n'est pas disponible	ACV de niveau G Cas idéal, pour certification et réglementation

1.2.2 Eléments sélectionnés

Les différents éléments présents dans les bordereaux sont donnés dans le Tableau 0-3. Il y a 67 éléments au total. En réalité, certains éléments sont fusionnés dans l'étude : l'élément *radier et dalles contre sol* est en fait composé des éléments radier, radier du carneau et dalles de transition.

Eléments sélectionnés pour l'étude

Tableau 0-3 - Ensemble des éléments du bordereau

Eléments du bordereau
Parois moulées de l'enceinte périphérique des infrastructures
Parois moulées du Carneau
Butons
Micro-berlinoise
Barrettes à l'intérieur de l'enceinte périphérique des infrastructures
Barrettes à l'intérieur du Carneau
Têtes de barrettes
Radier
Radier du Carneau
Dalles de transition
Murs poids de la Rampe Sud Pieux secants
Murs poids en bordure du passage Renan
Poutre de couronnement des parois moulées
Contrevoile périphérique
Voiles du noyau
Voiles hors noyau
Poteaux de la tour
Poteaux du Carneau
Poutres en béton armé
Poutre de remplacement voile de 16cm par maçonnerie + poutre
Poutres en acier supports des grilles de ventilation
Dalles du noyau
Dalles hors noyau
Planchers rampes
Dalle de couverture de la rampe Sud et du Carneau
Escaliers
Triement des joints de dilatation
Traitement acoustique des locaux techniques Groupe Electrogène
Aménagement des ouvrages de rétention
Aménagements divers
Voiles de façade (avenue Ernest Renan)
Voiles intérieurs du noyau
Voiles intérieurs hors noyau
Poteaux extérieurs

Poteaux intérieurs de la tour
Poutres courantes en béton armé
Poutres de transfert en béton armé
Poutres de transfert en acier
Ossature acier de la zone «mezzanine»
Ossature acier support cheneaux
Planchers à dalles alvéolaires précontraintes
Travaux en plancher bas
Poteaux
Poutres en plancher haut
Poutre de remplacement voile par maçonnerie + poutre
Habillage des rives des loggias
Poteaux mixtes acier-béton
Poteaux en béton armé
Ossature acier des « redans » double hauteur
Ossature acier
Dalles en plancher haut
Relevés d'étanchéité, murets et acrotères
Longrines
Plots
Souches
Formes de pente
Puisards
Arases de sol, décaissés de plancher, formes de pente
Massifs et socles des équipements techniques
Supports des éléments d'ascenseurs
Réservations, percements, calfeutrements
Incorporations
Siphons de sol
Seuils, relevés, murets
Supplément pour murs fusibles
Scellements de grilles
Maçonneries

1.2.3 Collecte des données primaires

1.2.3.1 Tableaux de ratios

Les différents ratios sont rappelés dans le Tableau 0-4. Dans le projet, seuls les ratios généraux et de la phase d'exécution sont considérés.

Tableau 0-4 – Ensemble des ratios fournis par BESIX

	[kg/m ³]		
	Ratios généraux	Ratios de la phase tender	Ratios de la phase d'exécution
VOILES NOYAU	108	108	108.1
CONTRE VOILE	160	160	173.6
AUTRES VOILES	105	108	150.6
POTEAUX	246	230	124.6
RADIER	185	195	152.8
PLANCHER	119	131	204.5
POUTRES	295	160	190.0

- **Ratios généraux**

Ces ratios ont été déterminés par le client et fournis à BESIX. Ils ne sont pas calculés précisément pour le projet. Ce sont plutôt des ratios « types » dépendant du type de projet, de la surface, du nombre d'étages etc. Grâce à ces ratios, le client a pu définir des premières quantités.

- **Ratios de la phase tender**

Les ratios généraux ont été repris et adaptés par BESIX.

- **Ratios de la phase d'exécution**

Les ratios de la phase d'exécution sont obtenus par calcul : les plans d'exécution spécifient quelle quantité d'armatures correspond à quelle quantité de béton. Ils sont mis à jour progressivement au fil du projet en fonction de l'avancement de la phase EXE. Chaque mois, des Rapports de Progression sont envoyés par les ingénieurs structure (Figure 0-1 et Figure 0-2). Au 10 mars 2023, le rapport mentionnait les informations suivantes :

- L'avancement des études structures est globalement à 30%,
- Dépendant du lot qu'on considère, l'avancement varie de 4 à 90%.

Les ratios du 10 mars 2023, utilisés pour l'étude, ont donc des précisions dépendant du lot auquel ils se réfèrent puisqu'ils ont été calculés à un avancement plus ou moins important.

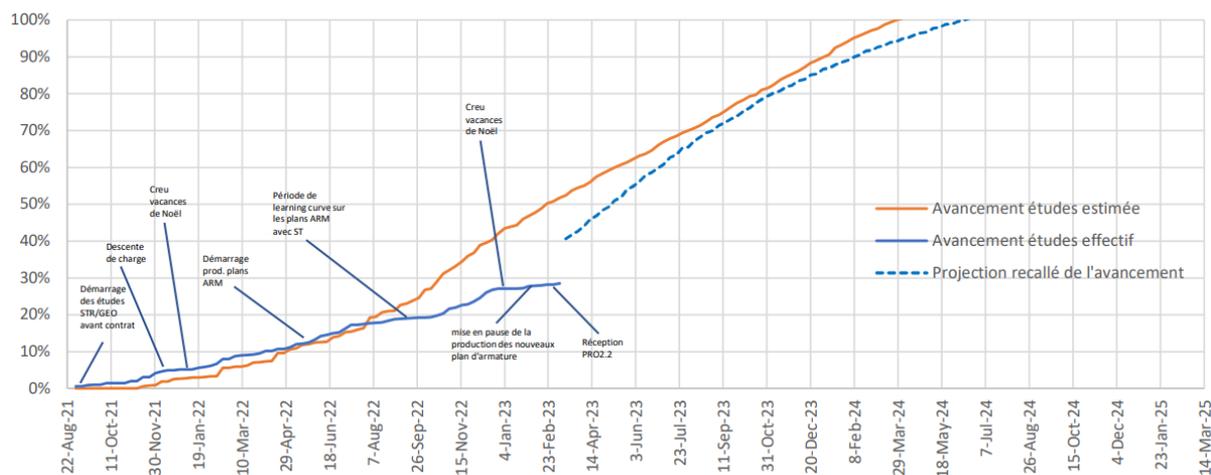


Figure 0-1 - Avancement des études structures en EXE au 10/03/23 - Progress report STR 028 fourni par BESIX

Récapitulatif des documents par émetteur				
Emetteur	type	Nb	Nb REV	Avancement
		total	A	
BED	NDC GEO	8	8	90.6%
BED	NDC STR	105	49	49.1%
DED	COF ESCALIERS	58	40	74.0%
DED	COF FOND	6	6	81.4%
DED	COF INFRA	11	11	85.5%
DED	COF PLANCHER	137	137	77.8%
DED	COF POTEAUX	16	16	83.8%
DED	COF POUTRES	98	22	25.2%
DED	COF VOILES	105	37	30.6%
DED	METALLIQUE	7	2	23.6%
DED	ARM PLANCHER	546	39	8.0%
DED	ARM POTEAUX	297	40	13.9%
DED	ARM POUTRES	538	33	7.9%
DED	ARM RADIER	44	44	90.0%
DED	ARM VOILES AUTRES	108	24	19.2%
DED	ARM VOILES NOYAU	416	26	4.7%
DED	MACONNERIE	63	52	61.9%
TOTAL		2563	586	28.49%

Figure 0-2 – Avancement des études au 2023-03-10 - TTR - Progress report STR 028 fourni par BESIX

Comme visible sur la Figure 0-3, si l'on applique chaque ratio à une même quantité de béton, les ratios généraux donnent une plus grande quantité d'armatures que les ratios de la phase tender. En effet, les ratios de la phase tender sont une version "optimisée" des ratios généraux. Enfin, les ratios de la phase d'exécution donnent une quantité d'armatures plus grande : au moment de l'étude, les ratios disponibles correspondaient principalement au calcul du socle du bâtiment. Ce socle est constitué d'un plus grand nombre d'armatures que le reste des étages. Les ratios ne sont donc pas représentatifs de l'entièreté de la tour mais uniquement de la partie exécutée / en cours d'exécution à savoir les fondations et le socle.

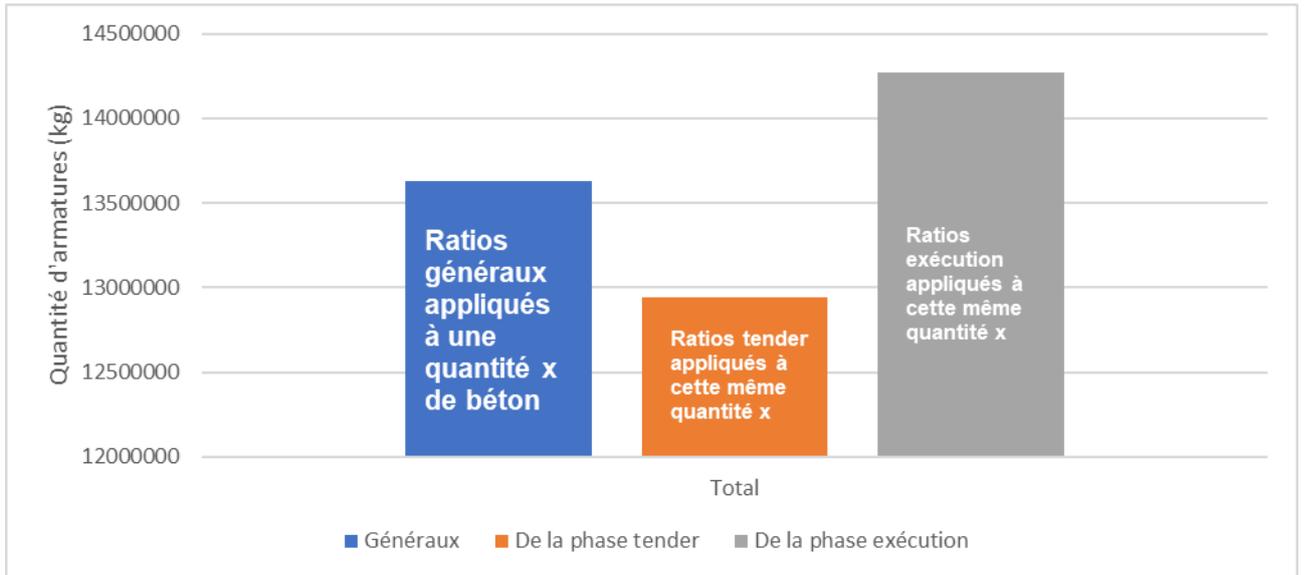


Figure 0-3 - Ratios appliqués à une même quantité de béton

La Figure 0-4 détaille ces quantités par partie du bâtiment.

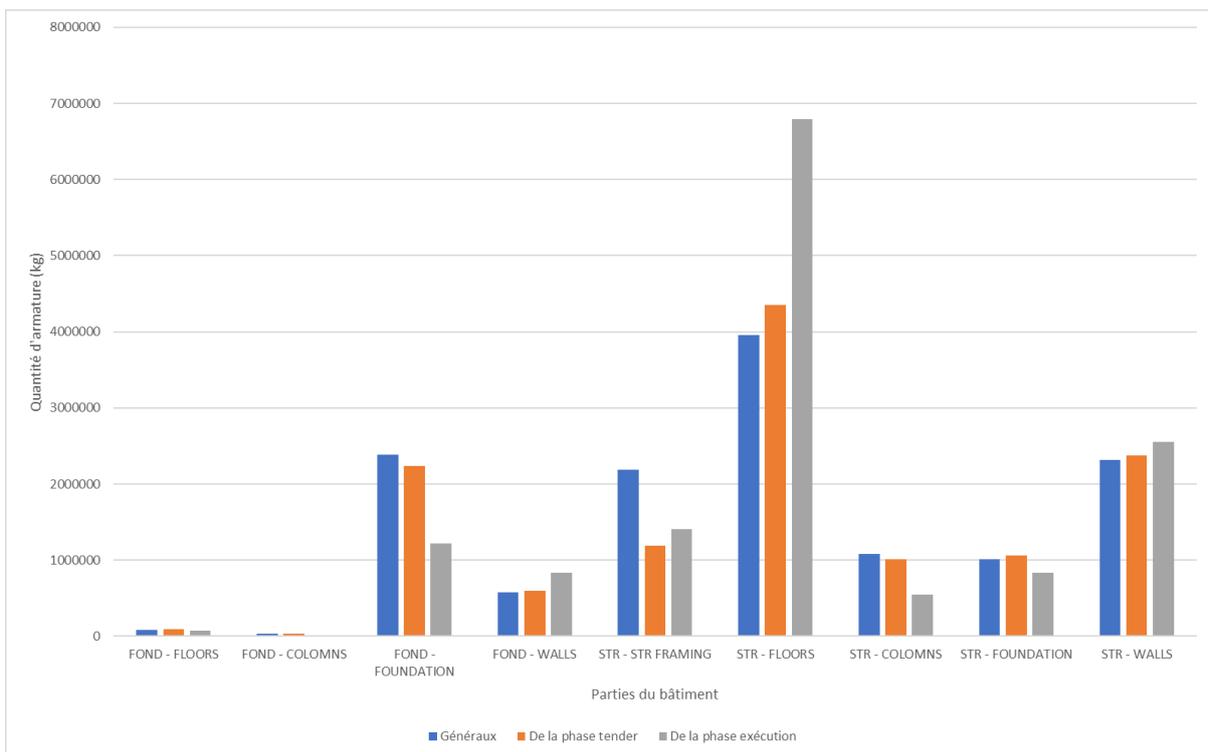


Figure 0-4 - Ratios appliqués à une même quantité de béton, par partie du bâtiment

1.2.4 Traitement des données primaires

Lors du traitement des données primaires, un certain nombre d'hypothèses sont prises.

D'abord, des hypothèses sont prises lors du traitement des **bordereaux**. Toutes les quantités de produits y sont spécifiées, ligne par ligne. Toutefois, parfois l'unité utilisée n'est pas adaptée. Par exemple, la quantité du produit « corbeaux filants » de l'élément « voile du noyau » était indiquée en ml (mètre linéaire). Or, pour prendre en compte ce produit sur One Click LCA, une quantité de béton en m³ doit être calculée. Ici, des hypothèses sur la forme du corbeau doivent être formulées. Les quantités sont calculées suivant la géométrie d'un corbeau trouvée sur internet. Toutefois, la géométrie exacte des corbeaux de la Tour Triangle aurait pu être recherchée et des calculs plus fins auraient pu être menés. La quantité aurait pu être plus précise.

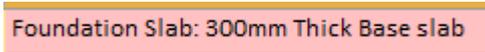
Ensuite, des hypothèses sont faites lors de la collecte des données réalisées grâce aux **modèles 3D**. Les quantités sont extraites de Revit grâce au plugin Diroots. Les tableurs ainsi obtenus compilent des milliers de lignes. Chaque ligne correspond à une quantité de béton ou d'acier. Parfois, la quantité associée à la ligne est nulle. Dans l'étude, ces lignes sont négligées. Toutefois, une analyse plus poussée sur Revit aurait pu permettre de retrouver l'élément concerné par cette ligne et donc la quantité associée.

1.2.4.1 *Hypothèses - Modèles 3D*

Les hypothèses faites lors du traitement des modèles 3D sont données dans le Tableau 0-5.

Tableau 0-5 - Hypothèses faites avec les modèles 3D

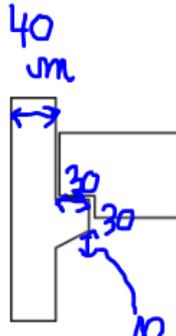
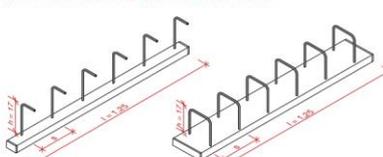
Problématique	Hypothèse
Béton et acier	
Ligne "matériau" vide	Lorsque certains matériaux sont inconnus, il est possible de chercher l'élément correspondant sur Revit grâce à la fonction Manage – Select by ID. Ainsi, on peut obtenir plus d'information sur l'élément et en déduire son matériau. Sinon, le Cahier des Charges Techniques (CCTP) peut donner des informations complémentaires. Par exemple, on y trouve que les escaliers sont constitués de béton C30/37.
Ligne "quantité" vide	La plupart du temps, ce problème correspond à l'export Revit de données qui n'ont pas de volume (des lignes de modèle par exemple). Toutefois, pour les escaliers, aucune quantité n'a pu être extraite en même temps que les autres éléments. Pour résoudre ce problème, un export est réalisé spécialement pour les escaliers. Les données sont mises en parallèle afin de relier les quantités (Volume) aux Element ID.

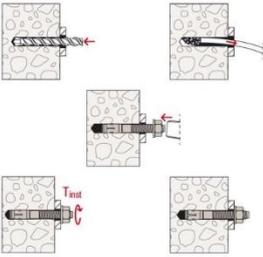
Armatures	
Quantité de béton à laquelle appliquer le ratio	<p>Nous avons 7 ratios à disposition : voiles du noyau, contrevoiles, autres voiles, poteaux, poutres, dalles et radier. Dans l'idéal, il faudrait appliquer à chaque élément le ratio correspondant. Or, lorsque l'on extrait les quantités de Revit, on retrouve des feuilles avec des milliers de lignes. Il est difficile de regarder manuellement, pour chaque ligne, quel ratio correspond.</p> <p>Le ratio est appliqué par "sous-lot". Par exemple, la quantité totale de béton pour le sous-lot Columns de la Structure est calculée, puis le ratio associé aux Colonnes est appliqué à cette quantité.</p>
Sept éléments sélectionnés	
Radier Dans Fondation – Structural Foundation Structure – Structural Foundation	<p>Une dalle mentionnée comme étant une fondation est considérée comme un radier.</p> <div style="text-align: center;">  <p>Figure 0-5 - Extrait de l'excel brut Dirroots Structure fourni par BESIX</p> </div>
Voiles du noyau Dans Structure - Walls	<p>Le paramètre d'instance "B6_1D_Element_Number" donne des indications à propos du voile (V.FOND ou VN).</p> <p>La paramètre BTTRI_Materiau donne des informations sur le type de matériau (Maconneries).</p>
Maçonneries Dans Structure - Walls	<p>On peut donc distinguer les différents types de voiles (Hors Noyau, Noyau, Maçonneries, Fondation).</p>
Poteaux mixtes acier béton Dans Structure – Structural Columns	<p>Le CCTP fait mention des poteaux mixtes acier-béton : ils sont utilisés à l'endroit où il est nécessaire de reprendre des efforts de traction en façade.</p> <p><i>11.6.3.2. Poteaux mixtes acier-béton</i></p> <p>Du fait d'importants efforts de traction tels que décrits au § 7.1.4 Figure 20, certains poteaux-tirants situés en façade sont constitués de profilés en acier type HEM enrobés de béton armé, la connexion étant assurée par des goujons.</p> <p>Une attention particulière devra être portée à la conception et à l'exécution des détails d'assemblages des poteaux-tirants entre eux et de leurs connexions avec les ossatures de planchers.</p> <p>Métré : profilé du commerce, goujons, coffrage rectangulaire incliné, parement soigné, fourniture et pose armatures HA, béton C80/95.</p> <p style="text-align: center;"><i>Figure 0-6 - Extrait du CCTP fourni par BESIX</i></p> <p>Dans le paramètre d'instance "Comments", il est spécifié "poteau en traction" le cas échéant.</p>

1.2.4.2 Hypothèses - Bordereaux

Les hypothèses faites lors du traitement des bordereaux sont données dans le Tableau 0-6.

Tableau 0-6 - Hypothèses faites avec le bordereau

Problématique	Hypothèse	Schéma																																
Sept éléments sélectionnés																																		
Corbeaux filants des voiles	<p>Hypothèse sur la forme : un schéma trouvé sur internet d'un corbeau est utilisé (Figure 0-7).</p> <p>Hypothèse sur le matériau : le corbeau est constitué du même matériau que le mur donc C60/75</p>	 <p style="text-align: center;">Figure 0-7 - Schéma d'un corbeau filant (Applications courantes, 2018)</p>																																
Attentes pour plancher des voiles	<p>Hypothèse sur la forme et le matériau : une information est trouvée dans le CCTP (boîte Stabox) puis une recherche internet est menée à ce propos (Figure 0-8).</p> <p>Dans la fiche EPD (introuvable sur OCL), le matériau le plus contributeur est l'acier : on néglige donc les isolants etc.</p>	<p style="color: red;">Dimensions of the standard versions</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Possible hook/stirrup spacing s cm</th> <th>Number of stirrups and hooks with standard element length</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Steel Ø mm</th> <th>Possible hook/stirrup shape</th> <th>Possible hook/stirrup spacing s cm</th> <th>Stirrup height h cm</th> <th>Overlap length l_o cm</th> <th>Element length l m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8</td> <td>L/B</td> <td>10 / 15 / 20</td> <td>17</td> <td>28*</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>L/B</td> <td>10 / 15 / 20</td> <td>17</td> <td>30</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>L/B</td> <td>10 / 15 / 20</td> <td>17</td> <td>39</td> <td>1,25</td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small;">With the standard types of the Stabox® rebar connections, the stirrup dimensions such as stirrup height h and overlap length l_o are manufactured in accordance with the Stabox® type static calculation and type test report. * Minimum value of the overlap length according to the Stabox® type test is 21 cm.</p> <p style="text-align: center;">Figure 0-8 - Fiche technique des boîtes d'attente Stabox (Solutions, 2021)</p>	Possible hook/stirrup spacing s cm	Number of stirrups and hooks with standard element length	10	12	15	8	20	6	Steel Ø mm	Possible hook/stirrup shape	Possible hook/stirrup spacing s cm	Stirrup height h cm	Overlap length l _o cm	Element length l m	8	L/B	10 / 15 / 20	17	28*	1,25	10	L/B	10 / 15 / 20	17	30	1,25	12	L/B	10 / 15 / 20	17	39	1,25
Possible hook/stirrup spacing s cm	Number of stirrups and hooks with standard element length																																	
10	12																																	
15	8																																	
20	6																																	
Steel Ø mm	Possible hook/stirrup shape	Possible hook/stirrup spacing s cm	Stirrup height h cm	Overlap length l _o cm	Element length l m																													
8	L/B	10 / 15 / 20	17	28*	1,25																													
10	L/B	10 / 15 / 20	17	30	1,25																													
12	L/B	10 / 15 / 20	17	39	1,25																													

<p>Goujons des poteaux mixtes en acier-béton</p>	<p>Hypothèse sur la forme : un schéma est trouvé sur internet (Figure 0-9).</p> <p>Hypothèse sur le matériau : acier</p>	 <p>Figure 0-9 - Goujon d'ancrage (Distribution, s. d.)</p>
--	--	---

1.2.4.3 Consolidation sur Excel

Les quantités sont collectées sur Excel. Avant d'importer les fichiers sur One Click LCA, les feuilles sont « consolidées » : lorsque le matériau est identique, les quantités sont additionnées. Le nombre de ligne final est donc réduit. Le mécanisme est montré grâce aux Figure 0-10 et Figure 0-11.

ELEMENT	IFCMATERIAL	CLASS	COMMENT_ID	QUANTITY	QTY_TYPE
1216169	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors 0.20	1,65784912	m3
1216209	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors 0.20	1,82970715	m3
1216737	BETON C35/45	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors 0.20	0,27630248	m3
1216779	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors 0.20	1,66639636	m3
1216486	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors 0.35	12,64088678	m3
1457249	Grave Bitume Classe 3 0/12 _ EB10 roul.35/50 (BBSG 0/10 classe2)	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors COUCHE ROULEM	37,88866917	m3
1457471	Grave Bitume Classe 3 0/12 _ EB10 roul.35/50 (BBSG 0/10 classe2)	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors COUCHE ROULEM	32,45951901	m3
1457723	Grave Bitume Classe 3 0/12 _ EB10 roul.35/50 (BBSG 0/10 classe2)	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors COUCHE ROULEM	12,01817357	m3
1457773	Grave Bitume Classe 3 0/12 _ EB10 roul.35/50 (BBSG 0/10 classe2)	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors COUCHE ROULEM	9,11136778	m3
4313944	Grave Bitume Classe 3 0/12 _ EB10 roul.35/50 (BBSG 0/10 classe2)	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors COUCHE ROULEM	12,28901566	m3
4668730	Grave Bitume Classe 3 0/12 _ EB10 roul.35/50 (BBSG 0/10 classe2)	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Floors COUCHE ROULEM	5,3229801	m3
4681490	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Precast Floors 0.20	2,1204724	m3
4681979	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r20_(23.2)_Precast Floors 0.20	1,42076984	m3
4527098	BETON C35/45	SLAB	Floor: B6_r22_(23.2)_Beton de pente Beton nc	8,35251564	m3
4547667	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r22_(23.2)_Beton de pente Beton nc	9,8810115	m3
4549072	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r22_(23.2)_Beton de pente Beton nc	4,3952416	m3
1421735	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r22_(23.2)_Dalle BA de transition 3l	20,58218411	m3
1421790	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r22_(23.2)_Dalle BA de transition 3l	19,17790024	m3
1421883	BETON C45/55	SLAB	Floor: B6_r22_(23.2)_Dalle BA de transition 3l	7,34972661	m3
1216082	BETON C35/45	SLAB	Floor: B6_r22_(23.2)_DalleBA 200mm	2,66739648	m3

Figure 0-10 - Tableur Excel avant consolidation



CLASS	IFCMATERIAL	QUANTIT	QTY_TYP
FLOOR	BETON C45/55	246,465	m3
FLOOR	BETON C35/45	222,833	m3
FLOOR	Grave Bitume Classe 3 0/12 _ EB10 roul.35/50 (BBSG 0/10 classe2)	109,09	m3
FLOOR	Armature acier	112786	kg

Figure 0-11 - Tableur Excel après consolidation

1.2.5 Analyse des données

1.2.5.1 One Click LCA

Les données environnementales sont choisies sur One Click LCA. Le plus que possible, des données génériques sont considérées. L'ensemble de ces données est résumé dans la Figure 0-12 (scindée en deux sur les pages suivantes).

Resource name	Technical specification	Product	Manufacturer	EPD program	EPD number	Environment Data Source	Standard	Verification	Year	Country	Upstream database	Density	Product Category Rules (PCR)	Notes about PCR	Performance ranking	Download EPD
Aggregate (crushed gravel), generic, dry bulk density	1600 kg/m ³			One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	1600.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 43 / 153 See full ranking:	
Concrete block, masonry	B40, 200x500x200/250 mm		CERIB	INIES	INIES_CMUR20111104_133255_5885	FDES	EN15804+A1	Third-party verified (as per ISO 14025)	2017	france	ecoinvent	885.0	EN15804+A1	EN15804+A1	CO2 CML: 7 / 135 See full ranking:	Download EPD
Concrete masonry unit, hollow, for concrete filling, excluding the filling concrete	béton classes B40/B80, 200x200x200-250mm, 177 kg/m ² mur		CERIB	INIES	INIES_CBLO20170626_135016_26904	FDES	EN15804+A1	Third-party verified (as per ISO 14025)	2017	france	ecoinvent	885.125	EN15804+A1	EN15804+A1	CO2 CML: 5 / 135 See full ranking:	Download EPD
Crushed rock / gravel mix (50-50 %), dry bulk density	1680 kg/m ³			One Click LCA	-	LCA of crushed stone, OneClickLCA 2016	ISO14040	Internally verified	2016	LOCAL	ecoinvent	1680.0	-	Only with EN15804	CO2 CML: 116 / 153 See full ranking:	
Electricity, France				One Click LCA		LCA study for country specific electricity mixes based on IEA, OneClickLCA 2022		Internally verified	2019	france	ecoinvent				Utilities: 153 / 1030 See full ranking:	
Flooring screed	C20/25 - XC1 - S3 - 20 CEM I, 50mm, 116.8kg/m ² , 2336 kg/m ³		SNBPE	INIES	INIES_CCHA20181217_151718_12450	FDES	EN15804+A1	Third-party verified (as per ISO 14025)	2018	france	ecoinvent		EN15804+A1	EN15804+A1	CO2 CML: 32 / 170 See full ranking:	Download EPD
Ready-mix concrete for outer walls	C25/30, XF1, ep.18cm, 455.67kg/m ² , 2531.5kg/m ³		SNBPE	INIES	INIES_CFAÇ20190911_122012_12329	FDES	EN15804+A1	Third-party verified (as per ISO 14025)	2020	france	ecoinvent		EN15804+A1	EN15804+A1	CO2 CML: 632 / 799 See full ranking:	Download EPD

Ready-mix concrete, high strength, generic	C45/55 (8527/7977 PSI) with CEM I (400 kg/m ³ ; 25.0 lbs/ft ³ total cement)	One Click LCA 2022	One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1, EN15804+A2	Internally verified	2022	LOCAL	ecoinvent	2400.0	EN15804+A1, EN15804+A2	-	CO2 CML: 316 / 510 See full ranking:
Ready-mix concrete, high-strength, generic	C60/75 (8700/10900 PSI), 0% recycled binders in cement (500 kg/m ³ / 31.21 lbs/ft ³)		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1, EN15804+A2	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	2400.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 480 / 510 See full ranking:
Ready-mix concrete, normal strength, generic	C35/45 (5000/8500 PSI) with CEM I, 0% recycled binders (340 kg/m ³ ; 21.2 lbs/ft ³ total cement)		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1, EN15804+A2	Internally verified	2020	LOCAL	ecoinvent	2400.0	EN15804+A1, EN15804+A2	-	CO2 CML: 792 / 946 See full ranking:
Ready-mix concrete, normal-strength, generic	C40/50 (5800/7300 PSI), 0% recycled binders in cement (400 kg/m ³ / 24.97 lbs/ft ³)		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1, EN15804+A2	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	2400.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 542 / 711 See full ranking:
Ready-mix concrete, normal-strength, generic	C30/37 (4400/5400 PSI), 0% recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lbs/ft ³)		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1, EN15804+A2	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	2400.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 653 / 946 See full ranking:
Reinforcement steel (rebar), generic	60% recycled content, A615		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	7850.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 227 / 316 See full ranking:
Structural hollow steel sections (HSS), cold rolled, generic	10 % recycled content, circular, square and rectangular profiles, S235, S275 and S355		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1, EN15804+A2	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	7850.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 449 / 457 See full ranking:
Structural steel profiles, generic	60% recycled content, I, H, U, L, and T sections, S235, S275 and S355		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1, EN15804+A2	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	7850.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 281 / 457 See full ranking:

Figure 0-12 - Données environnementales choisies, capture d'écran du logiciel One Click LCA

1.2.6 Validation

1.2.6.1 Résumé des calculs réalisés

Toutes les ACV réalisées dans le cadre de l'étude et leur lien avec les cycles de validation sont explicitées dans les tableaux suivants.

D'abord, le Tableau 0-7, les données utilisées (quantités et données environnementales) sont rappelées. En effet, bien que la variable « donnée environnementale » ne soit pas étudiée, le choix de cette donnée sur One Click LCA a nécessairement un impact sur le résultat.

Tableau 0-7 - Données utilisées pour chaque ACV réalisée

ACV	Données d'entrée		Cycle
	Quantités	Donnée environnementales	
ACV initiale Modèle 3D	Sur base des excels initiaux avec ratios BED Tender	Proposées par OCL	Avant cycle 1
ACV initiale Bordereau	Sur base des bordereaux		
ACV initiale Modèle 3D	Sur base des excels consolidés avec ratios BED Tender Comparaison des hypothèses	Par comparaison avec ACV existante Modèle 3D	Avant cycle 2
ACV initiale Bordereau	Sur base des bordereaux Comparaison des hypothèses	Par comparaison avec ACV existante Bordereau	
ACV initiale Modèle 3D	Après ajout de Fondation – Structural Framing et Maçonneries	Pas de modification	Avant cycle 3
ACV Niveau A	Sur base des bordereaux	Par comparaison avec ACV existante Bordereau	Avant cycle 2
ACV Niveau B	Sur base des bordereaux avec produits structurels de n° LOD 350		
ACV Niveau B'	Sur base des bordereaux avec produits structurels de n° LOD 300		
ACV Niveau A	Pas de modification	Adaptation du mapping : comparaison avec niveau C et D	Avant cycle 3
ACV Niveau B			
ACV Niveau C	Sur base des excels consolidés avec ratios généraux		

	Ratios distingués pour les sept éléments	Par comparaison avec ACV existante Modèle 3D	Avant cycle 2
ACV Niveau D	Sur base des excels consolidés avec ratios de la phase d'exécution Ratios distingués pour les sept éléments		
ACV Niveau D'	Sur base des excels consolidés avec ratios BED Tender Ratios distingués pour les sept éléments		
ACV Niveau C	Ajout Structural Framing et Maçonneries	Pas de modification	Avant cycle 3
ACV Niveau D			

Le Tableau 0-8 explique pourquoi plusieurs ACV sont réalisées. Le lien entre ces ACV et le résultat est également représenté.

Tableau 0-8 – Justification : pourquoi une autre ACV a été réalisée ?

ACV	Cycle	PRG total (kgCO2.eq)	Justification
ACV initiale Modèle 3D	Avant cycle 1	41 810 983	Première version de l'ACV → beaucoup d'oublis, hypothèses parfois fausses. Sur base des excels non consolidés. Pas de comparaison avec ACV existante, ni des quantités ni des matériaux
ACV initiale Bordereau		53 776 746	Première version de l'ACV → beaucoup d'oublis, hypothèses parfois fausses. Pas de comparaison avec ACV existante, ni des quantités ni des matériaux
ACV initiale Modèle 3D	Avant cycle 2	56 188 131	Après comparaison des quantités, hypothèses et matériaux avec ACV existante
ACV initiale Bordereau		53 776 746	Après comparaison des quantités, hypothèses et matériaux avec ACV existante
ACV initiale Revit	Avant cycle 3	57 376 272	Après ajout de Fondation – Structural Framing et Maçonneries
ACV Niveau A	Avant cycle 2	54 758 566	Première version
ACV Niveau B		55 668 438	
ACV Niveau B'		55 499 613	
ACV Niveau A	Avant cycle 3	54 302 700	Après adaptation du mapping
ACV Niveau B		55 034 547	
ACV Niveau C	Avant cycle 2	56 155 124	Première version
ACV Niveau D		57 035 045	
ACV Niveau D'		55 216 772	
ACV Niveau C	Avant cycle 3	58 667 725	Après adaptation du mapping Ajout de Fondation – Structural Framing et Maçonneries
ACV Niveau D		59 204 359	

1.2.6.2 Comparaison des ACV initiales lors du Cycle 1 – Modèle 3D

Pour rappel, le cycle 1 permet de comparer les ACV réalisées par BESIX avec les ACV de l'étude, réalisées dans les mêmes conditions. D'abord, les ACV réalisées à partir des modèles 3D sont comparées en détail. Comme expliqué dans le mémoire, ces différences peuvent être expliquées par des problématiques logiciel : BESIX n'a pas consolidé ses fichiers avant de les importer sur One Click LCA et donc, des données sont perdues.

Toutefois, les différences relevées entre les ACV de l'étude et de BESIX sont aussi expliquées par le fait que des hypothèses différentes sont prises lors de l'étude. D'abord, les Figure 0-13 et Figure 0-14 recensent les différences entre les quantités. Plus tard, il est également constaté l'oubli de la feuille « Structural Framing » du fichier Fondations. Ces quantités sont rajoutées aux ACV de l'étude.

	TFE	BESIX	Différence / tota
FLOORS			
BETON C45/55	246,5	242,9	1%
BETON C35/45	222,8	222,8	0%
Grave Bitume Classe 3 0i	109,1	109,4	0%
Armature acier	91513,0	61014,1	50%
STAIRS			
BETON C30/37	0,8	X	
COLUMNS			
BETON C40/50	72,2	X	
BETON C30/37	56,1	X	
HEA	2,2		
HEB	0,84	3,0	0%
Armature acier	29519,5	X	
FOUNDATIONS			
BETON C45/55	57,5	57,5	0%
BETON C35/45	57,2	57,2	0%
BETON C40/50	9607,6	9607,6	0%
Armature acier	2236147,3	2333371,1	-4%
WALLS			
GRAVIER	287,2	287,2	0%
BETON C25/30	36,3	36,3	0%
BETON C45/55	70,7	77,4	-9%
BETON C35/45	1,1	2,2	-48%
BETON C40/50	5427,2	5427,2	0%
Armature acier	597821,0	592303,8	1%
TOTAL Hors Armatu	16255,5	16130,9	1%
TOTAL Armatures (t	2955000,8	2986689,0	-1%
TOTAL BETON	16252,5	16127,9	
TOTAL ACIER (kg)	23589,0	23589,0	

Figure 0-13 - Comparaison des quantités des modèle 3D de l'étude et BESIX - Fondations

	EMMA	ELO	Différenc / tota
FLOORS			
BETON C35/45	32885,5	32879,9	0%
BETON C45/55	329,4	324,2	2%
Armature acier	4351158,2	4349735,8	0%
STAIRS			
BETON C30/37	1032,2	485,9	112%
COLUMNS			
BETON C80/95	4403,0	4410,5	0%
Armatures acier	1012682,0	1014417,3	0%
ACIER S355	31,8		
HEB260	0,08		
ACIER S275	0,64		
CHS65	0,04		
HE160A	0,15	35,6	0%
HE220B	0,73		
HE240B	1,51		
HEB360	0,62		
FOUNDATIONS			
BETON C45/55	5451,1	5451,1	0%
Acier armature	1062957,3	714088,9	49%
WALLS			
BETON C60/75	22026,5	22008,2	0%
Armature acier	2378860,2	2376881,3	0%
MACONNERIES BL	34,7	28,4	22%
MACONNERIES BL	35,9	6,2	476%
BEAMS			
BETON C35/45	7315,0	7045,4	4%
BETON C60/75	102,6	102,6	0%
BETON C45/55	1,1	1,1	0%
Armatures acier	1186979,7	1143837,0	4%
Acier	2,4		
HEA	4,3		
HEB	4,1	13,0	
IPE	2,0		
UPN	0,1		0%
TOTAL Hors Arm	73665,5	72792,0	1%
TOTAL Armature:	9992637,4	9598960,2	4%
TOTA BETON	73616,9	72743,3	
TOTAL ACIER (kg)	379524,76	379440,99	

Figure 0-14 - Comparaison des quantités des modèle 3D de l'étude et BESIX - Structure

Les principales hypothèses pouvant expliquer ces différences sont données dans le Tableau 0-9.

Tableau 0-9 - Hypothèses comparaison ACV initiale – Modèle 3D

Problématique	Hypothèse
Quantité d'armatures différente	Ratios utilisés différents
Quantité de béton nulle pour Fondation – Escalier dans les quantités existantes de BESIX	Oubli / Volonté de BESIX ?
Feuille Fondation – Column non prise en compte dans les quantités existantes de BESIX	

1.2.6.3 Comparaison complète lors du Cycle 1 – ACV bordereau

Ensuite, les ACV réalisées à partir des bordereaux sont comparées. Les différences sont recensées dans la Figure 0-15.

	TFE	Besix	Différence	
COLUMNS				
Acier	217486,48	217486,5	0%	kg
Armatures	852980,85	852980,8	0%	kg
Béton C80/95	3708,6021	3708,602	0%	m3
FOUNDATION				
Acier	37164,77	37164,77	0%	kg
Armatures	2253554,9	2259554	0%	kg
Béton C35/45	19295,47	19295,47	0%	m3
Béton C40/50	400	0		m3
Béton C45/55	5880,337	5880,337	0%	m3
Béton de propreté	5732,85	5732,85	0%	m³
Béton projeté		253,5	-100%	m³
Coffrage des faces verticales		23,88	-100%	m²
Coffrage perdu fusible		5461	-100%	m²
Etanchéité parties courantes		5461	-100%	m²
Remblais complémentaires contre les ouvrages		0,97	-100%	m3
Coffrage des murs de fosses		577,12	-100%	m3
Soutènement	324,64	324,64	0%	m²
SLAB				
Armatures	3735090,3	3742018	0%	kg
Béton allégé	1443,864	1345,344	7%	m3
Béton C35/45	20581,266	20581,27	0%	m3
Béton C45/55	11272,136	11203,14	1%	m3
Coffrage des zones hors du calepir	0	27,35	-100%	m²
Dallage	140	140	0%	m²
Dalle flottante	6861,5	6861,5	0%	m²
DAP	9899,35	9899,35	0%	m²
Prédalles	201,4	201,4	0%	m²
STAIRS				
Armatures	28565,04	31440,78	-9%	kg
Béton C30/35	0	95,85807	-100%	m3
Béton C30/37	931,56924	238,042	291%	m3
STRUCTURAL FRAMING				
Acier	214868,12	187077,7	15%	kg
Armatures	1863758,8	1863759	0%	kg
Béton C35/45	626,0981	626,0981	0%	m3
Béton C45/55	5444,021	5444,021	0%	m3
Béton C60/75	93,9927	93,9927	0%	m3
Béton projeté	371	371	0%	m3
WALLS				
Armatures	2360310,8	2353373	0%	m3
Béton C35/45	444,88652	444,8865	0%	m3
Béton C45/55	3601,5473	3601,547	0%	m3
Béton C60/75	16674,012	16674,01	0%	m³
Maçonneries	41616,093	41616,09	0%	
TOTAL BETON (m3)	91093	89928	1%	
TOTAL BETON (m³)	64451	64705	0%	
TOTAL ACIER (kg)	469519	441729	6%	
TOTAL ARMATURES (kg)	11094261	11103126	0%	

Figure 0-15 – Comparaison des quantités des bordereaux de l'étude et de BESIX

Les différences, bien que faibles, peuvent être expliquées par le fait que certains matériaux n'aient pas été pris en compte par BESIX (Tableau 0-10).

Tableau 0-10 - Hypothèses comparaison ACV initiale - Bordereaux

Problématique	Hypothèse
Quantité de béton allégé, coulis de béton, poutres PRS, traitement acoustiques des locaux parfois nulles dans les quantités existantes de BESIX	Oubli / Volonté de BESIX ?

1.2.6.4 Données brutes issues du Cycle 2

Lors du cycle 2, une ingénieure environnement de BESIX fait ses retours sur les résultats et sur les niveaux de précision. Des modifications y sont apportées. Le Tableau 0-11 compare les niveaux de précision avant et après le cycle 2.

Tableau 0-11 - Comparaison des niveaux de précision avant et après Cycle 2

Situation initiale	Situation après cycle 2
<p>Six niveaux de précision</p> <p>Bordereau</p> <ul style="list-style-type: none"> - Béton / Acier structurel / Armatures - + produits LOD 300 - + produits LOD 350 <p>Modèle 3D</p> <ul style="list-style-type: none"> - Béton / Acier structurel / Armatures avec ratios généraux - Béton / Acier structurel / Armatures avec ratios de la phase tender - Béton / Acier structurel / Armatures avec ratios de la phase d'exécution 	<p>Quatre niveaux de précision</p> <p>Bordereau</p> <ul style="list-style-type: none"> - Béton / Acier structurel / Armatures - + produits LOD 350 <p>Modèle 3D</p> <ul style="list-style-type: none"> - Béton / Acier structurel / Armatures avec ratios généraux - Béton / Acier structurel / Armatures avec ratios de la phase d'exécution
Mapping matériau avec données génériques mais pas similaire entre ACV Modèles 3D et Bordereaux	Utilisation des mêmes matériaux entre toutes les ACV pour en faire réellement un paramètre fixe
Feuille Structural Framing oubliée dans le fichier Fondation	Quantités à prendre en compte
Maquette MACONNERIE à part	Quantités à prendre en compte

Lors de cette boucle, les matériaux sont notamment uniformisés dans l'ACV Bordereau pour correspondre à l'ACV Modèle 3D. Initialement, dans l'ACV Bordereau, des complexes de matériaux ont été choisis (par exemple pour "dalle flottante") mais étaient donc incomparables aux matériaux de l'ACV Modèle 3D. Finalement, le but est que ces deux ACV se basent sur les mêmes matériaux pour qu'elles soient comparables. Les modifications apportées aux matériaux de l'ACV Bordereau sont résumées dans Tableau 0-12.

Tableau 0-12 - Modifications apportées au mapping de l'ACV Bordereau

Problématique relevée dans l'ACV Bordereau	Modification apportée
Béton de propreté	Béton C35/45 d'épaisseur 10cm, conformément à ce qui est mentionné dans le DPGF.
Voiles par passe des murs de fosse	Béton C45/55, par comparaison avec les données du modèle (dans Fondation – Walls). Les dimensions sont calculées par défaut avec One Click LCA. En effet, le matériau choisi à l'origine était une DED correspondant à des murs de soutènement préfabriqués d'épaisseur 25 cm.
Prédalle DAP	Les prédalles et DAP font partie des planchers, selon le DPGF. Or, dans les données Revit, on voit que tous les éléments de Structure – Floors sont en C35/45. On choisit donc ce même matériau.
Dallage Béton allégé	Le dallage et le béton allégé correspondent à des épaisseurs de béton dans le plancher bas. Dans Structure – Fondation, les dalles sont en C45/55. On prend donc du C45/55.
Béton projeté	Ce béton est comparé à celui utilisé pour les “parois moulées” dans Revit, à savoir du C25/30. On choisit donc du C25/30.

1.3 Annexes - Résultats

1.3.1 Compléments sur les résultats de la validation

Le Tableau 0-13 suivant synthétise les différences entre les quantités :

- Des ACV Bordereau réalisées dans le cadre de l'étude (TFE) et des ACV Bordereau existantes réalisées par BESIX (BESIX) (1),
- Des ACV Modèle 3D réalisées dans le cadre de l'étude et des ACV Modèle 3D existantes réalisées par BESIX (2),
- Des ACV Modèle 3D et Bordereau réalisées dans le cadre de l'étude (3),
- Des ACV Modèle 3D et Bordereau réalisées par BESIX (4),
- Des quantités avant et après calcul du logiciel (5).

Dans le rapport, des problématiques logiciels sont mises en évidence (seule la ligne 5). Les autres différences sont expliquées par le fait que les hypothèses prises lors de la réalisation de ces ACV ne sont pas exactement les mêmes (comme expliqué précédemment dans les Annexes propres au Traitement des données primaires). Les différences entre les PRG totaux de ces ACV sont données à titre indicatif et sont expliquées par les différences entre les quantités, mais aussi par le choix des matériaux sur OCL qui peut être différent d'une ACV à l'autre. En effet, les matériaux renseignés sur les bordereaux et les modèles 3D ne sont pas toujours identiques.

Tableau 0-13 - Comparaison des ACV initiales

Quantités		Bordereau			Modèle 3D			Différence Bordereau / Modèle 3D	
		TFE	BESIX	Différence (1)	TFE	BESIX	Différence (2)	TFE (3)	BESIX (4)
Avant import sur OCL	Béton (m3)	91093	89928	1%	98978	88871	11%	2%	8%
	Béton (m2)	64451	64705	0%					
	Acier (kg)	469519	441729	6%	418924	403030	4%	12%	10%
	Armatures (kg)	110942 61	1110312 6	0%	1333013 0	1258564 9	6%	- 17%	-12%
Après export sur OCL	Béton (m3)	90769	87758	3%	98978	83721	18%	1%	5%
	Béton (m2)	64451	64311	0%					
	Acier (kg)	469519	441729	6%	418899	397885, 8	5%	12%	11%
	Armatures (kg)	110942 61	1110696 0,03	0%	1332947 0	1071948 6	24%	- 17%	4%
Différence (5)	Béton (m3)	0%	2%		0%	6%			
	Béton (m2)	0%	1%						
	Acier (kg)	0%	0%		0%	1%			
	Armatures (kg)	0%	0%		0%	15%			
PRG (kgCO2.eq)		54 758 566	50 407 473	9%	57 376 272	48 791 584	18%	5%	3%

1.3.2 Comparaison des bordereaux et des modèles 3D

Les quantités issues des bordereaux et des modèles 3D sont comparées. Quelques résultats sont déjà présentés dans le rapport. Notamment, on recense plus d'armatures avec les modèles 3D mais moins de béton. Les quantités détaillées sont données dans le Tableau 0-14. Dans ce tableau, **les quantités de béton sont données en m³, d'acier en kg et d'armatures en kg.**

Diminution avec les modèles 3D

Augmentation avec les modèles 3D

Tableau 0-14 - Comparaison des quantités et PRG entre bordereaux et modèle 3D, par lot, par matériau

Bordereaux			3D			Différence Modèle 3D - Bordereau	
Matériau	Quantités	PRG (tCO ₂ eq)	Matériau	Quantités	PRG (tCO ₂ eq)	Quantités	PRG (tCO ₂ eq)
LOT GROS ŒUVRE							
Total	11635614	53964		14430644	57574	0,00E+00	3610
Armatures	11065690	15135		14334954	19724	3,27E+06	4589
Acier	469518	1007		51	897	-4,69E+05	-110
Béton	100406	37822		95639	36954	-4,77E+03	-869
FONDATIIONS							
Béton	19152	6536	Béton	5451	2255		
Béton	55	19	Armatures	1008446	1379		
Béton	87	30	Béton	9607	4006		
Béton	5880	2433	Béton	57	24		
Béton	400	167	Béton	57	20		
Armatures	1144470	1565	Armatures	2363475	3232		
Armatures	63037	86	Armatures	21229	29		
Armatures	9768	13	Acier	2	34		
Armatures	15768	22					
Armatures	1.020.510	1396	Béton	99	41		
Acier	37164	80	Béton	35	0,56		
Béton	5,2	1,8	Armatures	705219	964		
Béton	21,9	7,5	Béton C45	246	102		
Béton	546,1	186	Béton C35	222	76		
Béton	81	31	Armatures	86820	119		
Total	2316945	12573		4200965	12282		-292
Armatures	2253553	3082		4185189	5723	1,93E+06	2641
Acier	37164	80		2	34	-3,72E+04	-46
Béton	26228	9411		15774	6525	-1,05E+04	-2887
MURS							

Béton C60	1159	596	Béton C60	4060	2088		
Béton C60	15514	7978	Béton C60	17965	9239		
Béton C45	3601	1490	Maconneries creuses	35	1		
Béton C35	444	152	Maconneries creuses	34	1		
Armatures	684767	937	Armatures	426361	583		
Armatures	1675542	2292	Armatures	581214	795		
Maconneries creuses	7074,72	383	Armatures	1886419	2580		
			Béton C40	5427	2263		
			Graviers	287	4		
			Béton C60	70	29		
			Béton C25	36	11		
			Béton C35	1	0,4		
			Maconneries creuses	3459	159		
			Maconneries pleines	2272	114		
Total	2388102	13828		2927640	17867		4039
Armatures	2360309	3229		2893994	3958	5,34E+05	729
Acier							
Béton	27793	10599		33646	13909	5,85E+03	3310
OSSATURE							
Béton C60	3578	1840	Béton C60	4246	2183		
Béton C60	129	67	Béton C60	156	81		
Armatures	823153	1126	Acier	8	138		
Armatures	29827	41	Acier	23	394		
Acier	217486	463	Acier	1	25		
Béton C35	24,12	7	Acier	0,7	12		
Béton C45	21	7	Acier	0,6	11		
Béton C35	4826	1647	Acier	0,6	10		
Béton C35	15755	5377	Acier	0,1	2,5		
Béton C45	390	161	Acier	0,08	1,3		
Béton C45	10813	4473	Acier	0,04	1,3		
Béton C45	69	29	Armatures	1044535	1429		
Béton C45	5444	2252	Armatures	38593	53		
Béton C35	626	214	Béton C40	72	30		
Béton C35	371	108	Béton C30/37	56	18		
Béton C45	93	48	Acier	2	36		
Armatures	580765	794	Acier	0,8	14		
Armatures	3154325	4314	Armatures	31572	43		
Armatures	1863758	2549	Béton C60	396	204		
Acier	214868	464	Béton C35	32885	11222		
Béton C45	1443	586	Béton C35	7314	2496		

Béton C35	1979,8	676	Béton C45	329	136		
C20	823,32	320	Béton C45	102	53		
			Acier	4	72		
			Acier	4	68		
			Acier	2	34		
			Béton C45	1	0,44		
			Acier	0,1	2,5		
			Armatures	2188493	2993		
			Armatures	3952578	5406		
			Graviers	109	1,7		
			Acier	2	41		
			Béton C20	526	204		
			Béton C35	27	9,4		
Total	6930567	27563		7302039	27425		-138
Armatures	6451828	8824		7255771	10043	8,04E+05	1219
Acier	432354	927		49	863	-4,32E+05	-64
Béton	46385	17812		46219	16520	-1,66E+02	-1292

1.3.3 Comparaison des ratios calculés avec les bordereaux et des ratios généraux

Dans le rapport, les ratios calculés avec les bordereaux sont comparés aux ratios généraux, donnés par BESIX. La partie suivante explique les différences entre ces deux ratios.

Pour rappel, les ratios sont définis de la manière suivante :

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Quantité d'armatures}}{\text{Quantité de béton}}$$

Ainsi, pour un même ratio, si la quantité de béton diminue, la quantité d'armatures devrait diminuer aussi. Les quantités de béton diminuent entre les bordereaux et les modèles 3D. Pourtant, les quantités d'armatures augmentent. Il y a donc un problème avec les ratios. Les ratios correspondant aux bordereaux sont différents des ratios correspondant aux modèles 3D.

- Pour l'ACV réalisée avec les modèles 3D, les ratios généraux sont utilisés. Ils sont appliqués à la quantité de béton issue du modèle 3D. Les **quantités d'armatures** sont donc déduites.

$$\text{Ratio généraux} = \frac{\text{Quantité d'armatures}}{\text{Quantité de béton issue du modèle 3D}}$$

- Pour l'ACV réalisée avec les bordereaux, les quantités sont calculées en additionnant les lignes correspondant dans les bordereaux. Elles ne sont donc pas calculées grâce aux ratios. Les quantités de béton sont également calculées grâce au bordereau. Afin d'identifier le problème, des **ratios** sont déduits de ces quantités.

$$\text{Ratio bordereaux} = \frac{\text{Quantité d'armatures calculée grâce aux bordereaux}}{\text{Quantité de béton calculée grâce aux bordereaux}}$$

1.3.4 Résultats par élément

Pour chacun des sept éléments sélectionnés, les quantités de produits structurels et non structurels sont calculées, ainsi que leurs impacts. Tous ces résultats sont recensés dans la suite.

1.3.4.1 Radier et dalles contre sol

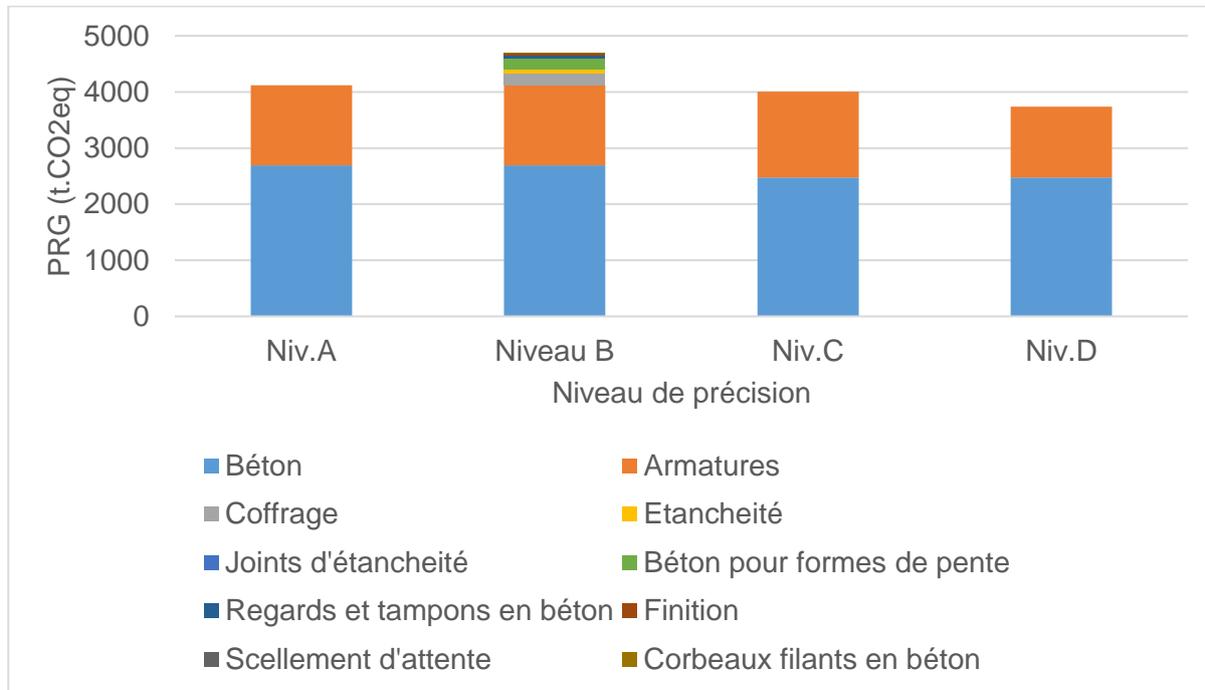


Figure 0-16 - PRG des différents produits des radiers et dalles, pour chaque niveau de précision

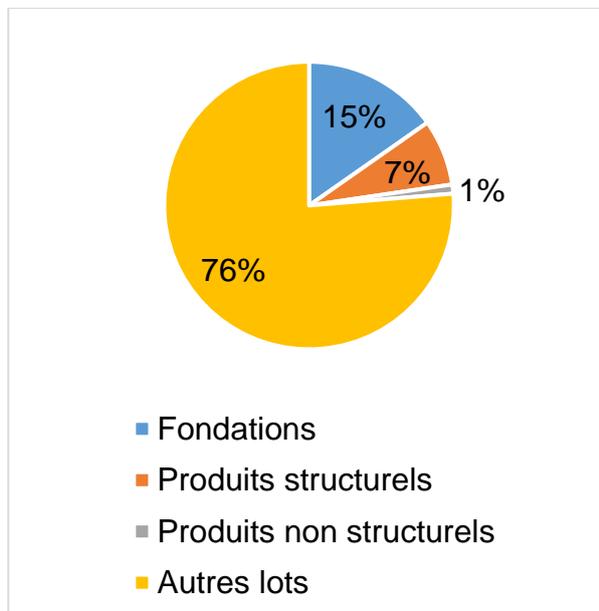


Figure 0-17 – Répartition du PRG du Gros Œuvre (radier et dalles)

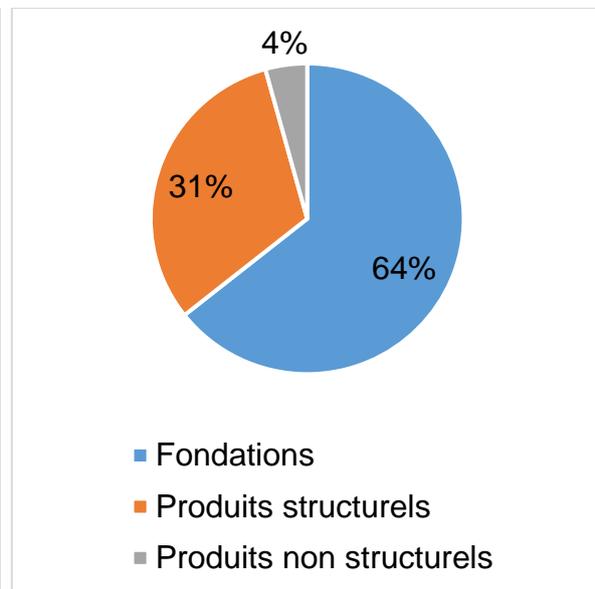


Figure 0-18 - Répartition du PRG du sous-lot fondations (radier et dalles)

1.3.4.2 Voiles du noyau

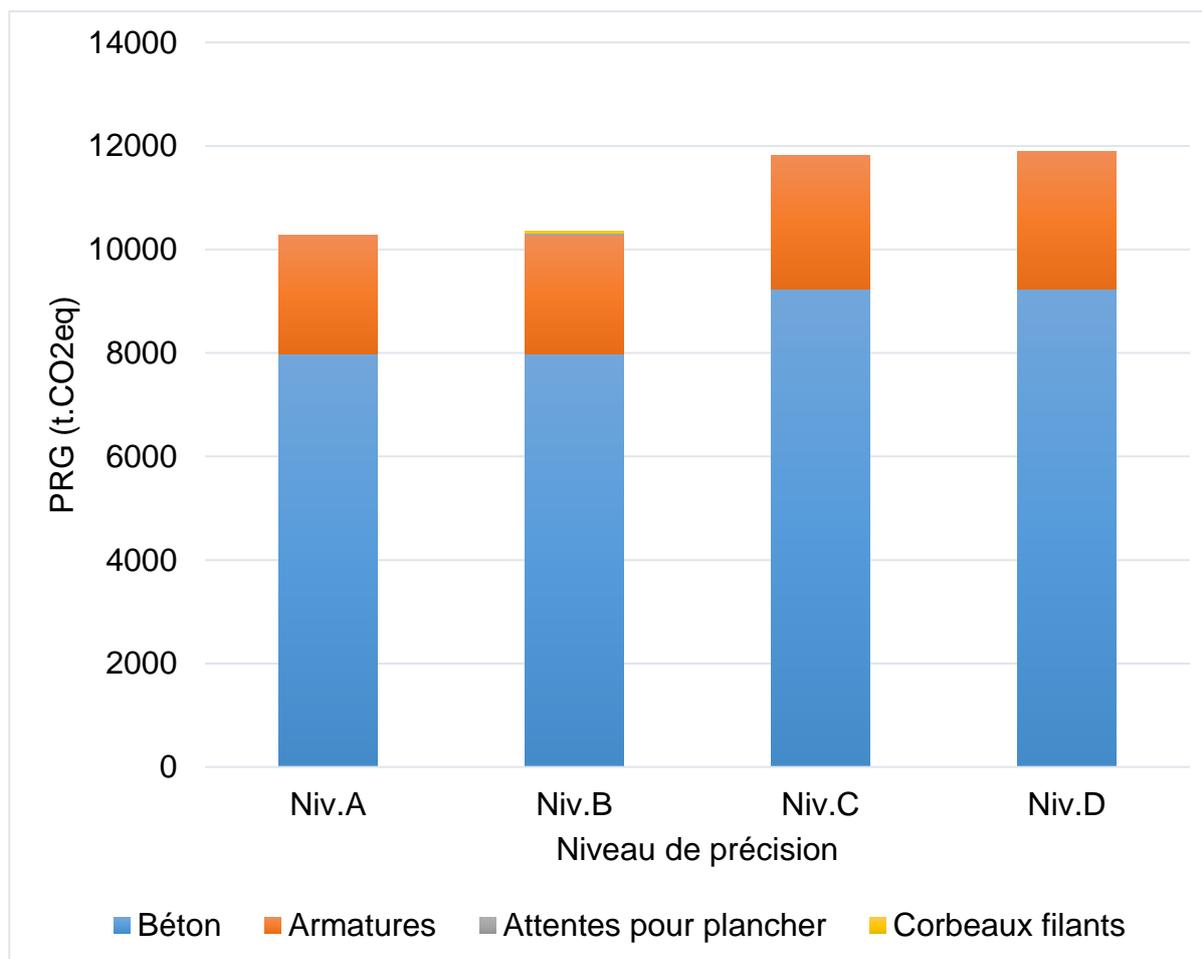


Figure 0-19 - PRG des différents produits des voiles du noyau, pour chaque niveau de précision

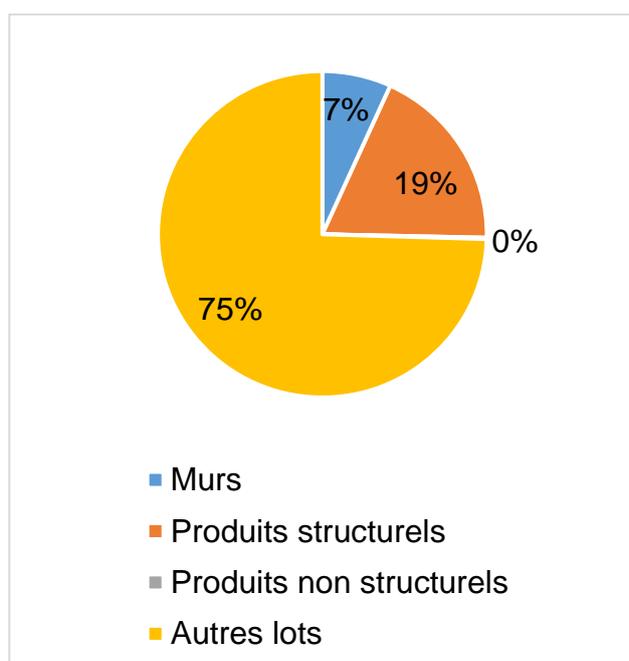


Figure 0-20 – Répartition du PRG du Gros Œuvre (voiles du noyau)

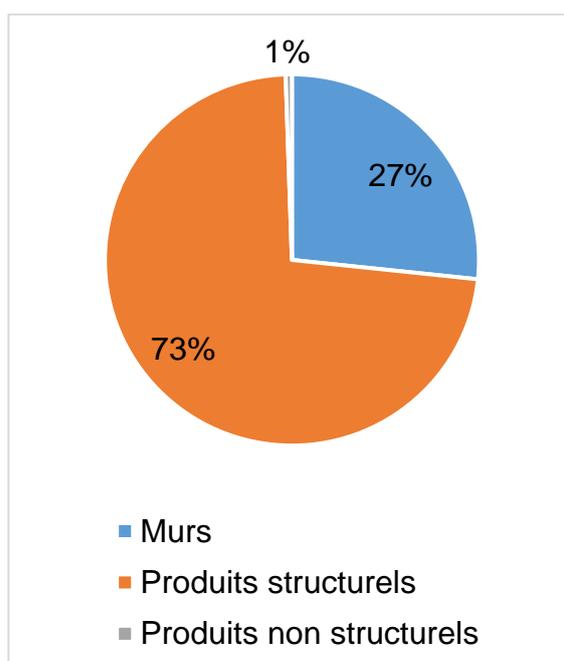


Figure 0-21 - Répartition du PRG du sous-lot murs (voiles du noyau)

1.3.4.3 Poteaux mixtes acier-béton

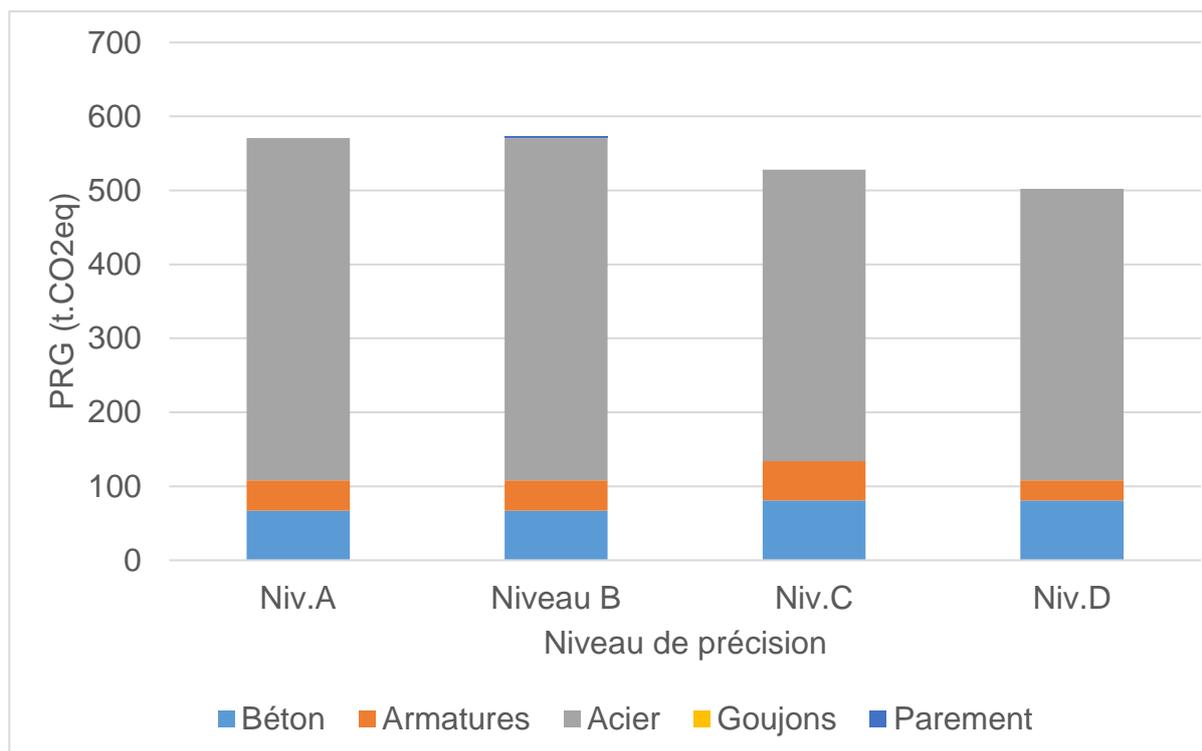


Figure 0-22 - PRG des différents produits des poteaux mixtes acier-béton, pour chaque niveau de précision

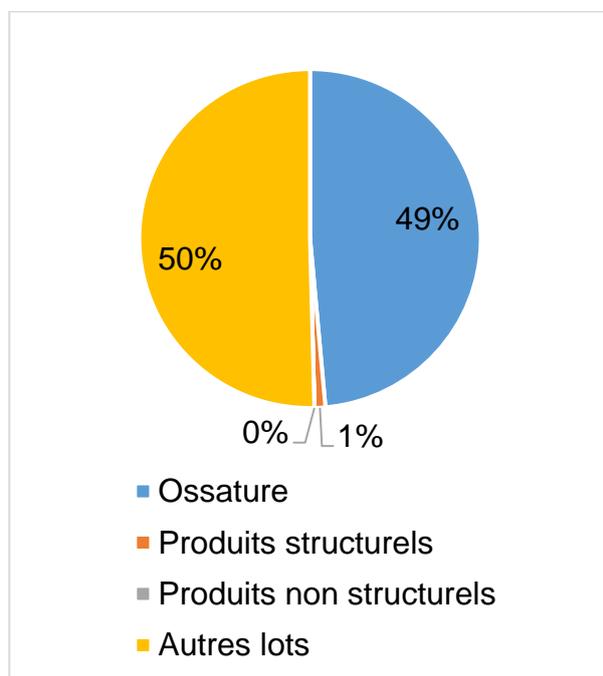


Figure 0-23 - Répartition du PRG du Gros Œuvre (poteaux mixtes acier-béton)

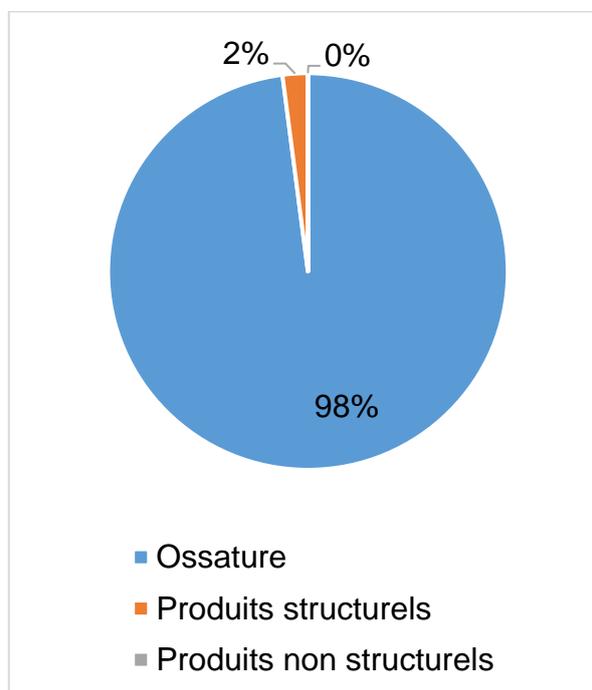


Figure 0-24 - Répartition du PRG du sous-lot ossature (poteaux mixtes acier-béton)

1.3.4.4 Maçonneries

Les enduits et joints, produits non structurels, représentent 34% du PRG total. Or, le PRG des maçonneries est lui-même assez faible. Dans un élément composé de béton coulé, les enduits et les joints auraient sûrement eu moins de poids.

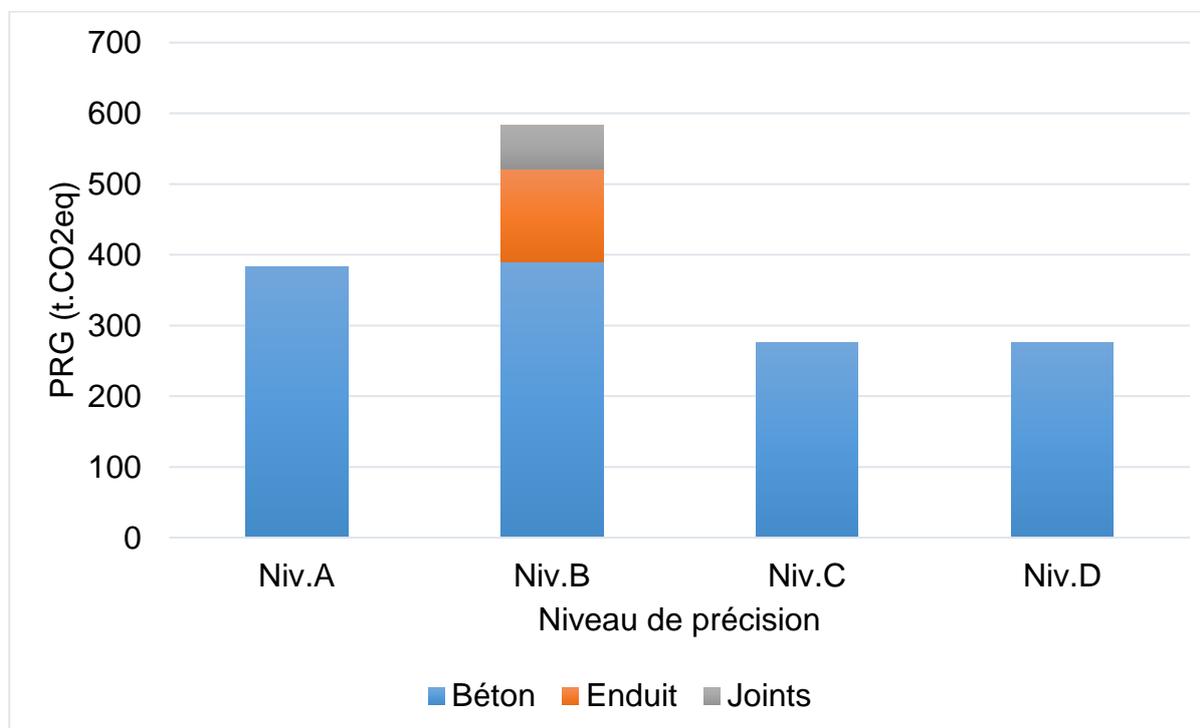


Figure 0-25 - PRG des différents produits des maçonneries, pour chaque niveau de précision

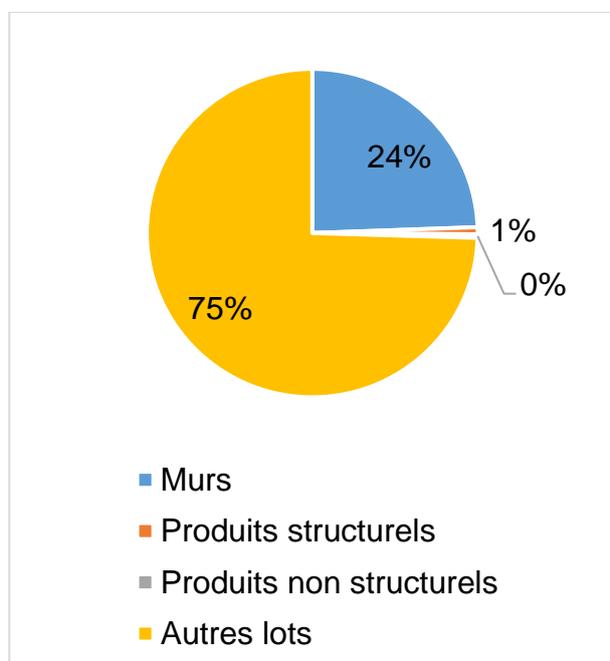


Figure 0-26 - Répartition du PRG du Gros Œuvre (maçonneries)

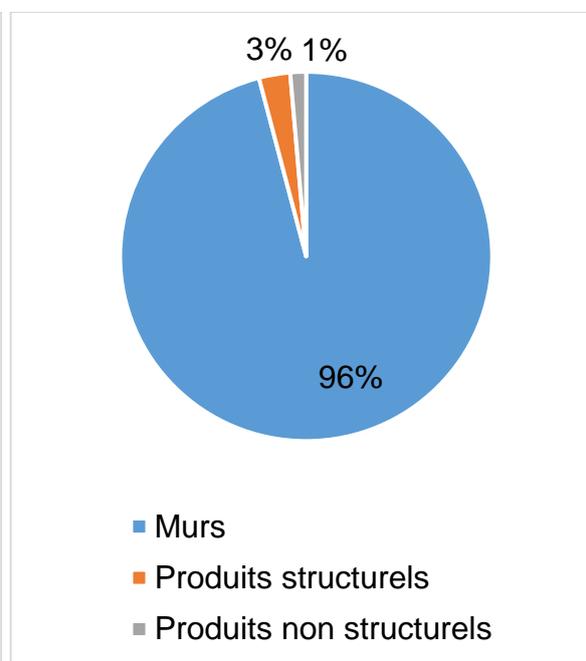


Figure 0-27 - Répartition du PRG du sous-lot murs (maçonneries)

1.3.4.5 Dalles hors noyau

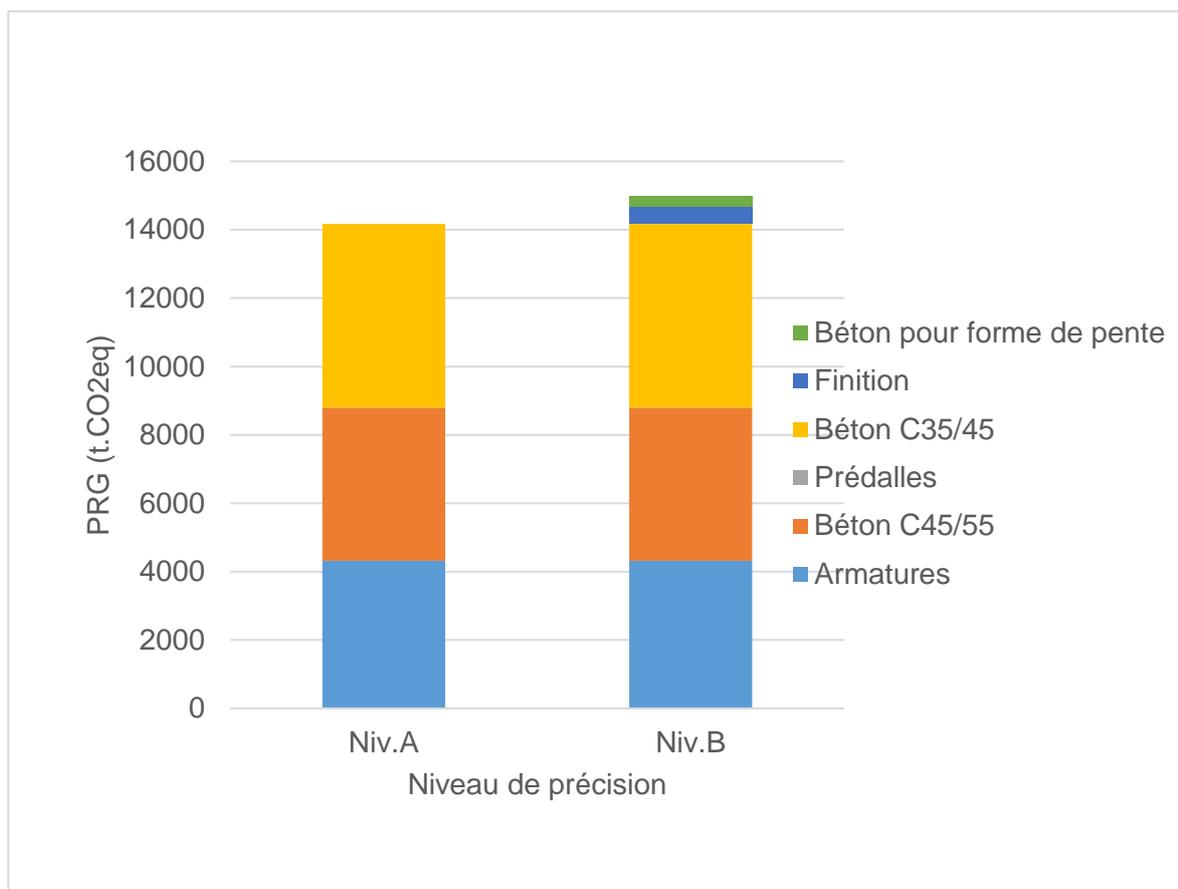


Figure 0-28 - PRG des différents produits des dalles hors noyau, pour chaque niveau de précision

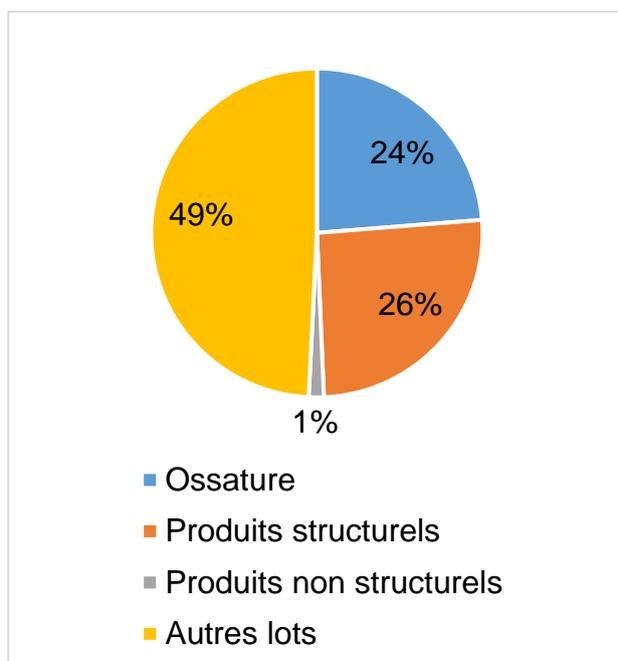


Figure 0-29 - Répartition du PRG du Gros Œuvre (dalles hors noyau)

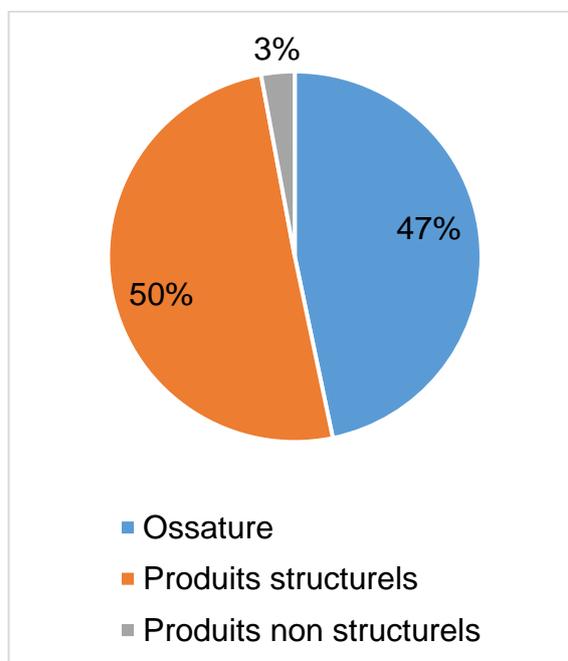


Figure 0-30 - Répartition du PRG du sous-lot ossature (dalles hors noyau)

1.3.4.6 Traitement des locaux techniques

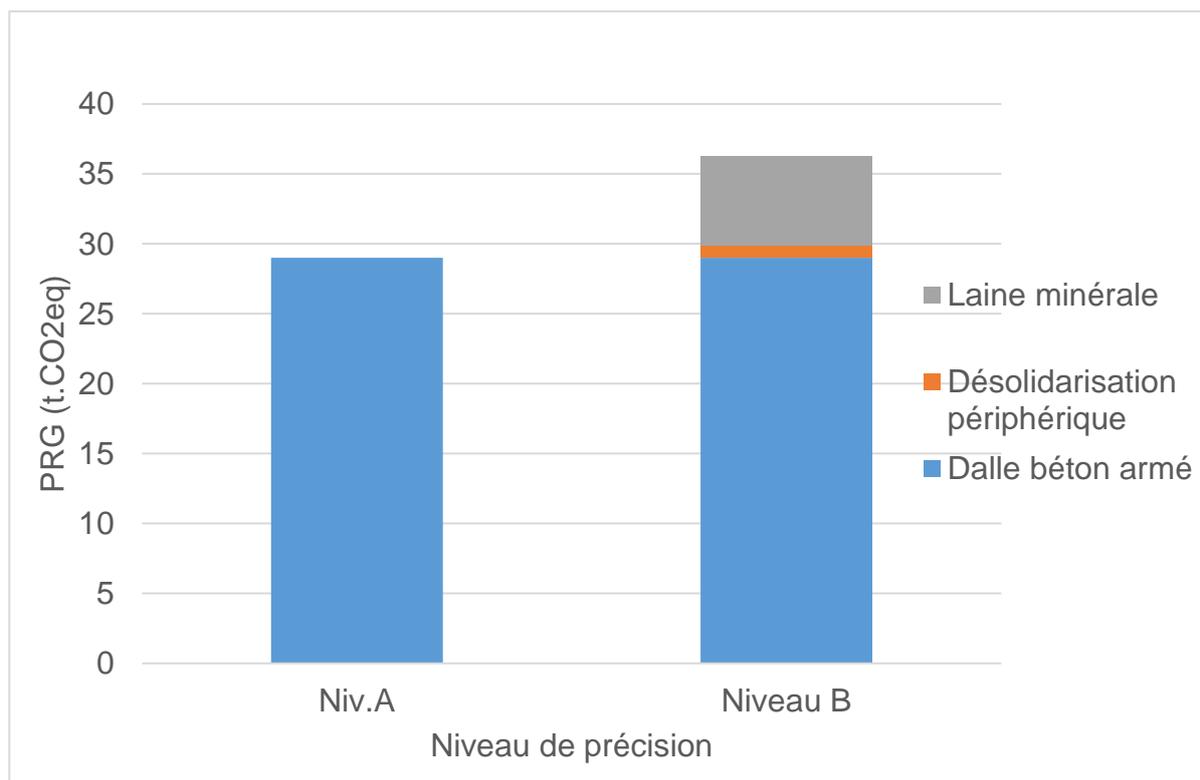


Figure 0-31 - PRG des différents produits des traitements des locaux techniques, pour chaque niveau de précision

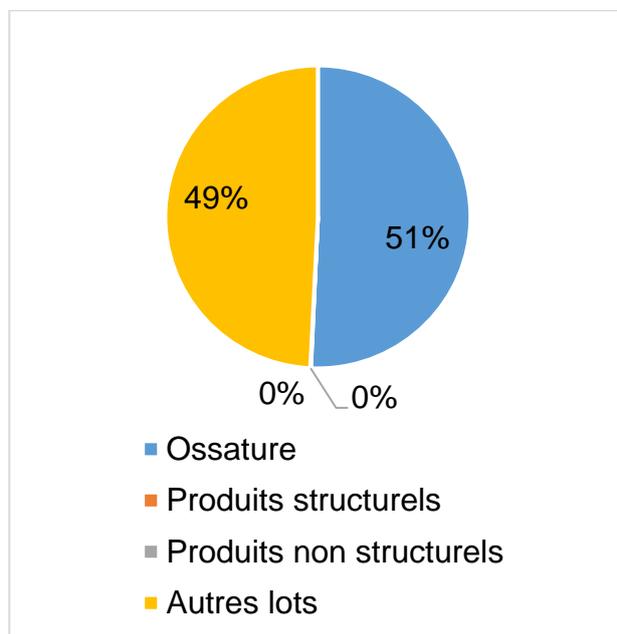


Figure 0-32 - Répartition du PRG du Gros Œuvre (traitement des locaux techniques)

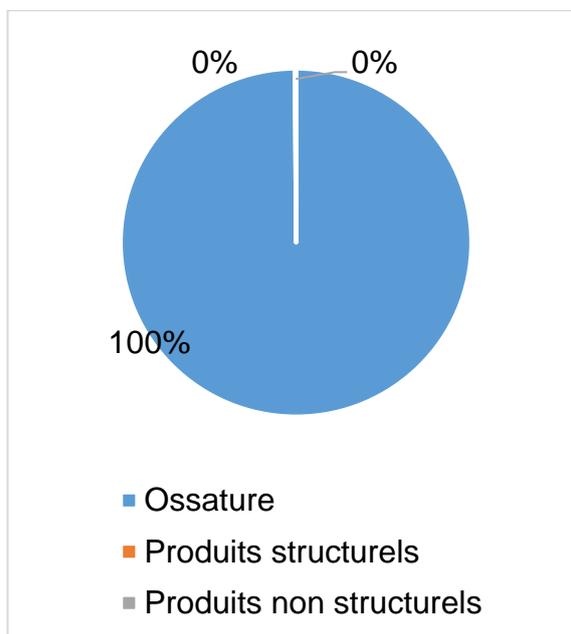


Figure 0-33 - Répartition du PRG du sous-lot ossature (traitement des locaux techniques)

1.3.4.7 Micro-berlinoises

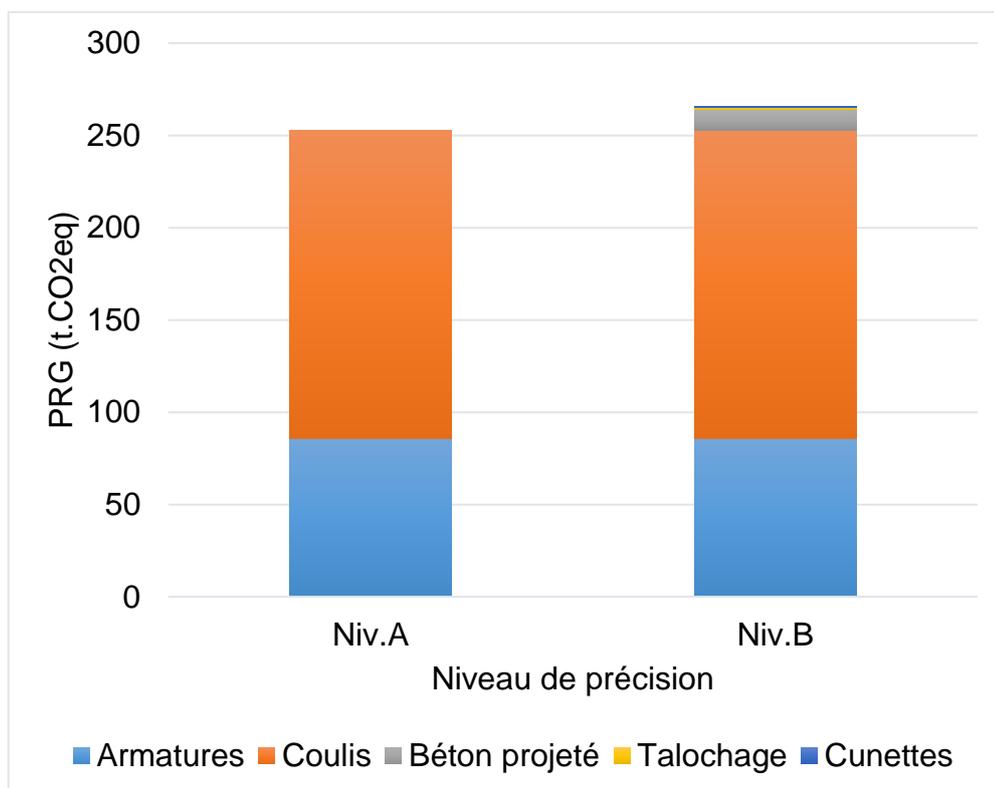


Figure 0-34 - PRG des différents produits des micro-berlinoises, pour chaque niveau de précision

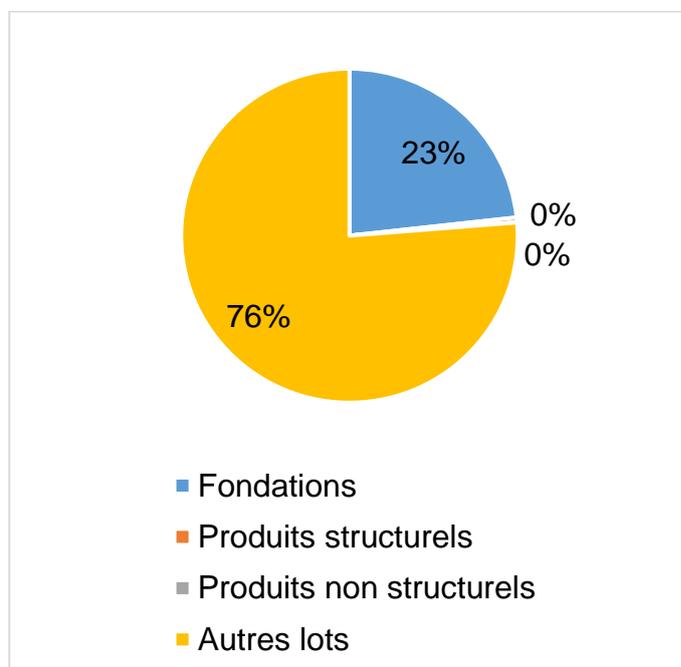


Figure 0-35 - Répartition du PRG du Gros Œuvre (micro-berlinoises)

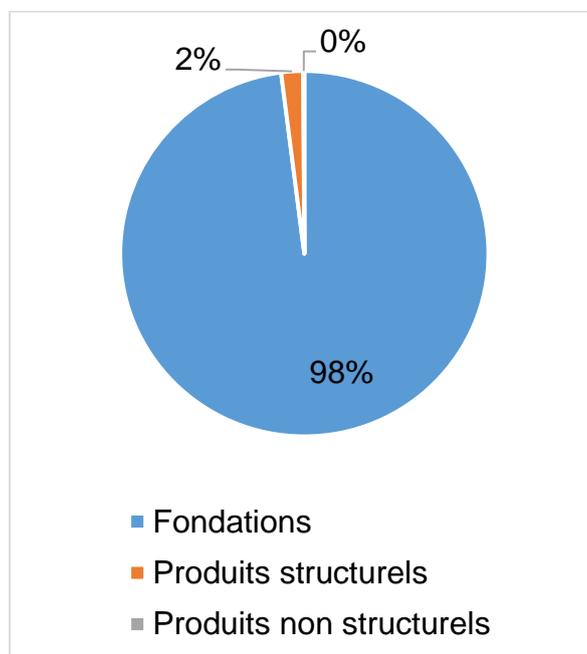


Figure 0-36 - Répartition du PRG du sous-lot fondations (micro-berlinoises)