

# Evaluation de la Qualité Environnementale de Bâtiments Tertiaires – Aspects environnementaux

## RAPPORT FINAL

ArcelorMittal  
Juillet 2013



## Information sur le projet

CLIENT	ArcelorMittal
TITRE DU RAPPORT	Rapport final
TITRE DU PROJET	Evaluation de la Qualité Environnementale de Bâtiments Tertiaires – Aspects environnementaux
CODE PROJET	PE - 0551
DATE	Juillet 2013
AUTEURS	Yannick Le Guern, BIO IS Charlotte Petiot, BIO IS Maxime Pousse, BIO IS
CONTACTS CLES	Charlotte Petiot <a href="mailto:charlotte.petiot@biois.com">charlotte.petiot@biois.com</a>
AVERTISSEMENTS	Les auteurs de cette étude déchargent toute responsabilité concernant tout dommage direct ou indirect faisant suite à l'utilisation de ce rapport.

*Credit photo:* page de garde @ Per Ola Wiberg

# Table des matières

<b>INFORMATION SUR LE PROJET</b>	<b>2</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>3</b>
<b>SYNTHESE</b>	<b>5</b>
<b>CHAPITRE 1 : ASPECTS GENERAUX ET OBJECTIFS DE L'ETUDE</b>	<b>15</b>
1.1 Contexte de l'étude	15
1.2 Objectifs de l'étude	15
1.3 Déroulement de l'étude	16
1.4 Cadre méthodologique et normatif de l'étude	18
<b>CHAPITRE 2 : CHAMP DE L'ETUDE</b>	<b>21</b>
2.1 Systèmes étudiés	21
2.2 Unité fonctionnelle	23
2.3 Frontières des systèmes	23
2.4 Exigences sur la qualité des données	26
2.5 Sources de données	26
2.6 Règles de coupure	28
2.7 Règles d'affectation	28
<b>CHAPITRE 3 : HYPOTHESES ET DONNEES UTILISEES</b>	<b>30</b>
3.1 Hypothèses et données relatives aux structures et aux produits et matériaux de construction	30
3.2 Hypothèses et données relatives aux aspects thermiques	41
3.3 Hypothèses et données complémentaires pour l'évaluation de la qualité environnementale	46
3.4 Evaluation de la disponibilité et de la qualité des données	55
<b>CHAPITRE 4 : EVALUATION DE L'IMPACT DU CYCLE DE VIE</b>	<b>59</b>
4.1 Indicateurs d'impacts étudiés	59
4.2 Introduction sur la présentation des résultats	62
4.3 Comparaison des superstructures et des noyaux (sans prise en compte du module D)	63
4.4 Comparaison des superstructures et des noyaux (avec prise en compte du module D)	72

4.5	Mise en perspective des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux des bâtiments	81
4.6	Limites de l'étude	90
	<b>CHAPITRE 5 : CONCLUSION</b>	<b>93</b>
	<b>CHAPITRE 6 : ANNEXES</b>	<b>95</b>
6.1	Annexe 1 : Récapitulatif des données utilisées	95
6.2	Annexe 2 : Détail des hypothèses et modélisations associées aux différentes étapes du cycle de vie des produits et matériaux de construction	98
6.3	Annexe 3 : Liste des Eurocodes utilisés pour les études structures	105
6.4	Annexe 4 : Données brutes (métrés)	106
6.5	Annexe 5 : Modélisation du mix électrique français	117
6.6	Annexe 6 : Analyse de sensibilité sur la prise en compte du transport de personnel de chantier	119
6.7	Annexe 7 : Analyse de sensibilité sur la prise en compte du module D des normes NF EN 15804 et 15978	120
6.8	Annexe 8 : Résultats pour la durée de vie totale et la surface totale du bâtiment	125
6.9	Annexe 9 : Résultats pour la zone climatique H3	133
6.10	Annexe 10 : Calcul des indicateurs « Biodiversité » et « Consommation de foncier »	145
6.11	Annexe 11 : Présentation de la modélisation dans le logiciel OPERA	147
6.12	Annexe 12 : Rapport de revue critique	155

## Introduction

### ► Contexte

Compte tenu de l'importance des impacts environnementaux dans le secteur du bâtiment et de l'ampleur des marges de manœuvre pour réduire ces impacts, les acteurs de la construction se sont engagés depuis plusieurs années dans une démarche globale d'éco-conception.

Dans ce contexte, ArcelorMittal souhaite apporter sa contribution et fournir une information fiable et objective sur la qualité environnementale des bâtiments tertiaires.

### ► Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude est de comparer la qualité environnementale de bâtiment de bureaux construits avec différents types de structures.

Pour cela, il s'agit dans un premier temps :

- de comparer les impacts environnementaux de la structure d'un bâtiment mixte en acier et béton et de la structure d'un bâtiment en béton, qui sont les systèmes constructifs les plus répandus en France pour les immeubles de bureaux,
- d'évaluer les gains environnementaux potentiels associés à une démarche d'éco-conception de la structure du bâtiment mixte en acier et béton,
- d'évaluer l'influence du mode de prise en compte du recyclage sur les résultats obtenus, en réalisant une analyse de sensibilité visant à prendre en compte les bénéfices et charges au-delà des frontières du système (module D de la norme NF EN 15978).

Dans un second temps, il s'agit de mettre en perspective les impacts environnementaux des structures avec les impacts environnementaux globaux des bâtiments.

Il est prévu par ArcelorMittal de communiquer les résultats de cette étude. Le public visé est l'ensemble des acteurs du secteur du bâtiment.

### ► Déroulement de l'étude

Cette étude a été réalisée avec la participation des bureaux d'études suivants :

- E2C Atlantique, bureau d'étude structures,
- TRIBU Energie, bureau d'étude thermique,
- BIO Intelligence Service, agence spécialisée en Analyse de Cycle de Vie.

Une revue critique de l'étude a été réalisée par un comité de parties intéressées. Les membres de ce comité sont des experts dans le domaine du bâtiment.

## ► Cadre normatif

L'étude est réalisée en conformité avec les normes NF EN ISO 14040 et NF EN ISO 14044 relatives à la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et avec les normes NF P 01-020 et XP P 01-020-3<sup>1</sup> relatives à l'évaluation de la qualité environnementale des produits de construction et des bâtiments. De plus, l'analyse de sensibilité sur la prise en compte des charges et bénéfices au-delà des frontières du système (module D) est réalisée selon la norme NF EN 15804.

## Champ de l'étude

### ► Systèmes étudiés

Les systèmes étudiés sont des immeubles de bureaux construits avec différents types de structures :

- une structure mixte (avec une superstructure en acier et un noyau en béton),
- une structure en béton (avec une superstructure et un noyau en béton),
- une structure mixte optimisée (avec une superstructure et un noyau en acier), résultant d'une démarche d'éco-conception de la structure mixte.

Les éléments différenciant entre les bâtiments portent uniquement sur la superstructure (poteaux, poutres et dalles) et sur les noyaux. Les autres éléments de la structure (fondations et infrastructures) ainsi que l'enveloppe et le second œuvre sont identiques.

Les bâtiments étudiés sont climatisés, avec une performance énergétique en accord avec la Réglementation Thermique (RT) 2012. Ils possèdent tous une classe d'inertie lourde.

Les bâtiments sont étudiés en région parisienne (H1a) et en zone méditerranéenne (H3). Dans une zone géographique donnée, les consommations d'énergie en phase utilisation sont identiques entre les différents bâtiments.

La Durée de Vie Programmée (DVP) pour les bâtiments est de 100 années. Les caractéristiques des bâtiments étudiés sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau S1 – Caractéristiques des bâtiments étudiés

Caractéristiques	
Type de bâtiment	Bâtiment tertiaire
Structure	Trois structures différentes : Mixte, Béton, Mixte optimisée
Activité	Activité de bureaux avec un faible nombre de visiteurs
Exigences climatiques	Deux zones différentes : H1a, H3
Exigences thermiques	RT 2012
Système de chauffage et de refroidissement	Pompe à chaleur (PAC) réversible
Durée de Vie Programmée	100 ans
Surface utile (au sens de la RT 2012)	8712 m <sup>2</sup>
Niveaux	R+8
Effectif	566 personnes

<sup>1</sup> Seuls les aspects environnementaux de la norme NF P 01-020 sont abordés dans cette étude.

### ► Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle retenue est : « Assurer la fonction de bâtiment de bureaux sur une surface utile de 8712 m<sup>2</sup> pendant une durée de vie de 100 ans, en respectant la RT 2012 dans une zone climatique donnée ».

### ► Frontières du système

Les processus et contributeurs inclus dans le champ de l'évaluation sont présentés ci-dessous.

Tableau S2 – Processus et contributeurs inclus dans l'étude

Processus	Contributeur	Inclus dans le champ de l'évaluation	
		Oui	Non
Processus liés à la mise à disposition du bâti	Consommation de produits et matériaux de construction	X	
	Chantier de construction (hors contribution produits)	X	
	Chantier de déconstruction (hors contribution produits)		X
Processus liés aux flux de fonctionnement du bâtiment	Consommations d'énergie liées à l'éclairage, au chauffage, à la production d'eau chaude sanitaire, à la ventilation, au refroidissement et aux auxiliaires associés	X	
	Autres consommations d'énergie liées au bâti	X	
	Rejets liquides (hors rejets liés à l'activité)		X
Processus liés à l'activité dont le bâtiment est le support	Consommations d'énergie liées à l'activité (restauration, équipements bureautiques, laverie, etc.)	X	
	Consommations de matière liées à l'activité	X	
	Consommation d'eau	X	
	Production et gestion des déchets d'activité (y compris rejets liquides)	X	
Processus liés aux déplacements des usagers	Transports des usagers	X	

### ► Sources de données

Deux types de données sont nécessaires à l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments : des données brutes (flux de matière ou d'énergie relatifs aux différents processus et contributeurs inclus dans l'étude) et des données environnementales (impacts environnementaux associés à ces flux de matière ou d'énergie).

Les données brutes ont été calculées par les bureaux d'études E2C Atlantique (Structure) et TRIBU Energie (Thermique) ou sélectionnées dans des sources bibliographiques.

Les données environnementales relatives aux produits et matériaux de construction sont principalement issues de FDES. Les données environnementales relatives aux autres contributeurs (consommation d'électricité, d'eau, de papier, de diesel, ...) sont principalement des inventaires de cycle de vie issus de la base de données ecoinvent v2.2.

### ► Règle d'affectation pour la prise en compte du recyclage

Cette étude repose majoritairement sur des données environnementales issues de FDES réalisées selon la norme NF P 01-010. De ce fait, la méthode de prise en compte du recyclage dans l'étude est conforme à cette norme et correspond donc à la méthode des stocks.

Néanmoins, afin d'évaluer l'influence du mode de prise en compte du recyclage sur les résultats obtenus, une analyse de sensibilité est réalisée afin de prendre en compte les bénéfices et charges au-delà des frontières du système. Dans cette analyse de sensibilité, la méthode de prise en compte du recyclage correspond à la prise en compte du module D de la norme NF EN 15978.

## Evaluation de l'impact du cycle de vie

### ► Indicateurs d'impact étudiés

Les indicateurs d'impact calculés dans le cadre de cette étude sont les indicateurs de la norme XP P 01-020-3 en tenant compte des remarques suivantes :

- L'indicateur « Eutrophisation » n'est pas calculé. En effet, cet indicateur n'est pas disponible dans toutes les FDES et ne peut donc pas être calculé à l'échelle du bâtiment.
- L'indicateur « Consommation de ressources non énergétiques non renouvelables épuisables » est remplacé par l'indicateur « Epuisement des ressources ». En effet, seul cet indicateur sur les ressources globales est disponible dans les FDES.

Ces indicateurs sont scientifiquement reconnus par la communauté internationale des experts en ACV et apportent un éclairage multicritère sur les aspects environnementaux des bâtiments. Néanmoins, ces indicateurs sont plus ou moins robustes et conduisent à des résultats dont les niveaux d'incertitudes diffèrent selon les indicateurs. Pour prendre en compte cette problématique, un niveau de robustesse et un niveau d'incertitude sont proposés pour chaque indicateur.

Ces niveaux d'incertitude permettent de juger du caractère significatif ou non des écarts constatés lors de la comparaison des impacts environnementaux des différentes superstructures et noyaux des bâtiments. Ainsi, pour un indicateur donné, une différence d'impact environnemental est jugée significative si elle est supérieure au seuil d'incertitude estimé pour cet indicateur.

### ► Comparaison des superstructures et des noyaux

Dans un premier temps, la comparaison des bâtiments porte uniquement sur la superstructure (poteaux, poutres et dalles) et sur le noyau, qui sont les seuls éléments différenciant entre les bâtiments.

Les deux tableaux ci-dessous comparent respectivement les impacts environnementaux de la superstructure et du noyau :

- pour le bâtiment mixte et le bâtiment béton,
- pour le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé.

Tableau S3 – Comparaison des impacts environnementaux de la superstructure et du noyau pour le bâtiment mixte et le bâtiment béton (sans prise en compte du module D) – Impacts en m<sup>2</sup>/an

Categorie	Indicateur	Unité	Bâtiment mixte	Bâtiment béton	Écart relatif (%)	Niveau d'incertitude (%)	Significativité de l'écart
<b>Superstructure + Noyau</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	3,66E+00	3,67E+00	0%	+ -20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	5,55E-03	5,33E-03	-4%	+ -30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	5,00E-03	6,48E-03	30%	+ -20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	1,26E+02	1,01E+02	-20%	+ -50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	1,32E+00	1,57E+00	19%	+ -20%	Non
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	4,23E-03	5,52E-03	30%	+ -30%	Oui
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,49E-04	4,44E-04	78%	+ -30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	2,01E-01	4,54E-01	126%	+ -50%	Oui
Déchets	Déchets dangereux	t	5,20E-06	2,07E-06	-60%	+ -20%	Oui
	Déchets non dangereux	t	1,51E-05	2,17E-05	44%	+ -20%	Oui
	Déchets inertes	t	1,87E-03	5,54E-03	197%	+ -20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	9,22E-08	9,97E-08	8%	+ -20%	Non

Tableau S4 – Comparaison des impacts environnementaux de la superstructure et du noyau pour le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D) – Impacts en m<sup>2</sup>/an

Categorie	Indicateur	Unité	Bâtiment mixte	Bâtiment mixte optimisé	Écart relatif (%)	Niveau d'incertitude (%)	Significativité de l'écart
<b>Superstructure + Noyau</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	3,66E+00	3,12E+00	-15%	+ -20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	5,55E-03	4,72E-03	-15%	+ -30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	5,00E-03	3,49E-03	-30%	+ -20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	1,26E+02	1,10E+02	-13%	+ -50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	1,32E+00	1,04E+00	-22%	+ -20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	4,23E-03	3,23E-03	-24%	+ -30%	Non
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,49E-04	1,66E-04	-34%	+ -30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	2,01E-01	1,24E-01	-38%	+ -50%	Non
Déchets	Déchets dangereux	t	5,20E-06	4,76E-06	-8%	+ -20%	Non
	Déchets non dangereux	t	1,51E-05	8,29E-06	-45%	+ -20%	Oui
	Déchets inertes	t	1,87E-03	1,23E-03	-34%	+ -20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	9,22E-08	7,31E-08	-21%	+ -20%	Oui

Le graphique page suivante présente les résultats obtenus lors de la comparaison de la superstructure et du noyau des bâtiments. Les valeurs des indicateurs d'impacts de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte sont normées à 1, ce bâtiment étant le dénominateur commun des deux comparaisons.

Sur la base de ces résultats, on constate qu'il y a des écarts significatifs entre la superstructure et le noyau du bâtiment mixte et la superstructure et le noyau du bâtiment béton pour 7 indicateurs sur les 12 étudiés. 6 sont en faveur de la structure du bâtiment mixte et 1 est en faveur de la structure du bâtiment béton. De plus, on rappelle que ces deux bâtiments possèdent un noyau identique en béton. On peut donc mentionner que les écarts constatés au niveau des superstructures seules sont plus marqués. Par exemple, en ce qui concerne le changement climatique, la superstructure en acier a un impact environnemental inférieur à la superstructure en béton, avec un écart de 27%.

Par ailleurs, la comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte et du bâtiment mixte optimisé montre que la démarche d'éco-conception proposée, qui consiste à optimiser la superstructure en acier et à remplacer le noyau en béton par un noyau en acier, permet une réduction de tous les impacts environnementaux, allant de 8 à 45% selon les indicateurs.

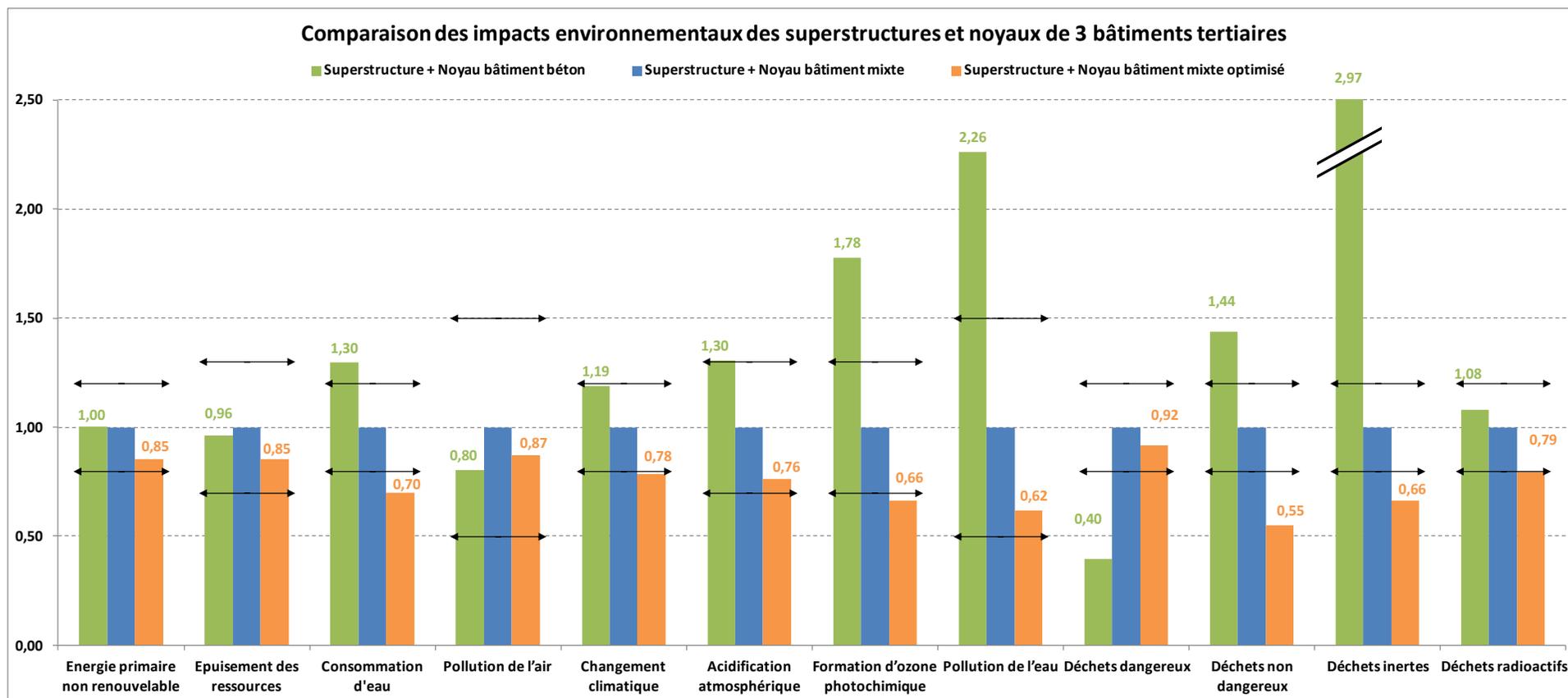


Figure S1 – Comparaison des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux (sans prise en compte du module D)

Niveau d'incertitude relatif à chaque indicateur  
 permettant de juger de la significativité de l'écart

► **Influence du mode de prise en compte du recyclage lors de la comparaison des superstructures et des noyaux**

Une analyse de sensibilité est réalisée afin d'évaluer l'influence du mode de prise en compte du recyclage sur les résultats obtenus au niveau des superstructures et noyaux. Dans cette analyse, les bénéfices et charges au-delà des frontières du système (module D de la norme NF EN 15978) sont pris en compte.

Les résultats de cette analyse montrent que la prise en compte du module D a tendance à accentuer les écarts observés entre les différentes alternatives de superstructures et de noyaux étudiées et à renforcer le positionnement favorable de l'acier. Ceci est lié au fait que la prise en compte du module D contribue globalement à réduire l'impact des produits en acier alors qu'elle influence peu les impacts des produits en béton. Ainsi, on peut par exemple noter que pour le changement climatique, l'écart observé entre la superstructure et le noyau du bâtiment mixte et du bâtiment béton est de 19% sans prise en compte du module D alors qu'il est de 32% avec prise en compte du module D. On peut donc indiquer que les conclusions tirées sur le positionnement des superstructures et des noyaux sans prise en compte du module D sont conservées lorsque ce dernier est pris en compte, avec toutefois un écart plus marqué entre les structures.

► **Mise en perspective des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux des bâtiments**

Suite aux comparaisons effectuées au niveau des superstructures et noyaux, les bâtiments sont comparés dans leur ensemble. Ceci permet de mettre en perspective les impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux globaux des bâtiments.

Le graphique page suivante présente les résultats obtenus lors de la comparaison des bâtiments en précisant les contributions des différents postes (superstructure, noyau, infrastructure, fondation, enveloppe, second-œuvre, exploitation, activité et déplacement des usagers). Les valeurs des indicateurs d'impacts du bâtiment mixte sont normées à 1, ce bâtiment étant le dénominateur commun des deux comparaisons.

Le graphique montre que les postes contribuant le plus aux impacts environnementaux des bâtiments sont le déplacement des usagers, l'activité du bâtiment et l'exploitation du bâtiment. La superstructure et le noyau ne représentent quant à eux qu'une faible part des impacts environnementaux des bâtiments. En effet, pour tous les indicateurs sauf les déchets inertes, la contribution de la superstructure et du noyau aux impacts totaux du bâtiment est inférieure à 4%. Pour les déchets inertes, cette contribution varie entre 6 et 24% selon les bâtiments.

De ce fait, les différences d'impacts observées précédemment entre les différentes superstructures et les différents noyaux sont très réduites lorsque l'on se place à l'échelle globale du bâtiment. En effet, pour tous les indicateurs sauf les déchets inertes, les écarts observés entre les bâtiments sont inférieurs à 1%. Dans le cas des déchets inertes, les écarts sont de l'ordre de 20% entre le bâtiment béton d'une part et les bâtiments mixte et mixte optimisé d'autre part.

Ainsi, hormis pour l'indicateur déchets inertes, on peut dire qu'il n'y a donc pas de différences significatives entre le bâtiment béton, le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé lorsque l'on se place à l'échelle globale du bâtiment.

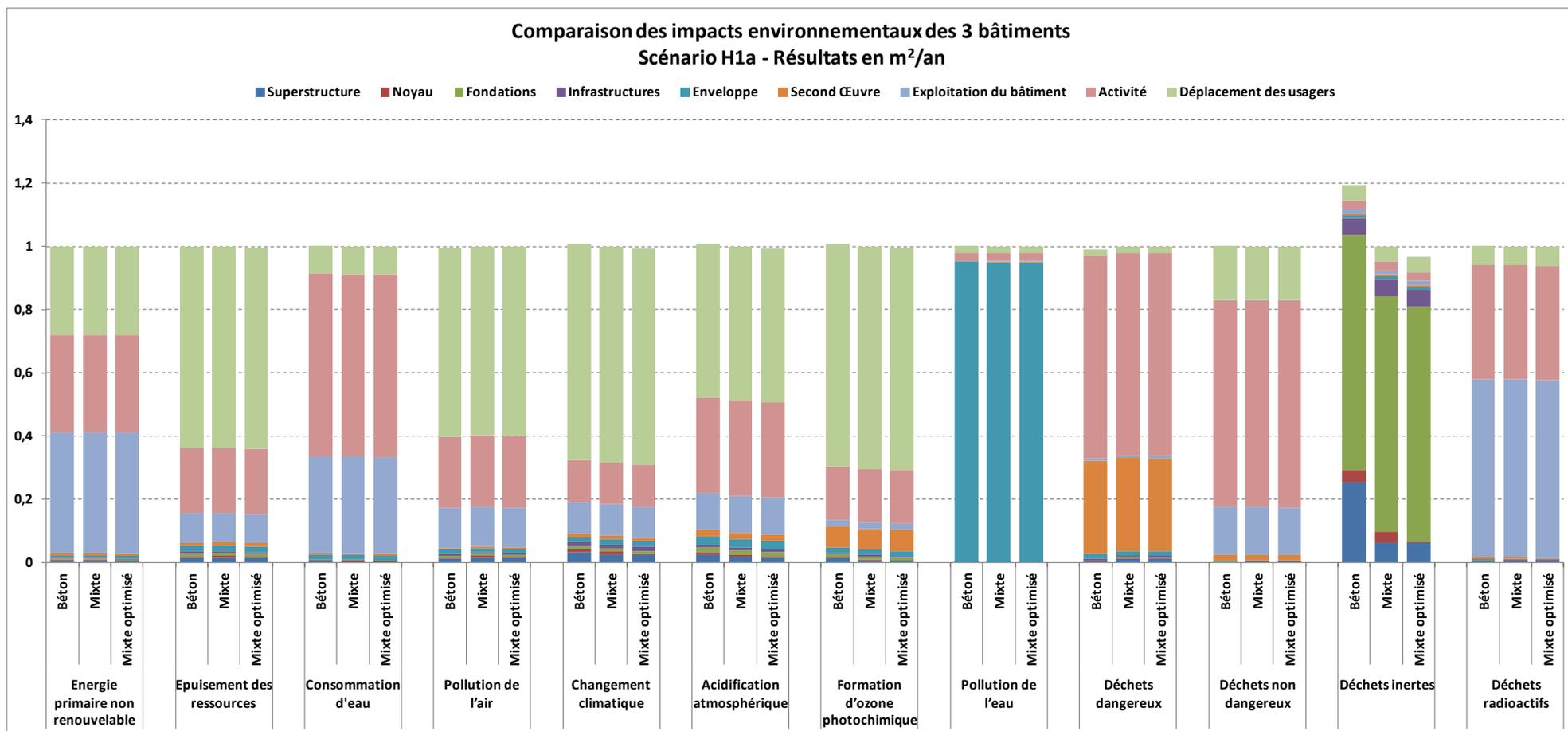


Figure S2 – Comparaison des impacts environnementaux des bâtiments

### ► Limites de l'étude

Différentes limites entraînant des incertitudes sur les résultats ont été identifiées dans l'étude.

Néanmoins, ces limites portent majoritairement sur les éléments non différenciant des bâtiments et ont une faible influence sur les résultats obtenus en ce qui concerne la comparaison des superstructures et noyaux des différents bâtiments.

Pour ce qui est de la mise en perspective des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux des bâtiments, les limites identifiées entraînent des incertitudes plus grandes sans toutefois remettre en cause les grandes tendances observées.

## Conclusion

En conclusion, cette étude menée en conformité avec la norme française XP P 01-020-3 apporte différents enseignements sur la qualité environnementale des bâtiments tertiaires.

La comparaison entre la superstructure et le noyau du bâtiment mixte et la superstructure et le noyau du bâtiment en béton a montré qu'il existait des différences significatives pour 7 des 12 indicateurs étudiés. Parmi ces 7 indicateurs, 6 sont en faveur de la structure du bâtiment mixte et 1 est en faveur de la structure du bâtiment béton. Pour les autres indicateurs analysés, l'écart observé est inférieur au niveau d'incertitude estimé et est donc jugé non significatif.

La comparaison entre la superstructure et le noyau du bâtiment mixte et la superstructure et le noyau du bâtiment mixte optimisé a permis d'évaluer les gains potentiels associés à une démarche d'éco-conception de ces éléments. Les résultats de l'étude montrent que l'optimisation de ces éléments permet une réduction des impacts environnementaux comprise entre 8 et 45% selon les indicateurs.

En complément, une analyse de sensibilité a été réalisée afin d'évaluer l'influence du mode de prise en compte du recyclage sur les résultats obtenus. Cette analyse a montré que la prise en compte du module D avait tendance à accentuer les écarts observés entre les superstructures et noyaux étudiés et à renforcer le positionnement favorable de l'acier. Ceci est lié au fait que la prise en compte du module D contribue globalement à réduire l'impact des produits en acier alors qu'elle influence peu les impacts des produits en béton. Ainsi, cette analyse de sensibilité a montré que les conclusions tirées sur le positionnement des superstructures et des noyaux sans prise en compte du module D de la norme NF EN 15804 étaient conservées lorsque ce dernier est pris en compte, avec toutefois un écart plus marqué entre les structures.

La mise en perspective des impacts environnementaux de la superstructure et du noyau avec les impacts environnementaux globaux des bâtiments a montré que la superstructure et le noyau ne représentent qu'une faible part des impacts environnementaux des bâtiments, notamment en comparaison des impacts liés aux déplacements des usagers, à l'exploitation et à l'activité des bâtiments. En effet, pour tous les indicateurs sauf les déchets inertes, la contribution de la superstructure et du noyau aux impacts totaux du bâtiment est inférieure à 4%. Néanmoins, pour les déchets inertes, cette contribution est respectivement de 24%, 10% et 6% pour le bâtiment béton, le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé.

De ce fait, les différences d'impacts observées entre les différentes superstructures et les différents noyaux sont très réduites lorsque l'on se place à l'échelle globale du bâtiment. En effet, pour tous les indicateurs sauf les déchets inertes, les écarts observés entre les bâtiments sont inférieurs à 1%. Dans le cas des déchets inertes, les écarts sont de l'ordre de 20% entre le bâtiment béton d'une part et les bâtiments mixte et mixte optimisé d'autre part.

Ainsi, hormis pour l'indicateur déchets inertes, cette étude montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre le bâtiment béton, le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé lorsque l'on se place à l'échelle globale du bâtiment.

# Chapitre 1 : Aspects généraux et objectifs de l'étude

## 1.1 Contexte de l'étude

Compte tenu de l'importance des impacts environnementaux dans le secteur du bâtiment et de l'ampleur des marges de manœuvre pour réduire ces impacts, les acteurs de la construction se sont engagés depuis plusieurs années dans une démarche globale d'éco-conception.

Cette démarche a pour objectif de favoriser les solutions constructives plus respectueuses de l'environnement, tout en maintenant la qualité d'usage. Elle s'appuie sur une réflexion globale portant :

- sur le cycle de vie du bâtiment : produits et matériaux de construction, chantier, performance énergétique en phase utilisation...
- et sur les différents enjeux environnementaux et sanitaires associés : consommation de ressources énergétiques et non énergétiques, consommation d'eau, qualité de l'air intérieur, production de déchets...

Dans la pratique, la facilité de mise en œuvre de cette démarche et les bénéfices environnementaux et sanitaires potentiels associés dépendent de deux aspects complémentaires :

- le développement de solutions de construction à moindre impact,
- et la mise à disposition de données environnementales sur les produits, systèmes et bâtiments, de façon à ce que les acteurs de la construction puissent intégrer le critère environnemental dans tous les processus de décision.

## 1.2 Objectifs de l'étude

Dans ce contexte, et compte tenu de son activité dans le secteur des bâtiments, ArcelorMittal souhaite apporter sa contribution et fournir une information fiable et objective sur la qualité environnementale des bâtiments tertiaires.

Ainsi, l'objectif principal de cette étude est de comparer les impacts environnementaux de bâtiment de bureaux construits avec différents types de structures :

- une structure mixte (en acier et béton),
- une structure en béton,
- une structure mixte optimisée (en acier et béton) résultant d'une démarche d'éco-conception de la structure mixte.

La comparaison du bâtiment avec une **structure mixte** et du bâtiment avec une **structure en béton** a pour but d'analyser les différences d'impacts environnementaux entre les systèmes constructifs les plus répandus en France.

La comparaison du bâtiment avec une **structure mixte** et du bâtiment avec une **structure mixte optimisée** vise à évaluer les gains potentiels associés à une démarche d'éco-conception au niveau de la structure.

Dans un premier temps, la comparaison entre les bâtiments sera effectuée **au niveau des superstructures et des noyaux** de ces derniers, ces éléments étant les uniques sources de différences entre les structures des bâtiments.

Dans un second temps, les impacts environnementaux de la superstructure et du noyau seront **mis en perspective des impacts environnementaux globaux des bâtiments**.

De plus, compte tenu de l'importance du recyclage pour l'acier et le béton (qui sont les principaux matériaux constitutifs des bâtiments étudiés), cette étude vise à évaluer l'influence du mode de prise en compte du recyclage sur l'évaluation des impacts environnementaux. Pour cela, cette étude propose une analyse de sensibilité dans laquelle le calcul des bénéfices et charges au-delà des frontières du système est effectué (calcul du module D de la norme NF EN 15804).

Les bâtiments étudiés sont des immeubles de bureaux climatisés, avec une performance énergétique en accord avec la Réglementation Thermique (RT) 2012, en région parisienne (H1a) et en zone méditerranéenne (H3).

L'évaluation de la qualité environnementale porte sur l'ensemble du cycle de vie et sur la durée de vie totale du bâtiment. Elle est axée sur les aspects environnementaux du bâtiment et n'intègre pas la dimension sanitaire.

L'étude est réalisée en conformité avec la série des **normes ISO 14040** relative à la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et avec les **normes NF P 01-020** et **XP P 01-020-3<sup>2</sup>** relatives à l'évaluation de la qualité environnementale des produits de construction et des bâtiments.

Enfin, il est prévu par ArcelorMittal de communiquer les résultats de cette étude de façon à mettre à disposition des données quantitatives sur la qualité environnementale des différents systèmes constructifs. Le public visé par cette étude est l'ensemble des acteurs du secteur du bâtiment.

## 1.3 Déroulement de l'étude

### 1.3.1 Réalisation de l'étude

Cette étude a été réalisée avec la participation des bureaux d'études suivants :

- E2C Atlantique, bureau d'étude « structures »,
- TRIBU Energie, bureau d'étude thermique,
- BIO Intelligence Service, agence spécialisée en Analyse de Cycle de Vie.

Le bureau d'études E2C Atlantique, spécialiste de la conception, du calcul et du dessin des structures des bâtiments en acier et en béton, a initié l'étude par la réalisation des calculs de structures pour les différents systèmes constructifs étudiés.

---

<sup>2</sup> Seuls les aspects environnementaux de la norme NF P 01-020 sont abordés dans cette étude.

Sur la base de ces travaux, le bureau d'étude Tribu Energie, expert de l'énergie au sein des bâtiments, a par la suite effectué l'ensemble des calculs thermiques pour que les bâtiments étudiés répondent à la RT 2012. Ces travaux ont notamment porté sur la détermination de l'enveloppe utilisée pour l'étude thermique.

Enfin, la société BIO Intelligence Service, spécialisée dans la quantification des impacts environnementaux, a réalisé l'analyse de cycle de vie nécessaire à l'évaluation environnementale des bâtiments.

En complément, ArcelorMittal a assuré la coordination entre ces différents bureaux d'études tout au long du projet. Le déroulement général de l'étude est illustré par la Figure 1 ci-après.

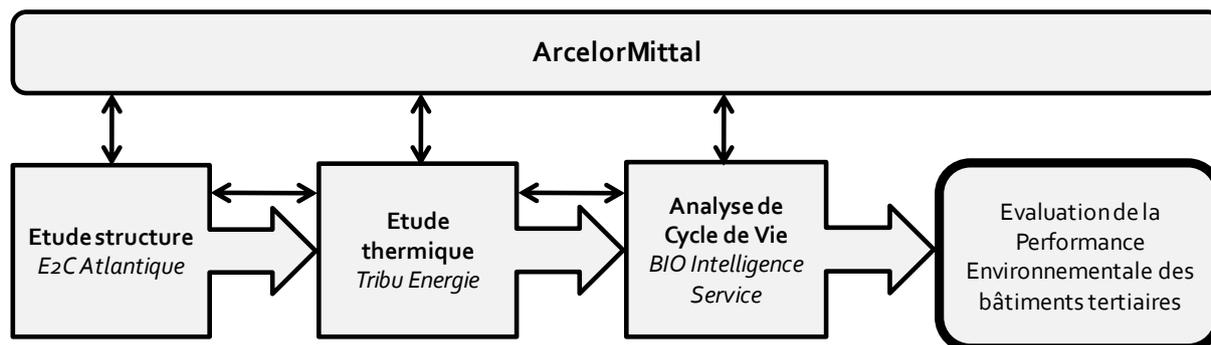


Figure 1 – Déroulement de l'étude et intervenants

### 1.3.2 Revue critique de l'étude

Une revue critique de l'étude a été réalisée par un comité de parties intéressées. Cette revue critique a eu pour objectif de valider la conformité de l'étude avec les normes NF EN ISO 14040, NF EN ISO 14044, NF P 01-020 et XP P 01-020-3 ainsi que de valider l'affirmation comparative présentée dans les résultats de l'étude.

Le comité de revue critique est composé de :

- Philippe OSSET, de la société Solinnen, qui assure la présidence du comité,
- Stéphane HERBIN, du CTICM<sup>3</sup>,
- Gérard SENIOR, architecte,
- Emmanuel JAYR, du CSTB<sup>4</sup>,
- Adelaïde FERAILLE, de l'ENPC<sup>5</sup>.

Le rapport final de revue critique est présenté en annexe (voir 6.12).

<sup>3</sup> Centre Technique Industriel de la Construction Métallique

<sup>4</sup> Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

<sup>5</sup> Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

## 1.4 Cadre méthodologique et normatif de l'étude

### 1.4.1 Principes généraux de la méthode d'Analyse de Cycle de Vie

L'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments repose sur la méthode de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV).

L'ACV est une méthode normalisée au niveau international (ISO 14 040 et 14 044) qui permet d'évaluer les effets quantifiables sur l'environnement d'un produit ou d'un service depuis l'extraction des matériaux nécessaires à son élaboration jusqu'aux filières de fin de vie.

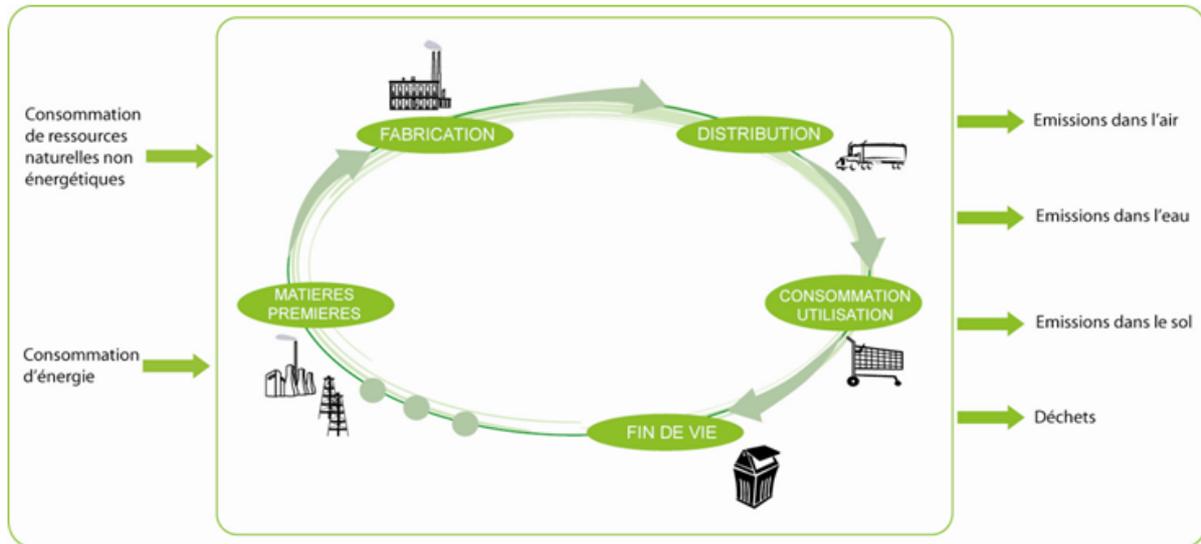


Figure 2 – Schéma général de l'Analyse de Cycle de Vie

La méthode consiste à réaliser un bilan exhaustif des consommations de ressources naturelles et d'énergie et des émissions dans l'environnement (rejets air, eau, sols, déchets) de l'ensemble des processus étudiés (Figure 2).

La première étape consiste à dresser l'inventaire exhaustif des entrées-sorties propres à chaque étape du système. Les flux de matières et d'énergie prélevées et rejetées dans l'environnement à chacune des étapes sont ensuite pondérés et agrégés pour quantifier des indicateurs d'impacts sur l'environnement.

L'avantage de l'approche ACV est qu'elle permet de comparer des situations et d'identifier les déplacements de pollution d'un milieu naturel vers un autre ou bien d'une étape du cycle de vie vers une autre, entre deux situations comparées d'un système. Elle peut donc aider à mieux discerner les arbitrages pertinents lors d'une prise de décision. C'est une approche multi-étapes.

L'ACV est aussi une méthodologie multicritères : il n'existe pas de note environnementale unique. Les résultats d'une ACV sont présentés sous la forme de plusieurs indicateurs d'impacts environnementaux.

## 1.4.2 Contexte normatif relatif à l'évaluation de la qualité environnementale dans le secteur du bâtiment

D'importants travaux normatifs ont eu lieu au cours des dernières années afin de régir la manière de quantifier et de fournir des informations sur la qualité environnementale des produits de construction et des bâtiments. Ces travaux ont abouti à la publication successive de différentes normes à l'échelle « produits/matériaux » et à l'échelle « bâtiment », tel que cela est indiqué dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 – Récapitulatif des normes publiées sur l'évaluation environnementale des produits et matériaux de construction et des bâtiments

	France AFNOR P01E	Europe CEN TC 350	Monde ISO TC 59/SC 17
Normes « produits »	XP P 01-010 (2001) NF P 01-010 (2004) <b>NF EN 15804 (2012)</b>	prEN 15804 (2010) <b>EN 15804 (2012)</b>	ISO 21930 (2007)
Normes « bâtiments »	NF P01-020-1 (2005) GA P 01-020-2 (2007) XP P 01-020-3 (2009) <b>NF EN 15978 (2012)</b>	prEN 15978 (2010) <b>EN 15978 (2012)</b>	ISO 21931-1 (2010) ISO 21929-1 (2011)

L'élaboration de ces différents textes a permis d'harmoniser les méthodes entre les différents pays européens mais également entre l'échelle « produit/matériau » et l'échelle « bâtiment ».

Néanmoins, comme l'indique le tableau précédent, certaines de ces normes sont très récentes et les données nécessaires à leur application ne sont pas encore disponibles.

C'est par exemple le cas de la norme NF EN 15978 qui requiert l'utilisation de DEP<sup>6</sup> réalisées selon la norme NF EN 15804. Or, à l'heure actuelle, très peu de DEP au format de la norme NF EN 15804 sont disponibles en France, ce qui rend quasiment impossible la réalisation d'études selon la norme NF EN 15978. De plus, il est important de noter que l'arrêté relatif à la déclaration environnementale des produits de construction<sup>7</sup>, qui présente les méthodes de caractérisation retenue pour l'application de la norme NF EN 15804 dans le contexte français, est en cours d'élaboration. Cette norme ne sera donc complètement applicable qu'après parution de cet arrêté.

A l'inverse, la norme XP 01-020-3, qui requiert l'utilisation de données environnementales de types FDES<sup>8</sup> réalisées selon la norme NF P 01-010, est applicable. En effet, en raison de la forte implication du secteur du bâtiment français pour la mise à disposition d'informations environnementales sur les produits et matériaux de construction, beaucoup de FDES ont été mises à disposition au cours des dernières années.

De manière générale, cette période de transition constitue donc un élément de contexte important pour la réalisation de la présente étude.

<sup>6</sup> Déclarations Environnementales Produit

<sup>7</sup> Arrêté relatif à la déclaration environnementale des produits de construction et de décoration destinés à un usage dans les ouvrages de bâtiment.

<sup>8</sup> Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire

### 1.4.3 Cadre normatif suivi pour la réalisation de l'étude

La présente étude est réalisée conformément aux normes ISO régissant la réalisation d'ACV, à savoir les normes internationales :

- NF EN ISO 14040 (Octobre 2006) : Management Environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Principes et cadre,
- NF EN ISO 14044 (Octobre 2006) : Management Environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices.

En complément de ces normes, le guide des bonnes pratiques pour l'application de ces normes (ILCD Handbook<sup>9</sup>) rédigé par le Joint Research Center de la Commission Européenne est également suivi.

De plus, compte tenu du contexte normatif relatif à l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments et des données disponibles, cette étude est également réalisée en conformité avec les normes :

- NF P 01-020 (Mars 2005) : Qualité environnementale des produits de construction et des bâtiments – Partie 1 : Cadre méthodologique pour la description et la caractérisation des performances environnementales et sanitaires des bâtiments – Partie 2 : Méthodologie d'évaluation des performances environnementales et sanitaires des bâtiments.
- XP P 01-020-3 (Juin 2009) : Qualité environnementale des produits de construction et bâtiments – Partie 3 : Définition et méthode de calcul des indicateurs environnementaux pour l'évaluation de la qualité environnementale d'un bâtiment.

Il est toutefois important de noter que les contributions sanitaires et de confort ne sont pas prises en compte dans cette étude dont l'objectif est centré sur l'aspect environnemental. Les aspects sanitaires potentiellement liés aux impacts environnementaux (écotoxicité,...) ne sont pas pris en compte dans cette étude.

Par ailleurs, l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments selon les normes citées ci-dessus repose sur l'utilisation de FDES réalisées selon la norme :

- NF P 01-010 (Décembre 2004) : Qualité environnementale des produits de construction - Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction.

Enfin, afin d'anticiper les évolutions méthodologiques relatives à l'apparition des nouvelles normes européennes, une analyse de sensibilité est réalisée sur la prise en compte des charges et bénéfiques au-delà des frontières du système (module D). Cette analyse de sensibilité est réalisée en se basant sur la norme :

- NF EN 15804 (Août 2012) : Contribution des ouvrages de construction au développement durable – Déclarations environnementales sur les produits – Règles régissant les catégories de produits de construction.

---

<sup>9</sup> European Commission – Joint Research Center – Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – General guide for Life Cycle Assessment – Provisions and action steps. First edition 2010. Luxembourg. Publications Office of the European Union ; 2010.

### 2.1 Systèmes étudiés

Les systèmes étudiés sont des bâtiments tertiaires construits avec différents types de structures :

- une structure mixte (en acier et béton),
- une structure en béton,
- une structure mixte optimisée (en acier et béton).

Le bâtiment avec une structure mixte en acier et béton et le bâtiment avec une structure en béton sont représentatifs des pratiques courantes en matière de construction de bâtiments tertiaires. En ce qui concerne le dernier bâtiment, il correspond à un bâtiment avec une structure mixte ayant fait l'objet d'une démarche d'éco-conception.

Les éléments différenciant entre les bâtiments portent uniquement sur la superstructure (poteaux, poutres et dalles) et sur les noyaux. Les autres éléments de la structure (fondations et infrastructures) ainsi que l'enveloppe et le second œuvre sont identiques.

Les services rendus par les bâtiments sont considérés comme équivalents car les surfaces utiles des bâtiments sont égales. En effet, bien que le volume du bâtiment soit légèrement supérieur dans le cas des structures mixtes que dans le cas de la structure béton, il est considéré que pour une activité de bureau, le paramètre déterminant pour évaluer le service rendu est la surface utile des bâtiments.

Les bâtiments sont étudiés dans deux contextes climatiques différents :

- la zone H1a, qui correspond aux conditions climatiques de la région parisienne,
- la zone H3, qui correspond aux conditions climatiques de la zone méditerranéenne.

La Durée de Vie Programmée (DVP) pour les bâtiments est de 100 années. En effet, pour les bâtiments de bureaux, il apparaît dans la grande majorité des cas que ce sont les éléments de structure qui conditionnent la durée de vie du bâtiment, les autres éléments pouvant être rénovés ou remplacés. Or, dans le cadre de cette étude, les matériaux constitutifs des structures sont tout à fait compatibles avec une durée de vie de 100 ans<sup>10</sup>. Enfin, il est intéressant de noter que la DVP ne constitue pas un élément différenciant entre les différentes structures de bâtiment étudiées dans cette étude.

Au cours de cette période de 100 ans, il est considéré que les bâtiments assureront uniquement la fonction de bâtiment de bureaux et qu'ils seront déconstruits à l'issue de cette période. En complément, il est considéré qu'aucune partie des bâtiments n'est réutilisée que ce soit avant ou après la déconstruction de ces derniers.

Enfin, les ouvrages extérieurs des bâtiments (voirie, espaces paysagers,...) ne sont pas pris en compte dans cette étude. En effet, peu de données sont disponibles et ces éléments sont non différenciant entre les différents bâtiments étudiés.

---

<sup>10</sup> Les durées de vie considérées dans les FDES des matériaux constitutifs des structures des bâtiments sont de 100 ans.

Les caractéristiques des bâtiments étudiés sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Caractéristiques des bâtiments étudiés

Caractéristique	
Type de bâtiment	Bâtiment tertiaire (livré partiellement cloisonné avec des bureaux plateaux à aménager)
Structure	Trois structures différentes : Mixte acier/béton* Béton (béton armé) Mixte acier/béton optimisée*
Activité	Activité de bureaux avec un faible nombre de visiteurs
Exigences climatiques	Deux zones différentes : H1a H3
Exigences thermiques	RT 2012
Système de chauffage	Pompe à chaleur (PAC) réversible
Système de refroidissement	Pompe à chaleur (PAC) réversible
Exigences techniques	-
Durée de Vie Programmée	100 ans
Surface utile (au sens de la RT 2012)	8712 m <sup>2</sup>
Niveaux	R+8
Effectif	566 personnes

\*Le bâtiment ayant une structure mixte acier/béton non optimisée est appelé « Mixte » dans la suite du rapport. Celui avec une structure mixte acier/béton optimisée est appelé « Mixte optimisé ».

Compte-tenu des caractéristiques présentées ci-dessus et des objectifs de l'étude, les 6 cas de figure présentés ci-dessous sont étudiés.

Tableau 3 – Cas de figure étudiés

Cas	Nom	Structure	Zone climatique
1	Mixte H1a	Mixte acier/béton	H1a
2	Mixte H3	Mixte acier/béton	H3
3	Béton H1a	Béton	H1a
4	Béton H3	Béton	H3
5	Mixte optimisé H1a	Mixte acier/béton optimisée	H1a
6	Mixte optimisé H3	Mixte acier/béton optimisée	H3

## 2.2 Unité fonctionnelle

Dans le cadre de cette étude, le service rendu par les bâtiments est évalué sur la base des surfaces utiles de ces derniers.

Compte tenu de cet élément et afin de répondre aux objectifs de l'étude, l'unité fonctionnelle retenue est :

**« Assurer la fonction de bâtiment de bureaux sur une surface utile de 8712 m<sup>2</sup> pendant une durée de vie de 100 ans, en respectant la RT 2012 dans une zone climatique donnée »**

## 2.3 Frontières des systèmes

### 2.3.1 Frontières temporelles

Les frontières temporelles de l'étude sont celles définies dans le cas 1 de la norme XP P 01-020-3 à savoir que le bâtiment a une destination unique avec une durée de vie fixée à 100 ans.

Ainsi, comme évoqué au paragraphe 2.1, on considère que les bâtiments assureront uniquement la fonction de bâtiments de bureaux au cours de leur durée de vie de 100 ans et qu'ils seront déconstruits à l'issue de cette période.

### 2.3.2 Processus et contributeurs inclus

Conformément à la norme XP P 01-020-3, les processus et contributeurs inclus dans l'étude sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Les hypothèses et données utilisées pour la prise en compte des contributeurs inclus dans l'étude sont fournies dans le Chapitre 3 :

De plus, pour la production d'électricité, l'inventaire disponible dans le fascicule FD P 01-015 étant jugé trop ancien pour être utilisé dans cette étude, le mix électrique français a été reconstruit avec des données issues du site internet de RTE (Réseau de Transport d'Electricité) et avec des inventaires de production d'électricité d'écoinvent. Ces données sont publiquement accessibles. La modélisation effectuée concernant l'électricité est présentée en annexe 5 (6.5).

Tableau 4 – Processus et contributeurs inclus dans l'étude

Processus	Contributeur	Inclus dans le champ de l'évaluation		Quantification du contributeur		Détail des flux pris en compte pour la quantification des impacts environnementaux / sources de données
		Oui	Non	Oui	Non	
Processus liés à la mise à disposition du bâti <sup>11</sup>	Consommation de produits et matériaux de construction	X		X		Cycle de vie des produits et matériaux pour la construction initiale et la maintenance (remplacements) / FDES des produits concernés
	Chantier de construction (hors contribution produits) <sup>12</sup>	X		X		Consommations d'énergie pour le terrassement et le transport des déblais/remblais / HQE Performance <sup>A</sup>
	Chantier de déconstruction (hors contribution produits) <sup>13</sup>		X		X	Non pris en compte par manque de données disponibles.
Processus liés aux flux de fonctionnement du bâtiment <sup>14</sup>	Consommations d'énergie liées à l'éclairage, au chauffage, à la production d'eau chaude sanitaire, à la ventilation, au refroidissement et aux auxiliaires associés	X		X		Consommations couvertes par la RT 2012 / calcul RT2012
	Autres consommations d'énergie liées au bâti	X		X		Consommation d'énergie pour l'éclairage du parking / Enertech/ADEME <sup>B</sup> Consommation d'énergie par les ascenseurs / KONE <sup>C</sup>
	Rejets liquides (hors rejets liés à l'activité)		X		X	Rejets (eaux pluviales, eaux de ruissellement,...) non pris en compte (mais estimé, voir 3.3.7) car ne constituant pas un enjeu environnemental majeur dans le cadre de cette étude et n'entraînant pas de biais dans la comparaison.

<sup>11</sup> Les équipements associés à ce processus (grues, pelles,...) ne sont pas pris en compte. En effet, très peu de données sont disponibles sur ces engins.

<sup>12</sup> Les impacts associés à la mise en œuvre des produits et matériaux de construction ne sont pas comptabilisés dans ce contributeur. Ils sont intégrés dans le contributeur « Consommation de produits et matériaux de construction ». Ils sont pris en compte via les différentes FDES utilisées dans l'étude.

<sup>13</sup> Les impacts associés à la fin de vie des produits et matériaux de construction ne sont pas comptabilisés dans ce contributeur. Ils sont intégrés dans le contributeur « Consommation de produits et matériaux de construction ». Ils sont pris en compte via les différentes FDES utilisées dans l'étude.

<sup>14</sup> Les équipements associés à ce processus (pompe à chaleur, ballon d'eau chaude,...) ne sont pas pris en compte. Seules les consommations d'énergie associées à ces équipements sont prises en compte. En effet, très peu de données sont disponibles sur ces équipements et ils ne constituent pas un facteur différenciant entre les alternatives étudiées dans ce rapport.

Tableau 5 – Processus et contributeurs inclus dans l'étude (suite)

Processus	Contributeur	Inclus dans le champ de l'évaluation		Quantification du contributeur		Quantification des impacts environnementaux Détail des flux pris en compte / sources de données
		Oui	Non	Oui	Non	
Processus liés à l'activité dont le bâtiment est le support <sup>15</sup>	Consommations d'énergie liées à l'activité (restauration, équipements bureautiques, laverie, etc.)	X		X		Consommation d'énergie des équipements de bureautique / GIE Energie Positive <sup>D</sup>
	Consommations de matière liées à l'activité	X		X		Consommation de papier pour l'activité tertiaire / HQE Performance <sup>A</sup>
	Consommation d'eau	X		X		Consommation d'eau pour l'activité tertiaire / Outil HQE Certivea
	Production et gestion des déchets d'activité (y compris rejets liquides)	X		X		Production et gestion de déchets générés par l'activité tertiaire (papier + eau) / HQE Performance <sup>A</sup>
Processus liés aux déplacements des usagers	Transports des usagers	X		X		Transport des usagers selon différents modes de transport (marche à pied/vélo, voiture et transports en commun) <sup>E</sup>

- A : Association HQE, HQE Performance, Règles d'application pour l'évaluation environnementale des bâtiments, Version du 14/06/12 pour le test HQE Performance 2012, en partenariat avec le Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement, l'ADEME et le CSTB.
- B : Enertech / ADEME, Diagnostic énergétique de l'hôtel du Bas-Rhin, Rapport Final, Octobre 2005, Conseil général du Bas-Rhin, ADEME.
- C : Valeur issue d'une Analyse de Cycle de Vie réalisée par KONE, Solutions KONE Eco-efficient, Ascenseur KONE MonoSpace®, 2010, [http://www.kone.com/countries/fr\\_FR/KONE2/Eco-efficient/Documents/KONE%20-%20Ascenseur%20KONE%20Monospace%20%C3%A9co-efficient.pdf](http://www.kone.com/countries/fr_FR/KONE2/Eco-efficient/Documents/KONE%20-%20Ascenseur%20KONE%20Monospace%20%C3%A9co-efficient.pdf).
- D : Livre blanc, GIE Energie positive, Octobre 2009, p.17.
- E : INSEE, Réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des trajets domicile-travail : des marges de progrès importantes, [http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg\\_id=5&ref\\_id=17403](http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=5&ref_id=17403).

<sup>15</sup> Les équipements associés à ce processus (ordinateur, imprimante, écran,...) ne sont pas pris en compte. Seules les consommations d'énergie associées à ces équipements sont prises en compte. En effet, très peu de données sont disponibles sur ces équipements et ils ne constituent pas un facteur différenciant entre les alternatives étudiées dans ce rapport.

## 2.4 Exigences sur la qualité des données

Deux types de données sont nécessaires à l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments tertiaires :

- des données brutes (flux de matière ou d'énergie relatifs aux différents processus et contributeurs inclus dans l'étude),
- des données environnementales (impacts environnementaux associés à ces flux de matière ou d'énergie).

Compte tenu des objectifs de cette étude, les exigences sur la qualité des données sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 – Exigences sur la qualité des données

Types de données	Exigences sur la qualité des données
Données brutes sur les produits et matériaux de construction	Des données spécifiques doivent être utilisées.
Données brute sur les consommations d'énergie liées à la réglementation en vigueur	Des données spécifiques doivent être utilisées.
Autres données brutes	Des données génériques peuvent être utilisées à condition quelles soient représentatives des systèmes considérés.
Données environnementales sur les produits et matériaux de construction	<p>Les données doivent être aussi récentes que possible.</p> <p>Les données doivent être représentatives des produits mis sur le marché français.</p> <p>La couverture technologique doit refléter la réalité physique pour le produit ou le groupe de produits considérés.</p> <p>Enfin, conformément à ce qui est indiqué dans la norme XP P 01-020-3, il convient de sélectionner les données selon l'ordre préférentiel suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- données publiées sous forme de déclarations environnementales de type III vérifiées par tierce partie,</li> <li>- données publiées sous forme de déclarations environnementales de type III,</li> <li>- données publiées sous d'autres formes de déclarations environnementales au sens de la norme ISO 14020,</li> <li>- autres données.</li> </ul>
Autres données environnementales	Des données génériques peuvent être utilisées, à condition quelles soient représentatives des systèmes considérés.

## 2.5 Sources de données

Les sources de données utilisées pour les données brutes et les données environnementales sont présentées ci-dessous.

Les données utilisées sont présentées au Chapitre 3 :et en annexes.

L'évaluation de la qualité des données au regard des exigences fixées au paragraphe précédent est effectuée au paragraphe 3.4.1.

### ► **Données brutes**

Les données brutes ont été calculées par les bureaux d'études E2C Atlantique (Structure) et TRIBU Energie (Thermique) ou sélectionnées dans les sources bibliographiques indiquées dans le Tableau 4 et le Tableau 5. Pour les données calculées, les hypothèses et règles de calcul ayant permis le calcul de ces données sont consignées dans les rapports des bureaux d'études disponibles sur demande auprès d'ArcelorMittal.

Toutes les données brutes utilisées sont présentées en annexes 1 et 4.

### ► **Données environnementales relatives aux produits et matériaux de construction**

Pour ce qui concerne les produits et matériaux de construction, les données environnementales utilisées sont :

- des FDES issues de la base INIES (base de données de FDES, <http://www.inies.fr/>),
- des FDES ou des modules d'informations réalisés selon la norme NF P 01-010 disponibles sur les sites internet de fabricants et syndicats,
- des données adaptées par BIO IS sur la base de FDES ou d'inventaires de cycle de vie existants.

Par exemple, pour les produits en béton, les données utilisées sont des FDES issues du logiciel Betie disponible sur le site internet du SNBPE (Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi).

Pour les produits en acier de type poutrelle, les données sont issues de la FDES Poutrelle en acier disponible sur INIES et ont été adaptées de façon à obtenir des données exprimées par kg de poutrelle plutôt que par mètre de poutrelle.

Pour les produits en acier de type plancher collaborant et acier à béton, les données de base utilisées sont des inventaires relatifs à la production d'acier fournis par ArcelorMittal et la World Steel Association. Les bénéfices et charges environnementales liés à l'utilisation d'acier recyclé dans la fabrication de ces produits n'ont pas été pris en compte par souci de conformité avec la norme NF P 01-010. Les données sont donc plus récentes que celles disponibles sur la base INIES. Ces données étant relatives à l'étape de production, elles ont été complétées de façon à prendre en compte les autres étapes du cycle de vie. La modélisation a été effectuée en respectant la norme NF P 01-010 et sur la base des hypothèses figurant dans les FDES disponibles sur INIES pour ces produits.

### ► **Autres données environnementales**

Pour ce qui concerne les autres contributeurs à prendre en compte (consommation d'électricité, d'eau, de papier, de diesel, ...), les données utilisées sont des inventaires issus de la base de données ecoinvent v2.2.

Comme évoqué précédemment, l'inventaire relatif à la production d'électricité a été reconstruit à partir de données issues du site internet de RTE.

Toutes les données environnementales utilisées sont présentées en annexes 1 et 2. La modélisation effectuée concernant l'électricité est présentée en annexe 5.

## 2.6 Règles de coupure

### 2.6.1 Règle de coupure à l'échelle du bâtiment

Tous les produits et matériaux de construction permettant de réaliser un bâtiment répondant aux exigences de la Directive des Produits de Construction (DPC 89/106/CE) sont pris en compte.

L'ensemble des données fournies par les bureaux d'études structure et thermique ont été intégrées dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments, à l'exception de la porte d'entrée du bâtiment pour laquelle aucune donnée environnementale n'a été jugée adaptée. En complément, des données complémentaires ont été collectées pour les différents processus considérés dans cette étude (voir 2.3.2).

### 2.6.2 Règle de coupure à l'échelle des produits et matériaux de construction

Cette étude repose sur des données issues de FDES ou de modules d'informations environnementales réalisés selon la norme NF P 01-010. Par conséquent, les données utilisées respectent la règle de coupure stipulée dans cette norme, à savoir un seuil fixé à 98% en masse (voir 6.1 pour plus de détails). Les règles de coupure des données utilisées n'ont pas été modifiées.

## 2.7 Règles d'affectation

### 2.7.1 Règle d'affectation à l'échelle du bâtiment

On considère que le bâtiment assurera uniquement la fonction de bâtiment de bureaux sur sa durée de vie de 100 ans et qu'il sera déconstruit à l'issue de cette période. Par conséquent, il n'y a pas de co-fonction simultanée ou successive pour le bâtiment et il n'y a donc pas de problématique d'affectation à l'échelle du bâtiment.

### 2.7.2 Règle d'affectation à l'échelle des produits et matériaux de construction

Comme évoqué précédemment, cette étude repose majoritairement sur des données issues de FDES ou de modules d'informations réalisés selon la norme NF P 01-010. De ce fait, les règles d'affectation utilisées pour la plupart des produits et matériaux de construction sont donc conformes à celles préconisées dans cette norme.

D'une manière générale, les règles d'affectation ayant été appliquées lors de la réalisation de ces données sources n'ont pas fait l'objet de modification. Toutefois, le cas particulier du recyclage a fait l'objet d'une analyse de sensibilité.

### ► Cas particulier du recyclage (prise en compte du module D de la norme NF EN 15978)

Conformément à la norme NF P 01-010, la méthode employée pour la prise en compte du recyclage dans les FDES ou modules d'informations utilisés dans cette étude est la méthode des stocks. Dans cette méthode, on considère un stock de matière récupérée, qui provient de matériaux en fin de vie et qui sert à la fabrication de produits recyclés. Avec cette méthode, la matière récupérée ne porte aucun poids environnemental et les bénéfices du recyclage se traduisent de la façon suivante :

- Pour le produit qui utilise de la matière recyclée (c'est-à-dire de la matière récupérée issue du stock), cela revient à bénéficier de matière sans impact (seul l'impact du procédé de recyclage est pris en compte).
- Pour le produit qui est recyclé en fin de vie (c'est-à-dire qui est envoyé vers le stock de matière récupérée), cela se traduit par l'absence d'élimination et des impacts associés à cette élimination.

Compte tenu de l'importance du recyclage pour l'acier et le béton (qui sont les principaux matériaux constitutifs des bâtiments étudiés) et de l'apparition dans la norme NF EN 15978 d'un module D spécifiquement dédié à la prise en compte des bénéfices et charges au-delà des frontières du système, cette étude propose d'aller plus loin dans la prise en compte du recyclage. Pour cela, cette étude propose une analyse de sensibilité dans laquelle le calcul du module D est effectué pour les bâtiments étudiés. Dans cette analyse, le module D est calculé pour les produits en acier et en béton uniquement, ces matériaux étant constitutifs des structures et les autres matériaux concernés par ce module n'étant pas différenciant entre les bâtiments étudiés.

Les données et hypothèses pour cette analyse de sensibilité sont présentées en annexe 7 (6.7). Les résultats sont présentés dans la section 4.4.

## Chapitre 3 : Hypothèses et données utilisées

### 3.1 Hypothèses et données relatives aux structures et aux produits et matériaux de construction

Ce chapitre présente les principales hypothèses et données de l'étude réalisée par E2C Atlantique. L'intégralité des rapports de conception fournis par E2C Atlantique au cours de cette étude est disponible sur demande auprès d'ArcelorMittal.

Il est à noter que les études de structure effectuées dans le cadre de ce projet ont été réalisées conformément aux Eurocodes. La liste des Eurocodes utilisés est fournie en annexe de ce document (annexe 3, 6.3).

#### 3.1.1 Hypothèses et données communes aux différents bâtiments

##### ► Caractéristiques générales des bâtiments

Le Tableau 7 ci-dessous présente les caractéristiques communes aux différents bâtiments étudiés.

Tableau 7 – Caractéristiques communes aux différents bâtiments

Caractéristique	Valeur
SHONRT	9583 m <sup>2</sup>
Surface utile RT	8712 m <sup>2</sup>
Surface du bâtiment en plan	42,4 m x 24,4 m
Niveaux en superstructure	R + 8
Niveaux en infrastructure	2 niveaux
Hauteur du bâtiment	31,2 m
Hauteur entre niveaux de dalle à dalle en étage	3,40 m
Hauteur de dalle à dalle au niveau du RDC	4,00 m
Hauteur de dalle à dalle en infrastructure	3,20 m
Détails des locaux	-
<i>Bureaux</i>	4436 m <sup>2</sup> ; 566 personnes
<i>Salle de réunion</i>	800 m <sup>2</sup>
<i>Hall</i>	370 m <sup>2</sup>
<i>Sanitaire</i>	324 m <sup>2</sup> ; 72 unités de sanitaire
<i>Circulation</i>	2782 m <sup>2</sup>

Les principales hypothèses retenues dans la phase de conception des bâtiments sont listées ci-dessous :

- La hauteur des bâtiments est de 28 m (au dernier plancher). Cette hauteur fait que ces derniers ne sont pas soumis à la réglementation des Immeubles de Grande Hauteur (IGH).
- Les bâtiments possèdent quatre façades libres ce qui signifie qu'ils sont entourés de terrains non construits. Il est toutefois possible de transposer (de manière relative) les résultats de cette étude pour des bâtiments avec seulement deux façades libres car les deux façades latérales sont remplacées à l'identique pour les différentes alternatives étudiées.
- L'infrastructure considérée est la même pour toutes les alternatives considérées. Le taux de travail du sol est commun à toutes les alternatives.
- Les bâtiments considérés dans l'étude sont livrés avec des plateaux libres à aménager. Cette option étant courante pour les bâtiments de bureaux à l'heure actuelle.
- La prestation d'isolation thermique est commune aux différentes alternatives étudiées. Ce choix a été réalisé car il permet de définir des types, masses et volumes de matériaux identiques entre les alternatives qui mettent en avant les différences liées à la structure des bâtiments.

### ► Dispositions géométriques

Les principales dispositions géométriques sont présentées dans les figures ci-dessous :

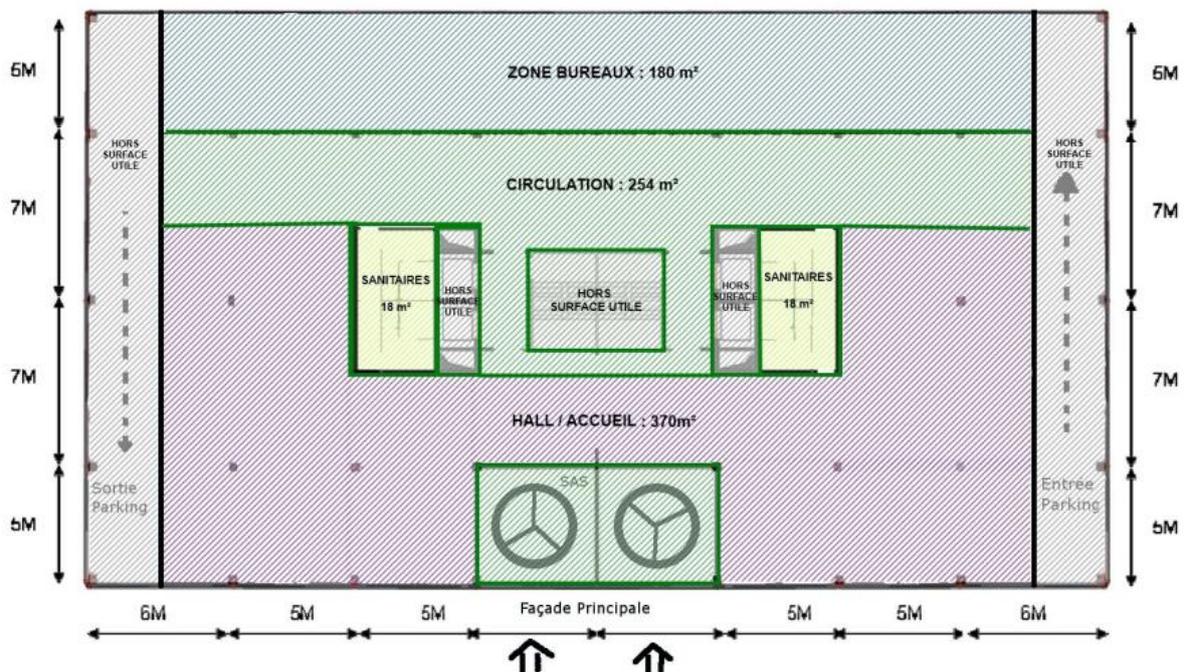


Figure 3 – Plan du rez-de-chaussée

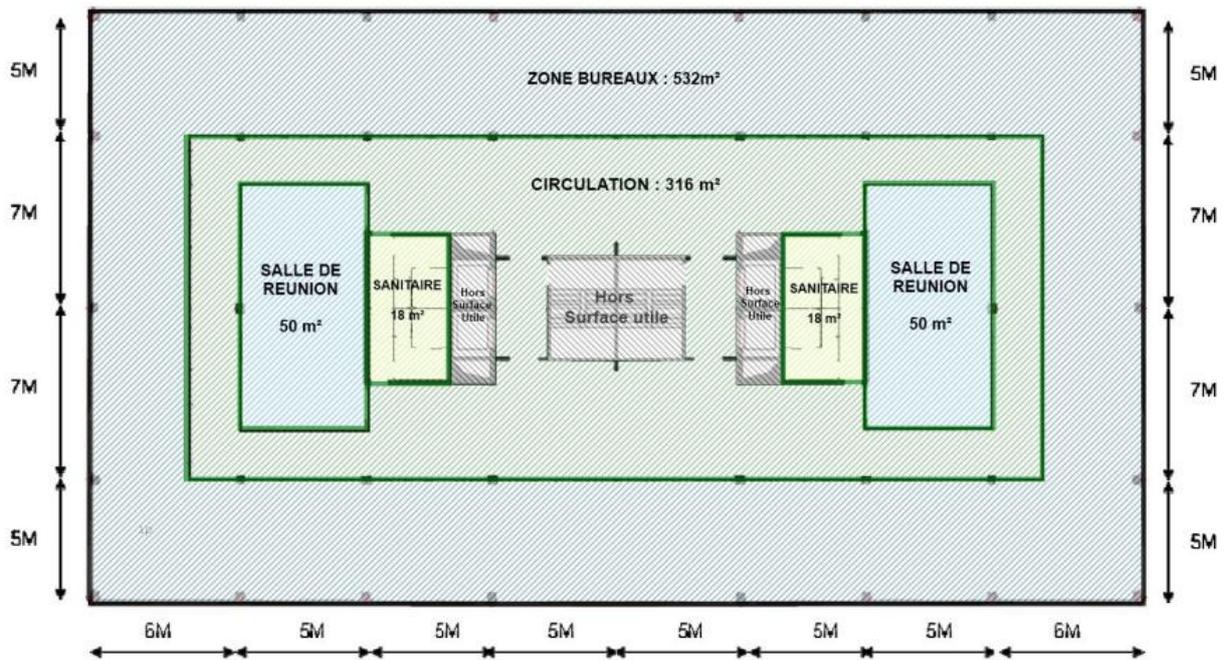


Figure 4 – Plan d'un étage courant

### ► Charges d'exploitation

Les charges d'exploitation sont présentées dans le Tableau 8 ci-dessous.

Tableau 8 – Charges d'exploitation

Ensemble	Sous-ensemble	Charges d'exploitation (daN/m <sup>2</sup> )
Sous-sol	Zones de parking	250
	Locaux techniques	500
Rez-de-chaussée et étages courants	Bureaux paysagers - Circulations	350
	Sanitaires	250
Toitures terrasses	Toitures terrasses inaccessibles (entretien)	150
	Zones techniques (machines VMC, ...)	500

### ► Stabilité au feu

L'ensemble des structures a une stabilité au feu qui respecte la réglementation en vigueur selon les éléments présentés ci-dessous :

- En superstructures :
  - Les structures (poteaux, voiles, poutres et dalles) sont stables au feu 1Hoo.
  - Les planchers hauts (dalles) sont coupe feu 1Hoo.

- En infrastructures :
  - Au niveau PH-1 : Les structures (poteaux, voiles, poutres et dalles) sont stables au feu 2H00. Les planchers hauts (dalles) sont coupe feu 2H00.
  - Au niveau PH-2 : Les structures (poteaux et voiles) seront stables au feu 2h00. Les planchers hauts (poutres et dalles) sont coupe feu 1H00.

Il est à noter que dans le cas des bâtiments mixte et mixte optimisé, la stabilité au feu des éléments structuraux est assurée par les protections suivantes :

- un flocage pour les éléments structuraux non visibles, comprenant les poutres principales, les poteaux et les palés de stabilité ;
- Une peinture intumescente pour les éléments structuraux vus, comprenant les poutres principales et les poteaux. L'encoffrement par Placofeu pourrait également être proposée à la décision de l'architecte et maîtrise d'œuvre selon l'objectif recherché.

Compte-tenu de la faible masse de ces éléments de protection en comparaison de la masse des éléments structuraux, ces derniers ne sont pas pris en compte dans le calcul environnemental.

### ► Risque sismique

Les données pour la prise en compte du risque sismique sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 – Données relatives au risque sismique

Donnée	Valeur
Zone de sismicité (selon le décret 2010-1255)	3 – « Aléa modéré »
Classe d'importance	Bâtiment de classe d'importance III
Classe de sol	Classe B selon les Eurocodes 8 → paramètre de sol S = 1,35

### ► Types de béton utilisés pour les fondations et infrastructures

Les types de béton utilisés pour les fondations et infrastructures communes aux différents bâtiments sont présentés ci-dessous.

Tableau 10 – Types de béton utilisés pour les fondations et infrastructures

Partie du bâtiment	Élément	Type de béton
Fondations	Massifs, Semelles filantes, Redans, Liaisons sismiques & Radiers	C30/37 – CEM II/B-L ou LL
		C16/20 – CEM II/B-L ou LL
Infrastructure	Murs extérieurs face contre terre	C30/37 – CEM II/B-L ou LL
	Murs intérieurs	C30/37 – CEM I
	Poteaux	C40/50 – CEM I
	Poutres	C30/37 – CEM I
	Planchers	C30/37 – CEM II/A - V

### 3.1.2 Hypothèses et données spécifiques à la structure mixte

#### ► Description de la structure

Le bâtiment mixte en acier et béton présente une superstructure en acier et un noyau en béton. Les figures ci-dessous présentent la structure du bâtiment mixte.

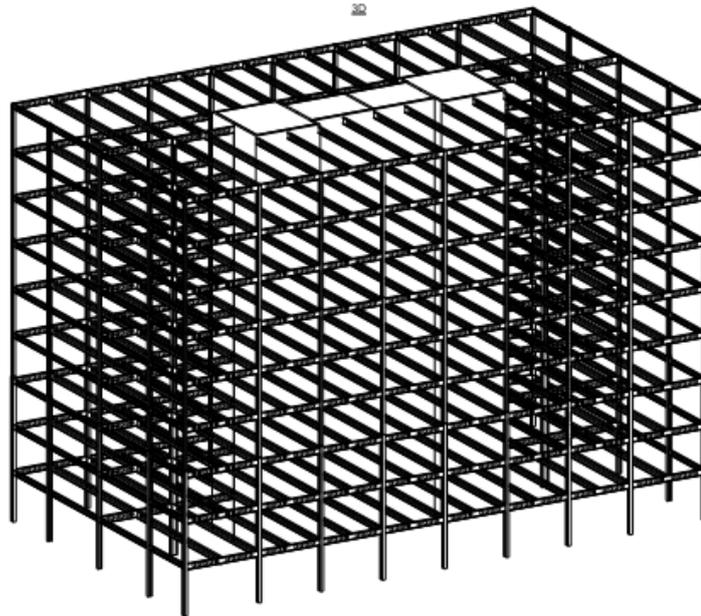


Figure 5 – Vue en 3D de la structure

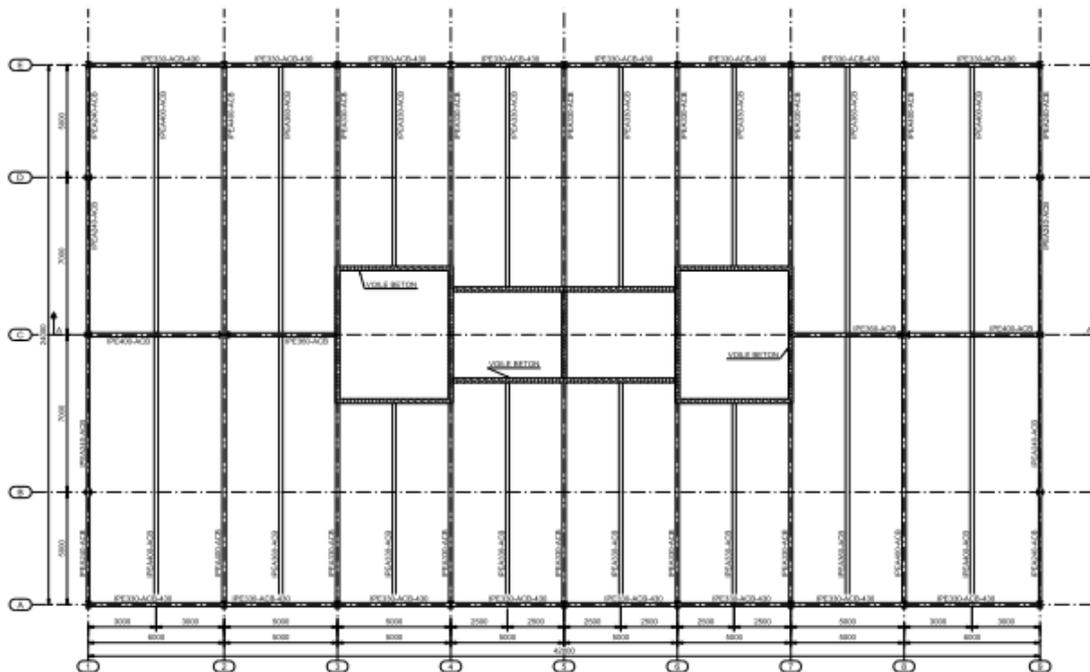


Figure 6 – Vue en plan d'un étage courant

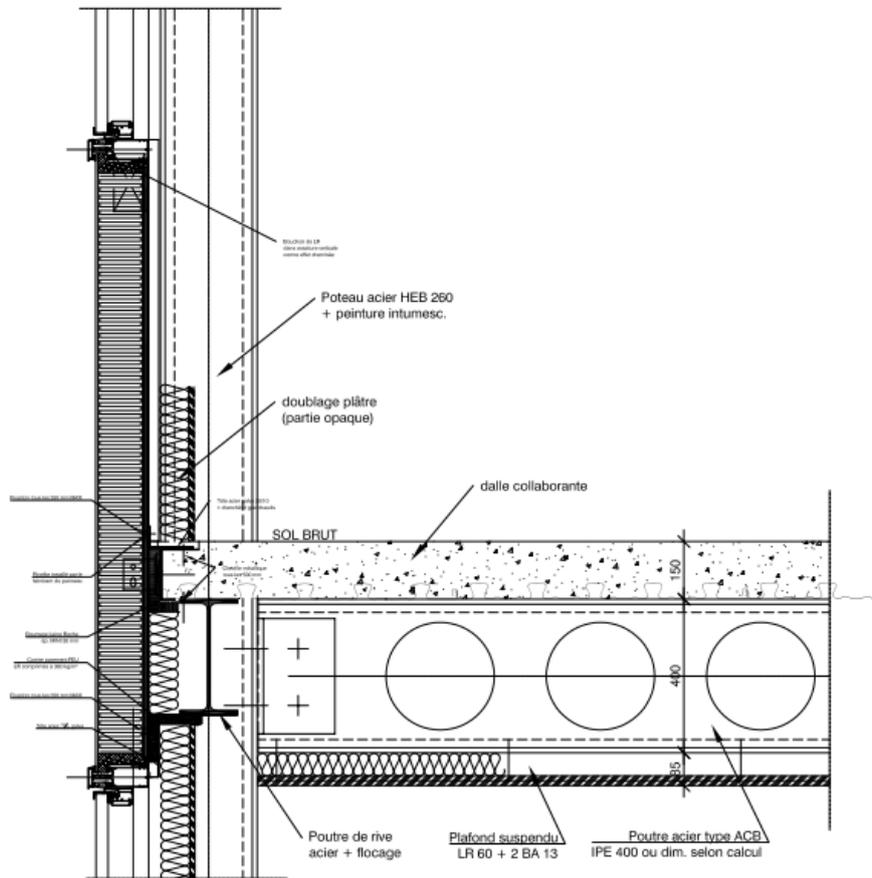


Figure 7 – Schéma en coupe des planchers du bâtiment mixte

### ► Types d'acier et de béton utilisés

Les types d'acier et de béton utilisés sont présentés ci-dessous.

Tableau 11 – Types d'acier utilisés pour la structure mixte acier/béton

Partie du bâtiment	Élément	Type d'acier
Superstructure	Poteaux	S355JO
	Poutres	S355JO
	Solives	S355JO
	Planchers collaborant (partie acier)	Cofraplus 60 <sup>16</sup>

Tableau 12 – Types de béton utilisés pour la structure mixte acier/béton

Partie du bâtiment	Élément	Type d'acier
Superstructure (noyau)	Voiles	C30/37 – CEM I
	Planchers collaborant (partie béton)	C30/37 – CEM II/A - V
	Escaliers	C30/37 – CEM I

<sup>16</sup> Cofraplus 60 ne fait pas référence à type d'acier mais à un produit en acier. Pour plus d'informations, voir : [http://www.arcelormittal-construction.ch/fr/html\\_includes/download/cofraplus\\_60.pdf](http://www.arcelormittal-construction.ch/fr/html_includes/download/cofraplus_60.pdf).

### 3.1.3 Hypothèses et données spécifiques à la structure béton

#### ► Description de la structure

Le bâtiment en béton présente une superstructure et un noyau en béton. Le noyau en béton est le même que celui du bâtiment mixte. Les figures ci-dessous présentent la structure du bâtiment béton.

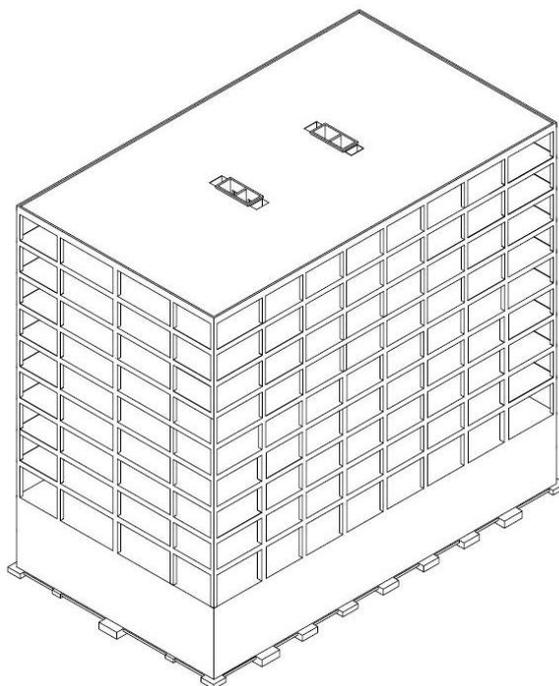


Figure 8 – Vue en 3D de la structure (avec infrastructures)

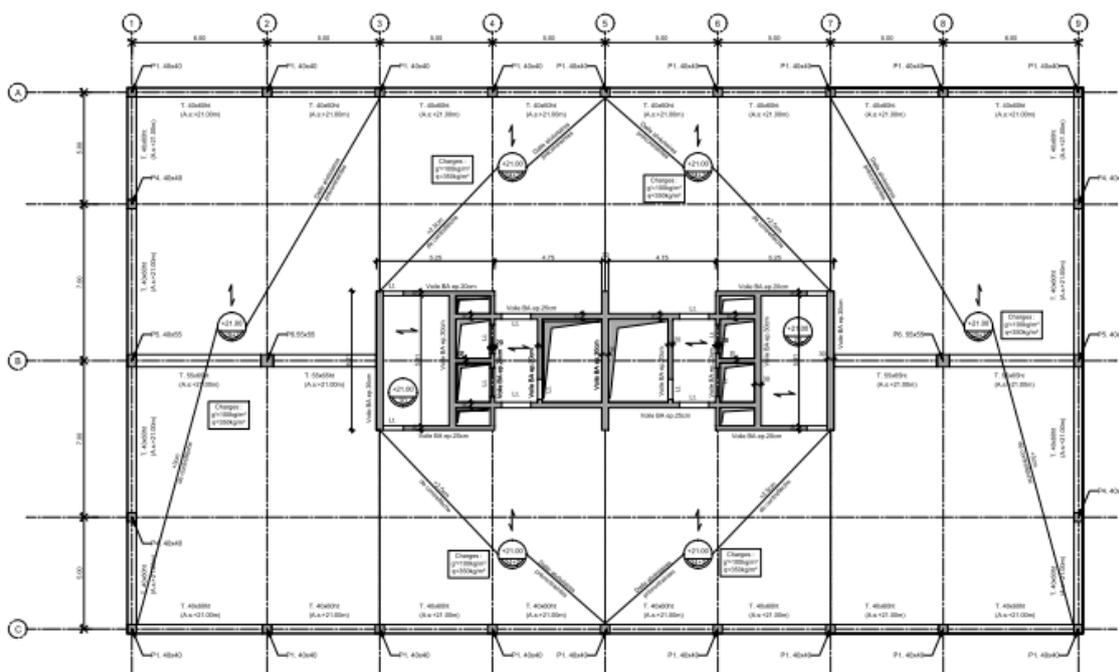


Figure 9 – Vue en plan d'un étage courant

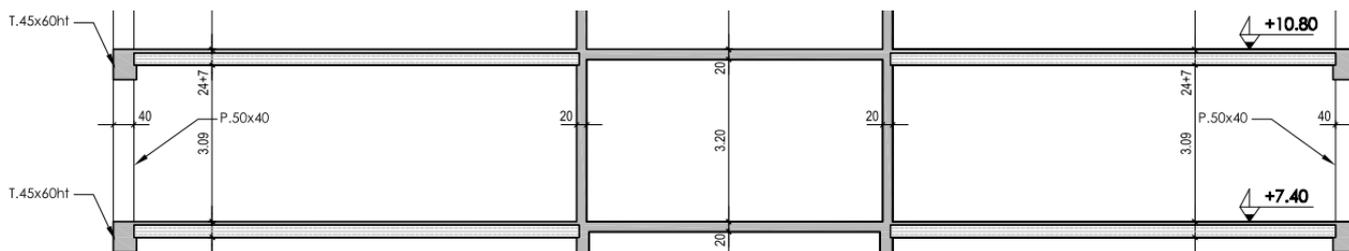


Figure 10 – Schéma en coupe d'un étage courant du bâtiment béton

### ► Types de béton utilisés

Les types de béton utilisés sont présentés ci-dessous.

Tableau 13 – Types de béton utilisés

Partie du bâtiment	Élément	Type de béton
Superstructure (y compris noyau)	Voiles	C <sub>30/37</sub> – CEM I
	Poteaux	C <sub>30/37</sub> – CEM I
	Poutres	C <sub>30/37</sub> – CEM I
	Planchers	C <sub>30/37</sub> – CEM II/A - V

### 3.1.4 Hypothèses et données spécifiques à la structure mixte optimisée

#### ► Description de la structure

Le bâtiment mixte optimisé présente une superstructure et un noyau en acier. Par rapport à la structure mixte, la structure mixte optimisée présente une superstructure allégée et un noyau en acier à la place d'un noyau en béton. Les figures ci-dessous présentent la structure du bâtiment mixte.

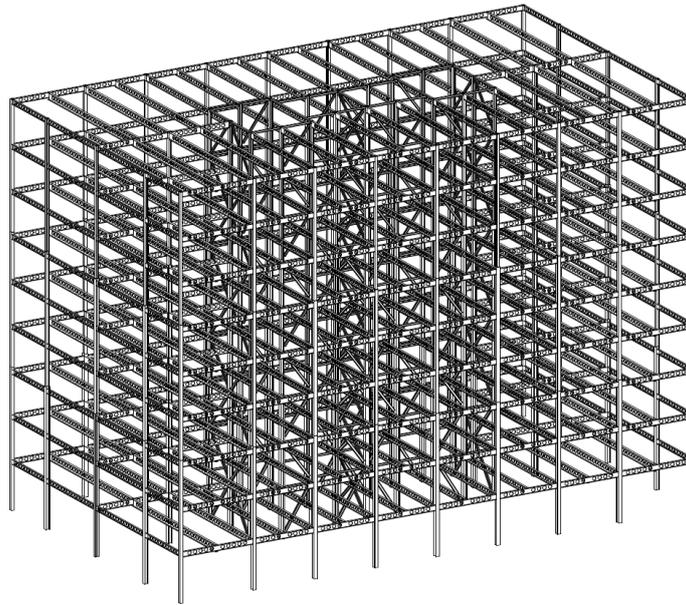


Figure 11 – Vue en 3D de la structure

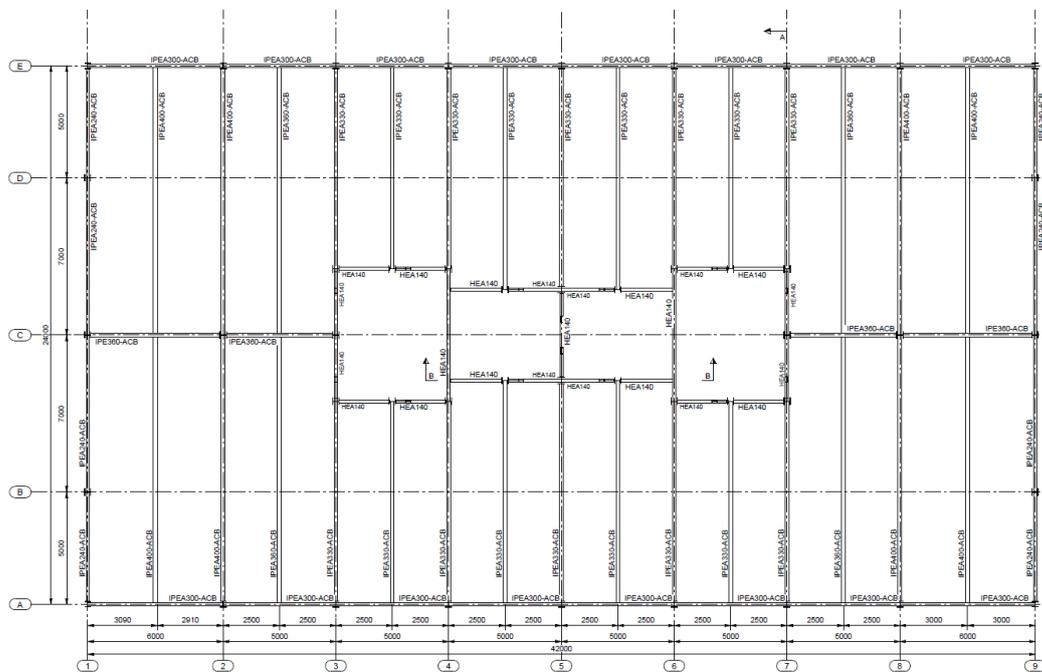


Figure 12 – Vue en plan d'un étage courant

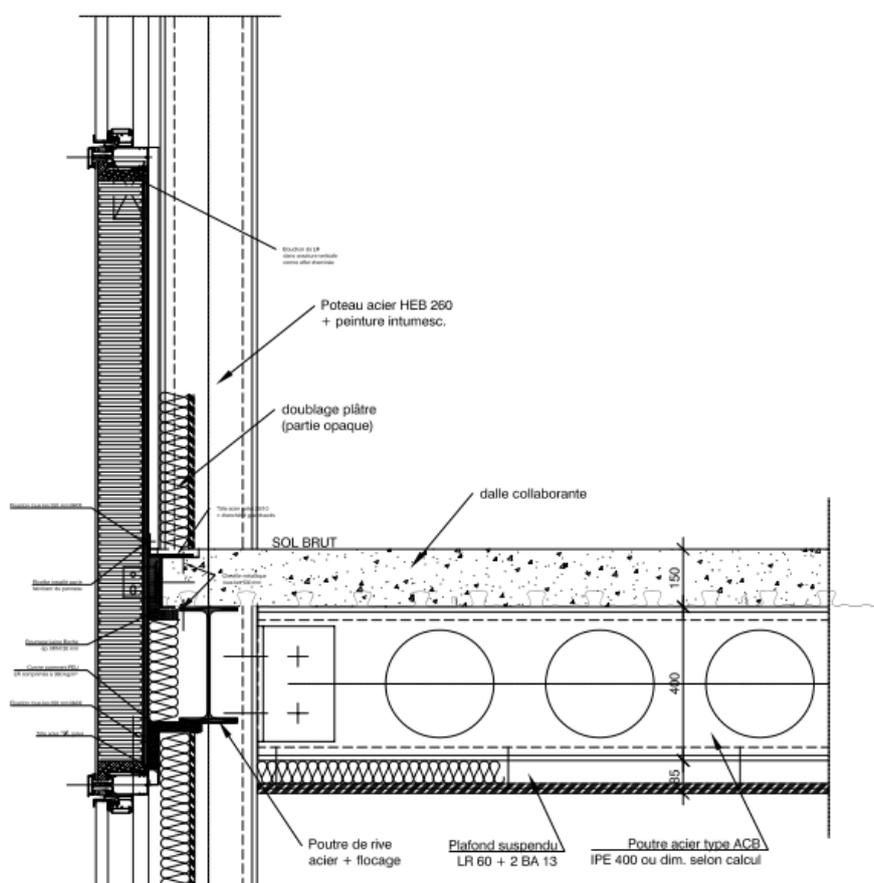


Figure 13 – Schéma en coupe des planchers du bâtiment mixte optimisé

### ► Types d'acier et de béton utilisés

Les types d'acier et de béton utilisés sont présentés ci-dessous.

Tableau 14 – Types d'acier utilisés pour la structure mixte acier/béton optimisée

Partie du bâtiment	Élément	Type d'acier
Structure porteuse	Poteaux	S460M
	Poutres	S460M
	Solives	S460M
Ossature noyau de stabilité	Poteaux	S460M
	Poutres	S460M
	Diagonales	S235JO
Superstructure (noyau)	Planchers collaborant (partie acier)	Cofraplus 60 <sup>17</sup>

<sup>17</sup> Cofraplus 60 ne fait pas référence à un type d'acier mais à un produit en acier. Pour plus d'informations, voir : [http://www.arcelormittal-construction.ch/fr/html\\_includes/download/cofraplus\\_60.pdf](http://www.arcelormittal-construction.ch/fr/html_includes/download/cofraplus_60.pdf).

Tableau 15 – Types de béton utilisés pour la structure mixte acier/béton optimisée

Partie du bâtiment	Élément	Type de béton
Superstructure (noyau)	Planchers collaborant (partie béton)	C <sub>30/37</sub> – CEM II/A - V
	Escaliers	C <sub>30/37</sub> – CEM I

### 3.1.5 Détail des produits et matériaux de construction par bâtiment

Les métrés relatifs aux différents bâtiments sont présentés en annexe 4(6.4).

## 3.2 Hypothèses et données relatives aux aspects thermiques

Ce chapitre présente les principales hypothèses et données de l'étude thermique réalisée par Tribu Energie. Le rapport complet de cette partie de l'étude est disponible sur demande auprès d'ArcelorMittal.

### 3.2.1 Hypothèses et données utilisées pour les calculs thermiques

#### ► Zones climatiques

La France est découpée en 8 zones climatiques comme mentionné dans la Figure 14 ci-dessous. Dans une optique de simplification, seules les zones H1a et H3 ont été étudiées dans cette étude.



Figure 14 – Les différentes zones climatiques en France

Dans le cadre du calcul réglementaire de la RT 2012, les niveaux de consommation d'énergie primaire maximaux sont définis en fonction de ces différentes zones. Dans le cadre de la présente étude, les valeurs de consommations d'énergie primaire maximales à respecter sont donc :

- pour la zone H1a : 108,80 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup> SHONRT/an,
- pour la zone H3 : 129,20 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup> SHONRT/an.

#### ► Equipement de chauffage/refroidissement

Pour les différents bâtiments étudiés, l'équipement utilisé pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et le refroidissement (climatisation) est une Pompe A Chaleur (PAC) réversible. Le détail des équipements utilisés pour les autres postes de la RT 2012 est disponible dans le rapport complet de l'étude thermique.

## ► Enveloppes et prestations d'isolation thermique

L'enveloppe et les prestations d'isolation thermique sont considérées identiques pour tous les bâtiments étudiés. Cette démarche permet de s'affranchir des variations sur ces éléments lors de la comparaison des résultats entre les différentes alternatives et donc de mettre en relief les différences liées à chaque structure.

### ■ Enveloppe

Les principales caractéristiques thermiques de l'enveloppe sont données ci-dessous.

Tableau 16 – Caractéristiques thermiques de l'enveloppe<sup>18</sup>

Élément	Caractéristiques
Façade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Partie vitrée : <math>U_g \leq 1,1 \text{ W/m}^2.\text{K}</math> ; Partie sans protection : <math>S_w : 0,33</math> ; <math>T_l : 0,34</math> Partie avec protection<sup>19</sup> : <math>S_w : 0,22</math> ; <math>T_l : 0,14</math></li> <li>- Partie opaque : Polystyrène extrudé ; <math>R \geq 1,7 \text{ m}^2.\text{K/W}</math> ; Epaisseur : 5 cm ; <math>\lambda = 0,029 \text{ W/(m.K)}</math></li> </ul>
Mur intérieur sur locaux non chauffés	$U_p \leq 0,292 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ; Laine de verre ; $R \geq 3,2 \text{ m}^2.\text{K/W}$ ; Epaisseur : 10 cm + 1cm (BA) ; $\lambda = 0,034 \text{ W/(m.K)}$
Planchers haut	$U_p = 0,19 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ; Polystyrène expansé ; $R \geq 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$ ; Epaisseur : 18cm ; $\lambda = 0,036 \text{ W/(m.K)}$
Planchers bas sur parking	$U_e = 0,171 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ; $U_p = 0,276 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ; Polystyrène expansé ; $R \geq 3,3 \text{ m}^2.\text{K/W}$ ; Epaisseur : 12,5cm ; $\lambda = 0,038 \text{ W/(m.K)}$
Porte d'entrée	$U_d < 5 \text{ W/m}^2.\text{K}$

### ■ Faux plafonds

Les bâtiments ont été conçus de manière à disposer d'une inertie lourde. Pour cela, des dispositions particulières ont été prises au niveau des faux plafonds installés.

En effet, en prenant en compte la composition des planchers, les sous faces planchers sont considérées à inertie lourde si elles n'ont pas de faux plafond, ou qu'une lame d'air moyennement ventilé est créée à hauteur de 80% en surface du plafond.

Ainsi, les hypothèses prises sont les suivantes :

- Le traitement acoustique est effectué grâce à des dalles suspendues au plafond (type ecophon ou équivalent) pour 80% de la surface des bureaux et des salles de réunion (soit une surface de 4189m<sup>2</sup> sur l'ensemble du bâtiment).
- Des faux plafonds sont installés dans les circulations et sanitaires à hauteur de 116m<sup>2</sup> au rez de chaussée et de 175m<sup>2</sup> pour les étages (soit 1516m<sup>2</sup> sur l'ensemble du bâtiment).

<sup>18</sup> Les murs donnant sur les escaliers et les ascenseurs sont considérés identiques aux murs donnant sur un local non chauffé ( $U_p = 0,34 \text{ W/m}^2.\text{K}$ )

<sup>19</sup> La protection solaire est assurée par des screens en position intérieur (type Dickson Sunworker M710).

### ► Classe d'inertie quotidienne

Au sens réglementaire, la classe d'inertie quotidienne d'un niveau de bâtiment est déterminée directement à partir du tableau suivant :

Tableau 17 – Classe d'inertie (extrait des règles Th-I)

Plancher bas	Plancher haut	Paroi verticale	Classe d'inertie
Lourd	Lourd	Lourd	Très lourde
-	Lourd	Lourd	Lourde
Lourd	-	Lourd	Lourde
<b>Lourd</b>	<b>Lourd</b>	-	<b>Lourde</b>
-	-	Lourd	Moyenne
-	Lourd	-	Moyenne
Lourd	-	-	Moyenne
-	-	-	Très légère

- Plancher bas (avec isolant en sous face avec un « revêtement sans effet thermique ») : Dans les conditions considérées (voir rapport thermique), le plancher bas est classé comme une paroi lourde dans les différentes alternatives.
- Plancher intermédiaire (face supérieure avec un « revêtement sans effet thermique ») : Dans les conditions considérées (voir rapport thermique), la face supérieure du plancher intermédiaire est classée comme une paroi lourde dans les différentes alternatives.
- Plancher intermédiaire (face intérieure sans faux plafond) : Dans les conditions considérées (voir rapport thermique), ce plancher est considéré comme lourd dans les différentes alternatives.
- Plancher sous toiture : Le plancher haut est classé comme une paroi lourde dans les différentes alternatives.
- Paroi verticale : Une façade rideau n'est pas classée comme une paroi verticale lourde.

En conclusion, comme indiqué dans le Tableau 17, dans les conditions considérées, les différentes alternatives de bâtiments possèdent une classe d'inertie quotidienne lourde.

### ► Eau chaude sanitaire

Le système considéré pour la production d'eau chaude sanitaire est un système de type « Eau chaude individuelle électrique ». Au total, 18 ballons sont implantés dans le bâtiment avec un volume unitaire de 50 L. Le coefficient de pertes thermique de ces équipements est de 1 W/K.

## ► Eclairage

Les caractéristiques considérées dans l'étude thermique pour l'éclairage sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Zone	Caractéristiques
Bureaux	Puissance : 7 W/m <sup>2</sup> Commande : Marche manuelle / Arrêt automatique Gestion : Gradation automatique assurant éclairage constant
Salle de réunion	Puissance : 7 W/m <sup>2</sup> Commande : Marche manuelle / Arrêt automatique Gestion : Impossible suivant la lumière du jour
Hall	Puissance : 10 W/m <sup>2</sup> Commande : Marche manuelle / Arrêt automatique Gestion : Gradation automatique assurant éclairage constant
Sanitaire	Puissance : 10 W/m <sup>2</sup> Commande : Marche manuelle / Arrêt automatique Gestion : Impossible suivant la lumière du jour
Circulation	Puissance : 8 W/m <sup>2</sup> Commande : Marche manuelle / Arrêt automatique Gestion : Impossible suivant la lumière du jour

### 3.2.2 Détail des consommations d'énergie par bâtiment

Les résultats des calculs thermiques effectués par Tribu Energie sont présentés dans le Tableau 18 ci-dessous.

Les consommations d'énergie issues des calculs thermiques sont de manière conventionnelle exprimées en Energie Primaire (EP). Pour convertir l'énergie primaire en énergie réelle disponible dans le bâtiment appelée par la suite « Energie Finale (EF) », il convient d'utiliser le facteur de 2,58 fourni par la RT 2012.

Les calculs environnementaux sont ensuite basés sur les consommations d'énergie finale.

Tableau 18 – Résultats des calculs thermiques pour les différents cas de figure

Cas de figure	Cep (kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an)	Cep (kWh <sub>EF</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an)
Mixte H1a	103,6	40,2
Mixte H3	111,7	43,3
Béton H1a	103,6	40,2
Béton H3	111,7	43,3
Mixte optimisé H1a	103,6	40,2
Mixte optimisé H3	111,7	43,3

Les graphiques (Figure 15 et Figure 16) ci-dessous présentent la répartition de la consommation d'énergie en fonction des différents postes de la RT 2012 selon les deux zones climatiques étudiées.

Les principales différences entre les deux zones climatiques se trouvent au niveau des postes de chauffage et de refroidissement. Le chauffage est plus important dans la zone H1a alors que pour la zone H3, c'est la climatisation qui est prépondérante.

### Répartition de la consommation d'énergie primaire liée à la RT

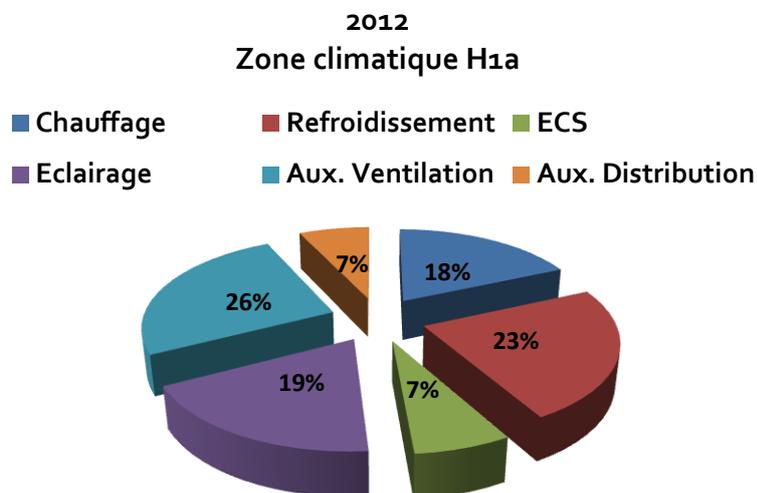


Figure 15 – Répartition des consommations d'énergie primaire liées à la RT 2012 pour les bâtiments en zone climatique H1a

### Répartition de la consommation d'énergie primaire liée à la RT 2012 Zone climatique H3

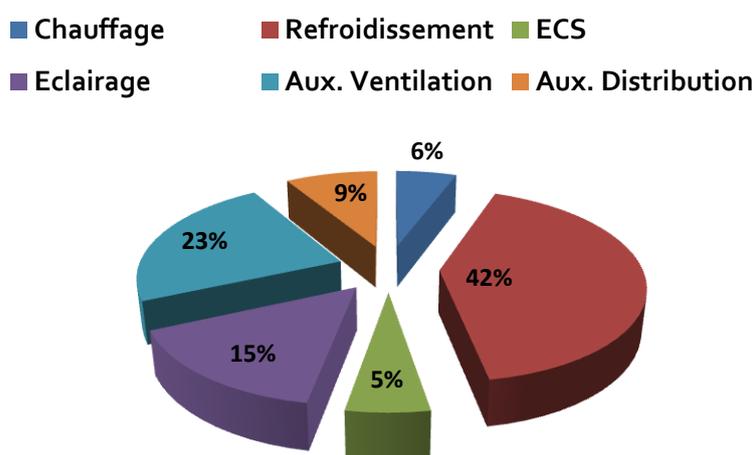


Figure 16 – Répartition des consommations d'énergie primaire liées à la RT 2012 pour les bâtiments en zone climatique H3

## 3.3 Hypothèses et données complémentaires pour l'évaluation de la qualité environnementale

Ce chapitre présente les principales hypothèses et données utilisées pour la prise en compte des processus et contributeurs présentés dans le Tableau 4 et le Tableau 5.

### 3.3.1 Hypothèses et données pour le contributeur « Consommation de produits et matériaux de construction »

Ce contributeur prend en compte les données présentes dans les FDES des produits et matériaux constituant les bâtiments étudiés. La liste des FDES utilisées dans cette étude ainsi que des informations sur les principales hypothèses de ces données sont indiquées en annexes 1 et 2 (voir 6.1 et 6.2).

De plus, ce contributeur prend en compte le nombre de remplacement des produits et matériaux de construction utilisés. Dans le cadre de cette étude, la Durée de Vie Estimée (DVE) des produits de construction est considérée égale à la Durée de Vie Typique (DVT) mentionnée dans les FDES des produits.

Pour les produits et matériaux de construction rencontrés dans cette étude, il n'y a aucun cas où  $DVE > DVP$ . Dans certains cas, et en particulier pour les matériaux de structure, on a  $DVP = DVE$ . Enfin, le dernier cas de figure rencontré est celui où  $DVE < DVP$ . Dans ce cas, le nombre total de produit à considérer sur le cycle de vie du bâtiment est donné par la formule suivante :

$$\text{Nombre total de produit} = \text{ENT} (DVP/DVE) + 1$$

Avec :  $\text{ENT} (DVP/DVE)$  = Formule qui arrondi à l'entier inférieur le rapport  $DVP/DVE$

Le nombre total de produits pour tous les produits et matériaux de construction considérés dans l'étude sont indiqués en annexe 1.

### 3.3.2 Hypothèses et données pour le contributeur « Chantier de construction » (hors contribution des produits)

Pour ces contributeurs, très peu de données sont disponibles comme en atteste les conclusions de la première version du test HQE Performance<sup>20</sup>. En conséquence, dans cette étude, seuls les éléments suivants sont pris en compte :

- la consommation de carburant nécessaire à l'excavation de la terre (terrassement),
- le transport et la fin de vie de la terre non remblayée.

---

<sup>20</sup> Evaluation de la performance environnementale des bâtiments. Définition d'ordres de grandeur. Traitement statistique. Rapport Final, Décembre 2011. Université Paris-Est, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (Département Energie, Santé, Environnement).

Les données brutes relatives au chantier de construction des bâtiments étudiés sont :

- Volume de terre à excaver : 14 950 m<sup>3</sup> (dont 6 650 m<sup>3</sup> remblayés sur site et 8 300 m<sup>3</sup> évacués)
- Volume total de terre à déplacer : 21 600 m<sup>3</sup> (2 x 6 650 m<sup>3</sup> + 8 300 m<sup>3</sup>)
- Volume total de terre à évacuer : 8 300 m<sup>3</sup>

Tous les volumes sont estimés en place.

Selon les données recommandées pour le test HQE Performance 2012, les valeurs à prendre en compte pour évaluer les impacts environnementaux associés à ces éléments sont :

- 1 L de carburant consommé par m<sup>3</sup> de terre déplacé (densité de la terre = 1,45 t/m<sup>3</sup>),
- 30 km pour le transport de la terre du chantier jusqu'à la décharge (pour matériaux inertes, classe III).

Le volume total de terre déplacée de 21 600 m<sup>3</sup> mène à une consommation de carburant de 21 600 L. De plus, 8 300 m<sup>3</sup> de terre doivent être transportés sur 30 km.

Les données environnementales associées à ces éléments sont :

- Pour la production et la combustion du carburant (pour l'excavation de la terre et le transport de cette dernière jusqu'en décharge de classe III):
  - Production : ICV ecoinvent v2.2 : Diesel, at regional storage/RER
  - Combustion:
    - Pour le transport : ICV ecoinvent v2.2: A partir de l'ICV « Operation, lorry>32 t, EURO4/RER »
    - Pour l'excavation : ICV ecoinvent v2.2 : A partir de l'ICV « Diesel, burned in building machine/GLO »
- Pour le transport de la terre : La consommation de carburant est calculée selon la norme NF P 01-010 (fascicule FD P 01-015) avec les données du tableau suivant et l'hypothèse que les camions font des rotations, ce qui implique un taux de retour à vide de 100%.

**Tableau 19 – Données utilisées pour calculer la consommation de carburant des camions transportant la terre excavée**

Donnée	Valeur
Charge utile du camion	24 t
Taux de chargement moyen	100 %
Consommation de diesel du camion plein	38 l / 100 km
Consommation de diesel du camion vide	25,3 l / 100 km
Taux de retour à vide	100 %

- Pour la fin de vie de la terre : ICV ecoinvent v2.2 « Disposal, inert waste, 5% water, to sanitary landfill/CH »

En ce qui concerne le transport du personnel de chantier, il est à noter que ce contributeur est rarement pris en compte en raison du manque de données disponibles. Afin d'étudier son importance dans le cadre de cette étude, une analyse de sensibilité a été réalisée et est présentée en annexe 6 (6.6). Cette analyse ne porte que sur le déplacement du personnel dédié à la construction des éléments différenciant entre les bâtiments, à savoir la superstructure et le noyau. Ceci permet d'évaluer si ces différences en termes de déplacement peuvent avoir une influence sur les résultats obtenus en termes de comparaison des structures. Les résultats de cette analyse montrent que le transport du personnel de chantier contribue au maximum à 5 % de l'impact de la superstructure et du noyau. Compte tenu de cela, ce transport n'a pas été pris en compte dans l'étude. Toutefois, les résultats de cette analyse portant uniquement sur le transport du personnel dédié à la construction de la superstructure et du noyau ne peuvent être extrapolés à l'ensemble du chantier.

Enfin, les engins utilisés pour réaliser ces opérations (excavateur, camion,...) sont négligés. En effet, les bâtiments considérés dans cette étude sont des bâtiments de type courant qui ne nécessitent pas d'engins spécifiquement conçus pour ces chantiers. De plus, compte tenu du fait que la durée des chantiers est courte par rapport à la durée de vie des engins, on peut supposer que l'impact lié à l'amortissement des engins utilisés est faible.

### **3.3.3 Hypothèses et données pour le contributeur « Chantier de déconstruction » (hors contribution des produits)**

Pour ce contributeur, très peu de données sont disponibles comme en atteste les conclusions de la première version du test HOE Performance.

En conséquence, l'étape de déconstruction (en dehors des impacts relatifs à la fin de vie des produits et matériaux de construction pris en compte dans les FDES) n'est pas modélisée dans cette étude.

### **3.3.4 Hypothèses et données pour le contributeur « Consommations d'énergie liées à l'éclairage, au chauffage, à la production d'eau chaude sanitaire, à la ventilation, au refroidissement et aux auxiliaires associés »**

Les données utilisées pour ce contributeur sont celles calculées par Tribu Energie dans le cadre du calcul thermique (Tableau 18). Ces données ont été utilisées dans le calcul environnemental sur la base des hypothèses suivantes :

- Aucun système de production d'énergie n'est associé au bâtiment.
- La source d'énergie est exclusivement l'électricité du réseau.
- Le bâtiment consomme de l'électricité moyenne tension.
- Les impacts environnementaux du mix électrique français ont été calculés par BIO IS selon la méthodologie présentée en annexe 3 (6.3).

### 3.3.5 Hypothèses et données pour le contributeur « Autres consommations d'énergie liées au bâti »

De nombreux éléments peuvent être pris en compte pour ce contributeur comme par exemple les consommations d'énergies liées aux moyens de transport interne au bâtiment (ascenseurs, monte-charges, escaliers mécaniques,...), celles liées à l'éclairage hors RT 2012 (parking, extérieur, sécurité,...),...

Compte-tenu du peu de données à disposition pour prendre en compte ces éléments, seules les consommations d'énergies associées aux ascenseurs et à l'éclairage des parkings ont été prises en compte. En effet, un document de l'ADEME<sup>21</sup> montre que ces deux postes sont les plus consommateurs d'énergie (hors postes pris en compte dans la RT). Et même si les valeurs présentées dans ce document concernent les parties communes de résidences (immeubles collectifs), il a été considéré que les ordres de grandeur et surtout le positionnement des différents postes pouvaient être transposés au cas des bâtiments tertiaires de cette étude.

#### ► Consommation d'énergie pour l'éclairage du parking

Très peu de données sont disponibles pour quantifier la consommation d'énergie pour l'éclairage des parkings dans des bâtiments de bureaux. Par conséquent, les données spécifiques de l'hôtel du Département du Bas-Rhin<sup>22</sup> ont été utilisées pour quantifier ce poste. Ces données indiquent une consommation d'énergie de 87800 kWh/an pour un parking de 11886 m<sup>2</sup>. Le calcul présenté ci-dessous a donc été réalisé pour intégrer cette donnée dans l'étude.

#### Calcul de la consommation d'énergie pour l'éclairage du parking

Formule :

(Consommation d'énergie étude source / Surface parking étude source) \* (Surface d'un niveau de parking présente étude \* Nombre de niveaux de parking présente étude)

$$\text{Soit } 87800/11886 * (958*2) = \mathbf{14153 \text{ kWh/an (EF)}}$$

#### ► Consommation d'énergie pour les ascenseurs

Les bâtiments étudiés possèdent quatre ascenseurs. La consommation d'énergie annuelle d'un ascenseur est estimée à 1170 kWh (en EF)<sup>23</sup>. Le calcul présenté dans l'encadré ci-dessous a donc été réalisé pour intégrer cette valeur dans l'étude.

<sup>21</sup> Réduction des consommations électriques des parties communes d'immeubles collectifs et de bâtiments tertiaires, ADEME, Avril 2003.

<sup>22</sup> Enertech, Diagnostic énergétique de l'hôtel du Bas-Rhin, Octobre 2005, Conseil général du Bas-Rhin, ADEME.

<sup>23</sup> Valeur issue d'une Analyse de Cycle de Vie réalisée par KONE, Solutions KONE Eco-efficient, Ascenseur KONE MonoSpace®, 2010, [http://www.kone.com/countries/fr\\_FR/KONE2/Eco-efficient/Documents/KONE%20-%20Ascenseur%20KONE%20Monospace%20-%20C3%A9co-efficient.pdf](http://www.kone.com/countries/fr_FR/KONE2/Eco-efficient/Documents/KONE%20-%20Ascenseur%20KONE%20Monospace%20-%20C3%A9co-efficient.pdf).

### Calcul de la consommation d'énergie par les ascenseurs

Formule :

Consommation d'énergie par 1 ascenseur \* nombre d'ascenseurs / Surface utile

Soit  $1170 * 4 / 8712 = 0,54 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$  (EF)

### 3.3.6 Hypothèses et données pour le contributeur « Consommations d'énergie liées à l'activité (restauration, équipements bureautiques, laverie, etc.) »

Compte-tenu de l'activité tertiaire des bâtiments étudiés, il a été considéré que la consommation d'énergie liée à l'activité est entièrement due aux équipements de bureautique. Les valeurs de consommations d'énergies associées à la bureautique sont très variables et dépendent de critères qui sont difficilement identifiables lorsque les bâtiments ne sont pas réellement en activité (comportement des utilisateurs, typologie des utilisateurs, typologie du parc informatique,...).

Dans cette étude, la consommation d'énergie associée à l'ensemble de la bureautique est évaluée à  $30 \text{ kWh/m}^2.\text{an}^{24}$  (EF).

Par ailleurs, le service de restauration collective n'a pas été pris en compte dans cette étude car ce service n'est pas prévu dans les bâtiments étudiés.

### 3.3.7 Hypothèses et données pour le contributeur « Consommation d'eau »

La consommation d'eau en phase opérationnelle pour les bâtiments tertiaires étudiés est issue de l'outil de calcul HOE de Certivéa. Les paramètres utilisés pour calculer la consommation d'eau sont présentés dans le tableau ci-dessous. En complément, il faut noter que bâtiment considéré ne possède pas de cantine.

Tableau 20 – Données utilisées pour le calcul des consommations d'eau

Paramètre	Valeur
Nombre d'occupants permanents	566
% hommes	60
Nombre de visiteurs par jour (moyenne)	100
Durée moyenne de présence des visiteurs (jours)	0,5
Chasse d'eau	3L / 6L
Robinet	3L/min
Urinoir	0,25 L/s pendant 7 secondes

<sup>24</sup> Livre blanc, GIE Energie positive, Octobre 2009, p.17.

En utilisant les données présentées ci-dessus, la consommation d'eau des bâtiments est évaluée à 11,5 L/agent. L'utilisation de cette donnée dans le cadre de la présente étude est détaillée dans l'encadré ci-dessous.

#### Calcul du volume d'eau consommé

Formule :

Volume consommé sur la durée de vie du bâtiment = Volume consommée par agent et par jour \* nombre d'agent \* nombre de jours travaillés par année<sup>25</sup> \* nombre d'années sur la durée de vie du bâtiment

Soit  $11,5 * 566 * 212 * 100 = 137990800$  L ou **1379,9 m<sup>3</sup>/an**

Les impacts environnementaux associés à la consommation d'eau ont été modélisés avec l'ICV de la base de données ecoinvent v2.2 « Tap water, at user/RER ».

### 3.3.8 Hypothèses et données pour le contributeur « Consommations de matière liées à l'activité »

Compte tenu de l'activité tertiaire des bâtiments, ce contributeur est considéré comme étant uniquement lié à une consommation de papier. Cette consommation est évaluée à 75 kg de papier/agent.an<sup>26</sup>. Malgré son caractère approximatif, cette donnée est considérée comme une valeur de référence pour l'évaluation de ce contributeur. L'utilisation de cette donnée dans le cadre de la présente étude est détaillée dans l'encadré ci-dessous.

#### Calcul de la masse de papier consommée et traitée en fin de vie

Formule :

Masse de papier = masse consommée par agent et par an\*nombre d'agent\*nombre d'années sur la durée de vie du bâtiment

Soit  $75*566*100 = 4245000$  kg ou **4245 t ou 42,45 t/an**

Les impacts environnementaux de la consommation de papier ont été modélisés avec l'ICV de la base de données ecoinvent v2.2 « Paper, woodfree, uncoated, at regional storage/RER ».

<sup>25</sup> INSEE, [http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg\\_id=0&ref\\_id=NATnono3259](http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATnono3259).

<sup>26</sup> HQE Performance, Règles d'applications pour l'évaluation environnementale des bâtiments, version du 14/06/2012 pour le test HQE Performance 2012, Groupe de travail Indicateurs Environnementaux du projet HQE Performance, Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement, Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, ADEME, CSTB.

### 3.3.9 Hypothèses et données pour le contributeur « Production et gestion des déchets d'activité »

Les déchets (y compris rejets liquides) liés à l'activité du bâtiment sont pris en compte sur la base des consommations associées à cette activité. Par conséquent, on considère que les déchets du bâtiment sont l'eau et le papier consommés.

- Pour l'eau : Volume d'eau = 137990800 L ou 137991 m<sup>3</sup> ou 1379,9 m<sup>3</sup>/an ;  
A titre d'information, le volume d'eau de pluie ruisselant sur la toiture et pour lequel aucun impact n'est considéré dans cette étude est de 1092,4 m<sup>3</sup>/an<sup>27</sup>.
- Pour le papier : Masse de papier = 4245000 kg ou 4245 t ou 42,45 t/an.

Les impacts environnementaux du traitement de ces déchets sont évalués sur la base des ICV de la base de données ecoinvent v2.2 suivants :

- Pour l'eau : Traitement de l'eau : Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3/CH
- Pour le papier : Enfouissement : Disposal, paper, 11,2% water, to sanitary landfill/CH

Le scénario de fin de vie retenu pour les déchets de papier est le même que celui du test HQE Performance à savoir un enfouissement dans un centre de stockage de déchets non dangereux (aucun recyclage n'est considéré).

### 3.3.10 Hypothèses et données pour le contributeur « Transport des usagers »

Les données utilisées pour ce contributeur sont issues de documents de l'INSEE. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

---

<sup>27</sup> Précipitations annuelles en France de 867 mm (<http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/AG.LND.PRCP.MM>) et surface « supérieure » du bâtiment de 1260 m<sup>2</sup>.

Tableau 21 – Données sources utilisées pour le transport des usagers

Paramètre	Valeur	Source
<b>Répartition par type de transport</b>		
Transports en commun	17,0 %	INSEE <sup>28</sup>
Auto ou moto	71,7 %	INSEE <sup>28</sup>
Modes actifs (marche et vélo)	11,3 %	INSEE <sup>28</sup>
<b>Distance moyenne parcourue par personne par jour ouvré</b>		
Distance moyenne	19,1 km	INSEE <sup>28</sup>
<b>Part des kilomètres parcourus par type de transport</b>		
Transports en commun	23,0 %	INSEE <sup>29</sup>
Voiture	75,0 %	INSEE <sup>29</sup>
Autres	2,0 %	INSEE <sup>29</sup>

A partir de ces données, et en considérant l'effectif des bâtiments considérés (566 personnes), les données finales utilisées dans l'étude ont été calculées. Ces données sont présentées ci-dessous.

Tableau 22 – Données finales utilisées pour le transport des usagers

Type de transport	Valeur en personne.km pour toute la durée de vie du bâtiment
Vélo/marche	518 297
Auto/Moto	123 298 140
Transport en commun	8 940 633

Pour le transport de type « Vélo/marche », aucun impact environnemental n'a été considéré. Pour les autres modes de transport, les impacts environnementaux du transport des usagers sont évalués sur la base des inventaires de cycle de vie de la base de données ecoinvent v2.2 suivants :

- Auto/Moto : Transport, passenger car, petrol, fleet average 2010/RER
- Transport en commun : Transport, metropolitan train, SBB mix/CH

<sup>28</sup> Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques,  
[http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg\\_id=5&ref\\_id=17403](http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=5&ref_id=17403)

<sup>29</sup> [http://www.insee.fr/fr/insee\\_regions/picardie/themes/dossier/Developpement\\_durable/img/AXE%201-10.pdf](http://www.insee.fr/fr/insee_regions/picardie/themes/dossier/Developpement_durable/img/AXE%201-10.pdf)

### 3.3.11 Bilan des consommations d'énergie des bâtiments

Le tableau ci-dessous présente le bilan des hypothèses et données relatives à la consommation d'énergie pour les « processus liés aux flux de fonctionnement du bâtiment » et les « processus liés à l'activité dont le bâtiment est le support » dans chacun des cas de figures rencontrés dans l'étude.

Tableau 23 – Détail de l'énergie consommée en phase opérationnelle pour les différents cas de figure sur la durée de vie du bâtiment (100 ans)

Type d'énergie consommée	Mixte H1a	Mixte H3	Béton H1a	Béton H3	Mixte optimisé H1a	Mixte optimisé H3
<b>Consommations d'énergies liées à la RT 2012</b>						
Consommation électrique en EF (kWh/m <sup>2</sup> SHONRT.an)*	40,2	43,3	40,2	43,3	40,2	43,3
Consommation électrique en EF (kWh/m <sup>2</sup> SURT.an)*	44,2	47,6	44,2	47,6	44,2	47,6
Consommation électrique en EF (MWh)	38 524	41 494	38 524	41 494	38 524	41 494
<b>Autres consommations d'énergie liées au bâti</b>						
Consommation électrique en EF (kWh/m <sup>2</sup> SURT.an)**	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
Consommation électrique en EF (MWh)**	1883	1883	1883	1883	1883	1883
<b>Consommations d'énergie liées à l'activité</b>						
Consommation électrique en EF (kWh/m <sup>2</sup> SURT.an)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Consommation électrique en EF (MWh)	26 136	26 136	26 136	26 136	26 136	26 136
<b>Total de l'énergie consommée en phase opérationnelle</b>						
Consommation électrique en EF (kWh/m <sup>2</sup> SURT.an)	76,4	79,8	76,4	79,8	76,4	79,8
Consommation électrique en EF (MWh)	64 661	67 632	64 661	67 632	64 661	67 632

\* SURT (Surface Utile RT) = SHONRT (Surface Hors Œuvre Nette RT) / 1,1

\*\*Pour l'éclairage du parking, la consommation d'énergie annuelle en kWh/an est convertie en consommation d'énergie par m<sup>2</sup> de surface utile du bâtiment (14153/8712)

## 3.4 Evaluation de la disponibilité et de la qualité des données

### 3.4.1 Evaluation de la qualité des données

Les deux tableaux pages suivantes présentent les principales données utilisées dans cette étude, leurs sources et des éléments d'informations permettant d'apprécier leur qualité au regard des exigences fixées au paragraphe 2.4. Pour les données environnementales, des informations complémentaires sont fournies en annexes 1 et 2 (6.1 et 6.2).

Tableau 24 – Evaluation de la qualité des données brutes utilisées dans cette étude

	Processus liés à la mise à disposition du bâti			Processus liés aux flux de fonctionnement du bâtiment		Processus liés à l'activité dont le bâtiment est le support			Processus liés aux déplacements des usagers
	Gros œuvre	Second œuvre	Consommation de carburant des engins de chantier	Energie RT	Energie autre (parking, ascenseurs)	Energie activité (bureautique)	Eau	Papier	Déchets
Source	Métrés – BE structure	Métrés – BE structure	Test HQE Performance	Calcul RT – BE thermique	Bibliographie	Bibliographie	Eau : Certivea Papier et déchets : Test HQE Performance		INSEE
Type de donnée	Spécifique	Spécifique	Générique	Spécifique	Générique	Générique	Générique		Générique
Représentativité temporelle	2012	2012	2011	2012	2005 – 2010	2009	2011		2007
Représentativité géographique	France	France	France	France (H1a et H3)	France	France	France		France
Principales limites	-	-	Donnée générique représentative de différents types de chantiers (habitat, tertiaire...)	-	-	Données génériques à l'ensemble des bâtiments ayant une activité tertiaire			-

Tableau 25 – Evaluation de la qualité des données environnementales utilisées dans cette étude

	Processus liés à la mise à disposition du bâti			Processus liés aux flux de fonctionnement du bâtiment		Processus liés à l'activité dont le bâtiment est le support			Processus liés aux déplacements des usagers	
	Gros œuvre	Second œuvre	Consommation de carburant des engins de chantier	Energie RT	Energie autre (parking, ascenseurs)	Energie activité (bureautique)	Eau	Papier	Déchets	Transport des usagers
Source	WSA BETie <sup>30</sup> FDES	FDES	ecoinvent	ecoinvent		ecoinvent	ecoinvent	ecoinvent	ecoinvent	ecoinvent
Représentativité temporelle	2011 (WSA – BETie) 2004 – 2012 (FDES)	2004 - 2012	2000	1992 - 2004		2000	2000	2000	2000	2004
Représentativité technologique	Moyenne de technologies	Moyenne de technologies ou technologies spécifiques à un industriel	Moyenne de technologies	Moyenne de technologies		Moyenne de techno.	Moyenne de techno.	Moyenne de techno.	Moyenne de techno.	Moyenne de techno.
Représentativité géographique	Monde/Europe (WSA) France (BETie) France (FDES)	France	Europe	France Europe (Hydroélectricité) Suisse (Thermique renouvelable)		Europe	Europe	Suisse	Suisse (Transport en commun) Europe (Voiture)	
Principales limites	Déclarations Environnementales de type III pas systématiquement vérifiées par tierce partie Possibilités de différences méthodologiques malgré un cadre normatif général harmonisé (fin de vie, affectation,...)		Pas de prise en compte du cycle de vie des engins Représentativité temporelle	Pas de prise en compte du cycle de vie des équipements (ordinateur, pompe à chaleur,...) Représentativité temporelle		Représentativité temporelle				

<sup>30</sup> BETie : « Béton et Impacts Environnementaux », Outil des mesures des impacts environnementaux du béton prêt à l'emploi du Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi.

### 3.4.2 Evaluation de la cohérence des données

#### ► Evaluation de la cohérence qualitative des données

Les données utilisées dans l'étude sont globalement de qualité homogène. La seule différence notable est le fait que certaines FDES ont été vérifiées et d'autres non. Toutefois, lorsque deux FDES existaient pour un même produit, une préférence a été faite pour celle qui a fait l'objet d'une vérification par tierce partie. Pour les données n'étant pas disponibles sous forme de FDES (inventaires de cycle de vie ou modules d'informations au format NF P 01-010), les étapes complémentaires ont été modélisées selon la norme NF P 01-010 et présentent donc une qualité homogène avec les données FDES issues de la base INIES ou de site de fabricant/syndicat.

#### ► Evaluation de la cohérence méthodologique des données

Comme évoqué précédemment, la totalité des données utilisées dans cette étude ont été modélisées selon la norme NF P 01-010. Elles présentent donc une bonne cohérence méthodologique malgré certaines différences évoquées dans les limites de l'étude (voir 4.6.6).

#### ► Evaluation de la cohérence quantitative des données

Tous les produits et matériaux de construction permettant de réaliser un bâtiment répondant aux exigences de la Directive des Produits de Construction (DPC 89/106/CE) sont pris en compte. La quantité de données est donc jugée cohérente avec les objectifs de l'étude.

### 3.4.3 Evaluation de la complétude des données

Selon la norme ISO 14044, l'objectif du contrôle de complétude est de s'assurer que toutes les informations pertinentes et les données requises pour l'interprétation sont disponibles et complètes. Ce rapport présente toutes les données et résultats nécessaires à l'interprétation. La complétude des données est donc jugée bonne et en adéquation avec les objectifs et le champ de l'étude.

### 3.4.4 Traçabilité des données

Toutes les sources de données utilisées pour cette étude sont présentées dans ce rapport.

### 3.4.5 Conclusion sur l'évaluation de la qualité des données

Au regard des exigences sur la qualité des données présentées au paragraphe 2.4, il est jugé que les données utilisées dans l'étude sont de qualité satisfaisante. De plus, il est important de rappeler que les données utilisées, bien que présentant certaines limites (comme par exemple la représentativité temporelle de certaines données environnementales), constituent les meilleures données disponibles à ce jour pour répondre aux objectifs de la présente étude.

## Chapitre 4 : Evaluation de l'impact du cycle de vie

Note : Il est important de mentionner que l'inventaire de cycle de vie des différents bâtiments étudiés n'a pas été établi. Les indicateurs d'impact ont été directement calculés à partir des résultats d'impact présentés dans les FDES et à partir des résultats obtenus après caractérisation des inventaires (ecoinvent, WSA, ...) utilisés comme sources de données.

### 4.1 Indicateurs d'impacts étudiés

Les indicateurs d'impact calculés dans le cadre de cette étude sont les indicateurs de la norme XP P 01-020-3 en tenant compte des remarques suivantes :

- L'indicateur « Eutrophisation » n'est pas calculé. En effet, cet indicateur n'est pas disponible dans toutes les FDES et ne peut donc pas être calculé à l'échelle du bâtiment.
- L'indicateur « Consommation de ressources non énergétiques non renouvelables épuisables » est remplacé par l'indicateur « Epuisement des ressources ». En effet, seul cet indicateur sur les ressources globales est disponible dans les FDES.

Enfin, l'analyse de sensibilité sur le module D de la norme NF EN 15978 porte sur l'ensemble de ces indicateurs hormis les indicateurs suivants pour lesquels ce calcul n'est pas réalisable :

- consommation de foncier (en m<sup>2</sup>),
- biodiversité (sans unité).

Les indicateurs d'impacts sélectionnés dans cette étude sont listés dans le Tableau 26.

Ces indicateurs sont scientifiquement et techniquement reconnus par la communauté internationale des experts en ACV et apportent un éclairage multicritère sur les aspects environnementaux des bâtiments.

Néanmoins, ces indicateurs sont plus ou moins robustes et conduisent à des résultats dont les niveaux d'incertitudes diffèrent selon les indicateurs.

Par exemple, le potentiel de réchauffement climatique est un indicateur robuste car le forçage radiatif lié aux émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique est un phénomène physico-chimique relativement bien connu. A l'inverse, les indicateurs liés aux risques toxiques sont moins robustes, d'une part car les phénomènes liés à la toxicité de certaines substances sont moins bien connus (manque de bases de données fiables), et d'autre part car les calculs des facteurs de caractérisation ne prennent pas en compte certains phénomènes comme les seuils temporels, spatiaux et les effets « dose-réponse ».

Pour prendre en compte cette problématique, un niveau de robustesse et un niveau d'incertitude sont proposés pour chaque indicateur.

Les niveaux de robustesse sont estimés sur la base du Handbook du Joint Research Centre (JRC) concernant l'évaluation des méthodes de caractérisation<sup>31</sup>. Ce document classe les méthodes d'évaluation des impacts environnementaux selon différents paramètres comme la robustesse scientifique, la transparence ou encore la reproductibilité de la méthode.

Les niveaux d'incertitude sont quant à eux estimés de façon relative selon la robustesse des indicateurs, en considérant un niveau d'incertitude de 20% pour les indicateurs les plus robustes. Ce seuil de 20% a été retenu car il représente une valeur couramment acceptée dans les analyses de cycle de vie et qu'il a été employé dans des études similaires sur l'évaluation environnementale des bâtiments<sup>32 33</sup>.

Ces niveaux d'incertitude permettront dans la suite de l'étude de juger du caractère significatif ou non des écarts constatés lors de la comparaison des impacts environnementaux des différentes superstructures et noyaux des bâtiments. Ainsi, pour un indicateur donné, une différence d'impact environnemental sur les superstructures et noyaux sera jugée significative si elle est supérieure au seuil d'incertitude de cet indicateur.

Enfin, il est important de noter que les incertitudes déterminées ici se réfèrent uniquement aux méthodes de caractérisation et ne prennent pas en compte les autres incertitudes liées à la méthode ACV.

Dans le tableau ci-dessous, la légende concernant l'indice de robustesse et le niveau d'incertitude est la suivante :

? = Robustesse faible → Niveau d'incertitude = 50%

+ = Robustesse moyenne → Niveau d'incertitude = 30%

++ = Robustesse forte → Niveau d'incertitude = 20%

---

<sup>31</sup> European Commission – Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. First edition November 2011. EUR 24571 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union ; 2011.

<sup>32</sup> Qualité Environnementale des Bâtiments de bureaux – Aspects environnementaux, novembre 2011, CIM Béton

<sup>33</sup> Recherche des paramètres influençant la Qualité Environnementale des Bâtiments à basse consommation énergétique – Comparaison des impacts environnementaux, octobre 2009, CIM Béton

Tableau 26 – Indicateurs d’impacts étudiés dans l’étude et indices de robustesse associés

Indicateur d’impact	Indicateurs de la norme XP P 01-020-3	Indicateurs calculés dans l’étude	Niveau de robustesse	Niveau d’incertitude	Commentaire
Consommation de ressources énergétiques non renouvelables (en kWhep)		X	++	±20%	Indicateurs de flux caractérisés à l’aide d’une caractéristique intrinsèque de la matière (PCI)
Epuisement des ressources (en kg éq Sb)	X	X	+	±30%	Niveau de robustesse intermédiaire (niveau II) dans l’échelle du JRC
Consommation d’eau	X	X	++	±20%	Indicateur de flux
Consommation de foncier (en m <sup>2</sup> )	X	X	<b>Non déterminé</b>	<b>Non déterminé</b>	Indicateurs calculés au niveau des bâtiments (pas au niveau des structures) - Résultats identiques pour tous les bâtiments
Biodiversité (sans unité)	X	X	<b>Non déterminé</b>	<b>Non déterminé</b>	
Pollution de l’air (en m <sup>3</sup> )	X	X	?	±50%	Indicateur basé sur des valeurs limites d’exposition n’intégrant pas de facteur de devenir (non classé dans l’échelle du JRC)
Changement climatique (en kg éq CO <sub>2</sub> )	X	X	++	±20%	Niveau de robustesse élevé (niveau I) dans l’échelle du JRC
Acidification atmosphérique (en kg éq SO <sub>2</sub> )	X	X	+	±30%	Niveau de robustesse intermédiaire (niveau II) dans l’échelle du JRC
Formation d’ozone photochimique (en kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	X	X	+	±30%	Niveau de robustesse intermédiaire (niveau II) dans l’échelle du JRC
Pollution de l’eau (en m <sup>3</sup> )	X	X	?	±50%	Indicateur basé sur des valeurs limites d’exposition n’intégrant pas de facteur de devenir (non classé dans l’échelle du JRC)
Eutrophisation (en kg éq PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	X		+	±30%	Niveau de robustesse intermédiaire (niveau II) dans l’échelle du JRC
Déchets dangereux (en t)	X	X	++	±20%	
Déchets non dangereux (en t)	X	X	++	±20%	
Déchets inertes (en t)	X	X	++	±20%	
Déchets radioactifs (en t)	X	X	++	±20%	

## 4.2 Introduction sur la présentation des résultats

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, les résultats sont présentés de la manière suivante :

- Une première partie permet de comparer les impacts environnementaux de la superstructure<sup>34</sup> et du noyau des différents bâtiments étudiés, avec une approche conforme à la norme NF P 01-010 en ce qui concerne le recyclage (sans module D de la norme NF EN 15978).
- Une seconde partie permet de comparer les impacts environnementaux de la superstructure et du noyau des différents bâtiments étudiés, en prenant en compte le module D de la norme NF EN 15978 relatif aux bénéfices et charges au-delà des frontières du système (voir 2.7.2). Cette analyse de sensibilité permet d'évaluer l'influence du mode de prise en compte du recyclage sur les résultats obtenus.
- Enfin, une troisième partie permet de mettre en perspective les impacts environnementaux de la superstructure et du noyau avec les impacts environnementaux globaux des bâtiments.

Les comparaisons sont effectuées de la façon suivante :

- Comparaison entre le bâtiment mixte et le bâtiment béton : Cette comparaison permet d'évaluer les différences d'impacts environnementaux entre les deux systèmes constructifs les plus répandus en France.
- Comparaison entre le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé : Cette comparaison permet d'évaluer les gains potentiels associés à une démarche d'éco-conception sur une superstructure et un noyau.

Les résultats de l'évaluation environnementale sont présentés pour les indicateurs listés au paragraphe précédent. Toutefois, les indicateurs « Biodiversité » et « Consommation de foncier » sont présentés en annexe 10 (6.10).

Les résultats sont fournis par m<sup>2</sup> de surface utile et par an dans le corps du rapport, ceux relatifs à la surface totale et la durée de vie des bâtiments (100 ans) sont fournis en annexe 8 (6.8). On rappelle que les différents bâtiments ont une surface utile de 8712 m<sup>2</sup>.

De plus, seuls les résultats pour la zone climatique H1a sont présentés dans le corps du rapport, ceux relatifs à la zone climatique H3 sont présentés en annexe (Annexe 9, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Les résultats à l'échelle du bâtiment sont présentés selon le découpage suivant :

- superstructure (poteaux, poutres et dalles),
- noyau,
- fondation,
- infrastructure,
- enveloppe,

---

<sup>34</sup> Le terme superstructure se réfère ici aux poteaux, poutres et dalles des bâtiments

- second œuvre,
- exploitation liée au bâti (énergie),
- exploitation liée à l'activité (énergie, eau, papier),
- déplacements des usagers.

Enfin, comme cela est mentionné dans la norme ISO 14044, il est important de rappeler que les résultats d'impacts présentés ci-après sont des expressions relatives et qu'elles ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques.

## 4.3 Comparaison des superstructures et des noyaux (sans prise en compte du module D)

Cette section présente les impacts environnementaux de la superstructure et du noyau des différents bâtiments étudiés, avec une approche conforme à la norme NF P 01-010 en ce qui concerne le recyclage.

Ainsi, les résultats présentés dans cette partie ne prennent pas en compte les bénéfices et charges au-delà des frontières du système (module D de la norme NF EN 15978).

### 4.3.1 Comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec la superstructure et le noyau du bâtiment béton (sans prise en compte du module D)

Le tableau ci-dessous présente les impacts environnementaux de la superstructure, du noyau et de l'ensemble de ces deux éléments pour le bâtiment mixte et le bâtiment béton ainsi que l'écart relatif entre les résultats obtenus.

De plus, sur la base des niveaux d'incertitudes définis pour les différents indicateurs d'impacts (voir 4.1), il est précisé si l'écart observé pour un indicateur donné est jugé significatif (supérieur au niveau d'incertitude) ou non.

Tableau 27 – Comparaison des impacts environnementaux de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec ceux de la superstructure et du noyau du bâtiment béton (sans prise en compte du module D) – Impacts par m<sup>2</sup> et par an

Categorie	Indicateur	Unité	Bâtiment mixte	Bâtiment béton	Écart relatif (%)	Niveau d'incertitude (%)	Significativité de l'écart
<b>Superstructure (poutres, poteaux et dalles)</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	2,83E+00	2,84E+00	0%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	4,30E-03	4,08E-03	-5%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	3,26E-03	4,74E-03	45%	+20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	1,00E+02	7,55E+01	-25%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	9,45E-01	1,20E+00	27%	+20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	2,94E-03	4,23E-03	44%	+30%	Oui
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,51E-04	3,45E-04	128%	+30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	1,14E-01	3,68E-01	221%	+50%	Oui
Déchets	Déchets dangereux	t	4,37E-06	1,24E-06	-72%	+20%	Oui
	Déchets non dangereux	t	7,95E-06	1,45E-05	83%	+20%	Oui
	Déchets inertes	t	1,16E-03	4,83E-03	316%	+20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	6,88E-08	7,63E-08	11%	+20%	Non
<b>Noyaux</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	8,29E-01	8,29E-01	0%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	1,25E-03	1,25E-03	0%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	1,74E-03	1,74E-03	0%	+20%	Non
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	2,57E+01	2,57E+01	0%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	3,79E-01	3,79E-01	0%	+20%	Non
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	1,29E-03	1,29E-03	0%	+30%	Non
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	9,83E-05	9,83E-05	0%	+30%	Non
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	8,64E-02	8,64E-02	0%	+50%	Non
Déchets	Déchets dangereux	t	8,28E-07	8,28E-07	0%	+20%	Non
	Déchets non dangereux	t	7,14E-06	7,14E-06	0%	+20%	Non
	Déchets inertes	t	7,08E-04	7,08E-04	0%	+20%	Non
	Déchets radioactifs	t	2,34E-08	2,34E-08	0%	+20%	Non
<b>Superstructure + Noyau</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	3,66E+00	3,67E+00	0%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	5,55E-03	5,33E-03	-4%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	5,00E-03	6,48E-03	30%	+20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	1,26E+02	1,01E+02	-20%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	1,32E+00	1,57E+00	19%	+20%	Non
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	4,23E-03	5,52E-03	30%	+30%	Oui
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,49E-04	4,44E-04	78%	+30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	2,01E-01	4,54E-01	126%	+50%	Oui
Déchets	Déchets dangereux	t	5,20E-06	2,07E-06	-60%	+20%	Oui
	Déchets non dangereux	t	1,51E-05	2,17E-05	44%	+20%	Oui
	Déchets inertes	t	1,87E-03	5,54E-03	197%	+20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	9,22E-08	9,97E-08	8%	+20%	Non

Le tableau ci-dessus montre qu'il existe des différences significatives entre les **superstructures** des deux bâtiments pour 8 indicateurs sur les 12 analysés. De plus, pour 7 de ces 8 indicateurs, les impacts environnementaux de la superstructure du bâtiment mixte sont inférieurs à ceux de la superstructure du bâtiment béton.

En ce qui concerne la **consommation d'eau**, la superstructure du bâtiment béton possède des impacts environnementaux plus forts que la superstructure du bâtiment mixte. Dans le cas de la superstructure du bâtiment mixte, on peut noter que la principale source d'impact est l'acier utilisé pour les planchers collaborants (42% de la consommation d'eau de la superstructure mixte).

Néanmoins, il est intéressant de noter que le béton, qui est également présent dans les planchers collaborants, représente une part non négligeable de l'impact (33%).

Pour les **indicateurs liés aux émissions dans l'air**, 3 d'entre eux présentent un écart significatif en faveur de la superstructure du bâtiment mixte avec des écarts variant de 27% à 128%. Pour ce qui est de l'indicateur **changement climatique**, qui présente un écart de 27%, il est intéressant de noter que l'impact est plus élevé pour la superstructure du bâtiment béton que pour celle du bâtiment mixte bien que l'impact par unité de masse soit plus important pour les produits en acier que pour les produits en béton. Ceci vient du fait que, à service rendu équivalent, la masse de la superstructure du bâtiment béton est plus importante que celle du bâtiment mixte.

En ce qui concerne la **pollution de l'eau**, la superstructure du bâtiment mixte a un impact plus faible que la superstructure du bâtiment béton (écart de 221%). Pour cet indicateur, il apparaît que les produits en béton contribuent de manière importante aux impacts environnementaux des deux superstructures. En effet, même pour la superstructure du bâtiment mixte, le béton utilisé dans les planchers collaborants représente environ 68% de la totalité de l'impact de la superstructure.

Pour les indicateurs relatifs à la production de déchets, 3 d'entre eux présentent une différence significative. Plus précisément, la production de déchets dangereux est plus importante dans la superstructure du bâtiment mixte (écart de 72%) alors que c'est l'inverse pour la production de déchets non dangereux et de déchets inertes (écarts respectifs de 83% et 316%). En ce qui concerne la **production de déchets dangereux**, la différence entre les deux superstructures est due à la plus forte production de déchets dangereux lors de la production de l'acier que lors de la production de béton. En effet, lorsqu'on raisonne par unité de masse, on s'aperçoit que la production de déchets dangereux pour l'acier est d'environ 8 g/kg<sup>35</sup> alors que pour la production de béton, cette valeur est d'environ 0,03 g/kg<sup>36</sup>. Cette différence unitaire est toutefois compensée par la masse plus importante de la superstructure du bâtiment béton par rapport à celle du bâtiment mixte. Toutefois, les sources précises de cette production de déchets dangereux ne sont pas disponibles, ni dans les données relatives à l'acier, ni dans celles relatives au béton. Par ailleurs, il est à noter que la production de déchets dangereux est très faible pour les deux superstructures en comparaison des autres types de déchets (respectivement 0,7% et 0,3% de la production totale de déchets pour la structure mixte et la structure béton). Enfin, pour la **production de déchets non dangereux** et de **déchets inertes**, là encore, la masse de la superstructure apparaît comme le paramètre déterminant.

Au niveau des **noyaux** des deux bâtiments, les résultats sont identiques puisque les noyaux considérés sont identiques entre les deux bâtiments (noyau en béton dans les deux cas).

Enfin, lorsqu'on raisonne au niveau de l'ensemble **superstructure + noyau**, il apparaît que 7 indicateurs sur les 12 étudiés montrent une différence significative. 6 sont en faveur de la structure du bâtiment mixte et 1 est en faveur de la structure du bâtiment béton. Il faut noter que les écarts observés sur cet ensemble superstructure + noyau sont entièrement dus aux superstructures. Toutefois, les impacts de cet ensemble étant plus importants que ceux de la superstructure seule, les écarts observés précédemment au niveau de la superstructure sont ici réduits.

---

<sup>35</sup> Valeur basée sur la FDES poutrelle

<sup>36</sup> Valeur basée sur la FDES Dalle Alvéolée en béton Précontraint de 28 cm

### 4.3.2 Comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec la superstructure et le noyau du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D)

Le tableau ci-dessous présente les impacts environnementaux de la superstructure, du noyau et de l'ensemble de ces deux éléments pour le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé ainsi que l'écart relatif entre les résultats obtenus.

Il est important de noter que, dans le cas de cette comparaison, les niveaux d'incertitude (et donc la significativité de l'écart associé) sont présentés à titre d'information mais peuvent être considérés comme surestimés. En effet, ces seuils d'incertitude ont été définis pour la comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte et du bâtiment béton. Or, dans le cas de la comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte et du bâtiment mixte optimisé, les similitudes entre les structures et donc les similitudes entre les données environnementales utilisées font que le niveau d'incertitude sur l'écart obtenu entre les impacts environnementaux est plus faible quand pour la comparaison précédente.

Tableau 28 – Comparaison des impacts environnementaux de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec ceux de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D) – Impacts par m2 et par an

Categorie	Indicateur	Unité	Bâtiment mixte	Bâtiment mixte optimisé	Écart relatif (%)	Niveau d'incertitude (%)	Significativité de l'écart
<b>Superstructure (poutres, poteaux et dalles)</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	2,83E+00	2,57E+00	-9%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	4,30E-03	3,92E-03	-9%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	3,26E-03	3,16E-03	-3%	+20%	Non
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	1,00E+02	9,16E+01	-9%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	9,45E-01	8,75E-01	-7%	+20%	Non
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	2,94E-03	2,74E-03	-7%	+30%	Non
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,51E-04	1,45E-04	-4%	+30%	Non
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	1,14E-01	1,11E-01	-3%	+50%	Non
Déchets	Déchets dangereux	t	4,37E-06	3,97E-06	-9%	+20%	Non
	Déchets non dangereux	t	7,95E-06	7,84E-06	-1%	+20%	Non
	Déchets inertes	t	1,16E-03	1,16E-03	0%	+20%	Non
	Déchets radioactifs	t	6,88E-08	6,71E-08	-3%	+20%	Non
<b>Noyaux</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	8,29E-01	5,50E-01	-34%	+20%	Oui
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	1,25E-03	8,01E-04	-36%	+30%	Oui
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	1,74E-03	3,26E-04	-81%	+20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	2,57E+01	1,82E+01	-29%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	3,79E-01	1,61E-01	-58%	+20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	1,29E-03	4,89E-04	-62%	+30%	Oui
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	9,83E-05	2,06E-05	-79%	+30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	8,64E-02	1,30E-02	-85%	+50%	Oui
Déchets	Déchets dangereux	t	8,28E-07	7,90E-07	-5%	+20%	Non
	Déchets non dangereux	t	7,14E-06	4,51E-07	-94%	+20%	Oui
	Déchets inertes	t	7,08E-04	7,44E-05	-89%	+20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	2,34E-08	6,00E-09	-74%	+20%	Oui
<b>Superstructure + Noyau</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	3,66E+00	3,12E+00	-15%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	5,55E-03	4,72E-03	-15%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	5,00E-03	3,49E-03	-30%	+20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	1,26E+02	1,10E+02	-13%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	1,32E+00	1,04E+00	-22%	+20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	4,23E-03	3,23E-03	-24%	+30%	Non
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,49E-04	1,66E-04	-34%	+30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	2,01E-01	1,24E-01	-38%	+50%	Non
Déchets	Déchets dangereux	t	5,20E-06	4,76E-06	-8%	+20%	Non
	Déchets non dangereux	t	1,51E-05	8,29E-06	-45%	+20%	Oui
	Déchets inertes	t	1,87E-03	1,23E-03	-34%	+20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	9,22E-08	7,31E-08	-21%	+20%	Oui

Le tableau ci-dessus montre que l'optimisation effectuée au niveau des **superstructures** entre le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé permet une réduction des impacts environnementaux de la superstructure variant entre 0% à 9% selon les indicateurs et qu'elle n'entraîne aucun transfert de pollution (aucune augmentation d'impact).

Concernant les **noyaux**, le passage d'un noyau en béton pour le bâtiment mixte à un noyau en acier pour le bâtiment mixte optimisé permet une réduction des impacts environnementaux du noyau pour tous les indicateurs, avec des variations d'impact allant de 5 à 94%.

Pour les indicateurs **consommation d'énergie primaire non renouvelable** et **épuisement des ressources**, le passage d'un noyau en béton à un noyau en acier permet une réduction des impacts environnementaux d'environ 35%.

Pour la **consommation d'eau**, une diminution de 81% est observée lors du passage du noyau béton au niveau acier. Cette diminution confirme la forte contribution des produits en béton pour cet indicateur observée lors de l'analyse des superstructures des bâtiments mixte et béton.

Pour les indicateurs liés aux **émissions dans l'air**, les réductions d'impact observées lors du passage du noyau en béton au noyau en acier sont environ comprises entre 30 et 80%. De manière plus spécifique, l'indicateur de **changement climatique** montre une diminution de 58%.

Là encore, il est intéressant de noter que l'impact est plus élevé pour le noyau en béton que pour le noyau en acier bien que l'impact par unité de masse soit plus important pour les produits en acier que pour les produits en béton. Ceci vient du fait que, à service rendu équivalent, la masse du noyau en béton est plus importante que celle du noyau en acier.

En ce qui concerne l'indicateur **pollution de l'eau**, le noyau du bâtiment mixte optimisé montre une diminution de l'impact de 85% en comparaison de celui du bâtiment mixte. Cette diminution est en accord avec l'analyse réalisée sur cet indicateur pour les superstructures du bâtiment mixte et du bâtiment béton.

Pour les indicateurs relatifs à la **production de déchets**, les gains observés sont globalement compris entre 5 et 95%. En ce qui concerne la réduction de 89% de déchets inertes, ceci s'explique d'une part par le fait que la masse du noyau en acier est plus faible que la masse du noyau en béton et d'autre part par le fait que la part de déchets valorisés est plus élevée dans le cas du noyau en acier que dans le cas du noyau en béton.

Enfin, au niveau **superstructure + noyau**, le bâtiment mixte optimisé bénéficie des gains observés à la fois au niveau de la superstructure et au niveau du noyau.

Pour analyser les écarts d'impact au niveau de cet ensemble, il faut tenir compte du fait que la superstructure a un impact bien plus important que le noyau et du fait que l'écart observé entre les superstructures est plus faible que celui observé entre les noyaux.

La combinaison de ces éléments fait que la différence d'impact au niveau superstructure + noyau se situe entre celle observée au niveau de la superstructure et celle observée au niveau du noyau. On obtient ainsi des diminutions d'impact comprises entre 8 et 45% lorsque l'on passe de la structure du bâtiment mixte à la structure du bâtiment mixte optimisé.

### 4.3.3 Conclusion sur la comparaison des superstructures et des noyaux (sans prise en compte du module D)

#### ► Superstructures

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus au niveau des superstructures. Les valeurs des indicateurs d'impacts de la superstructure du bâtiment mixte sont normées à 1, ce bâtiment étant le dénominateur commun des deux comparaisons.

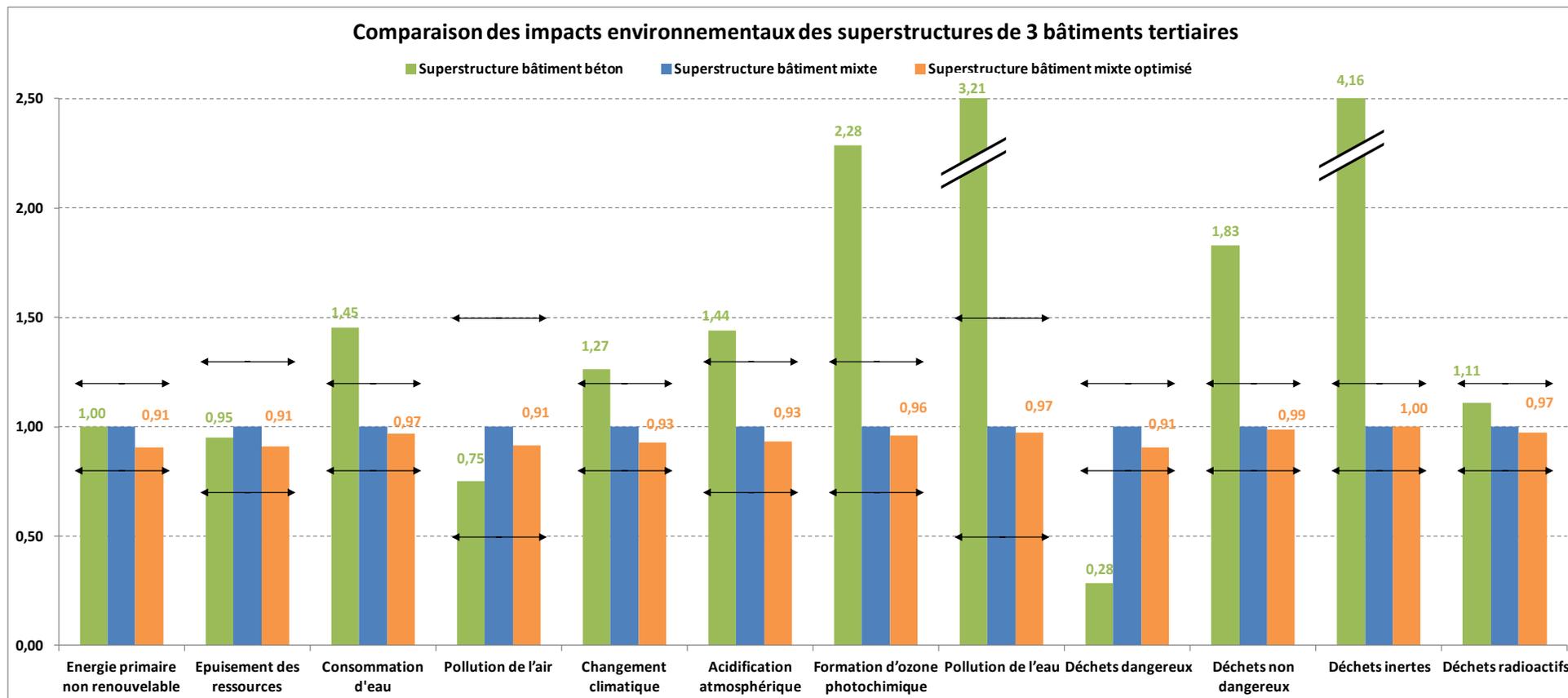


Figure 17 – Comparaison des impacts environnementaux des superstructures (sans prise en compte du module D)

Niveau d'incertitude relatif à chaque indicateur permettant de juger de la significativité de l'écart

## ► Noyaux

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus au niveau des noyaux. Les valeurs des indicateurs d'impacts du noyau du bâtiment mixte sont normées à 1, ce bâtiment étant le dénominateur commun des deux comparaisons.

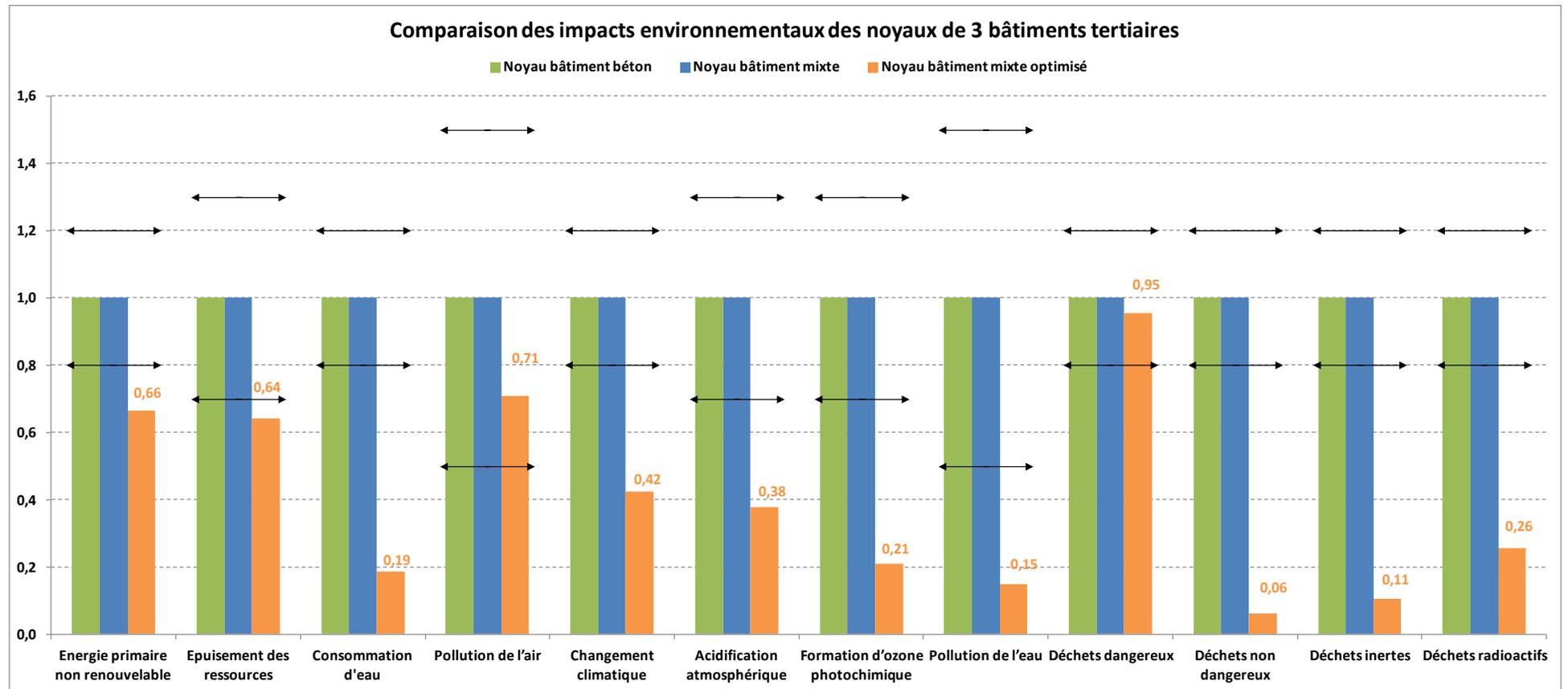
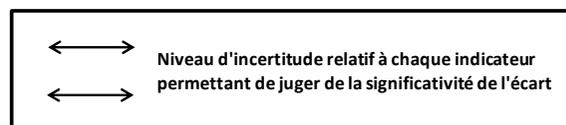


Figure 18 – Comparaison des impacts environnementaux des noyaux (sans prise en compte du module D)



## ► Superstructures + Noyau

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus au niveau de l'ensemble superstructure + noyau. Les valeurs des indicateurs d'impacts de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte sont normées à 1, ce bâtiment étant le dénominateur commun des deux comparaisons.

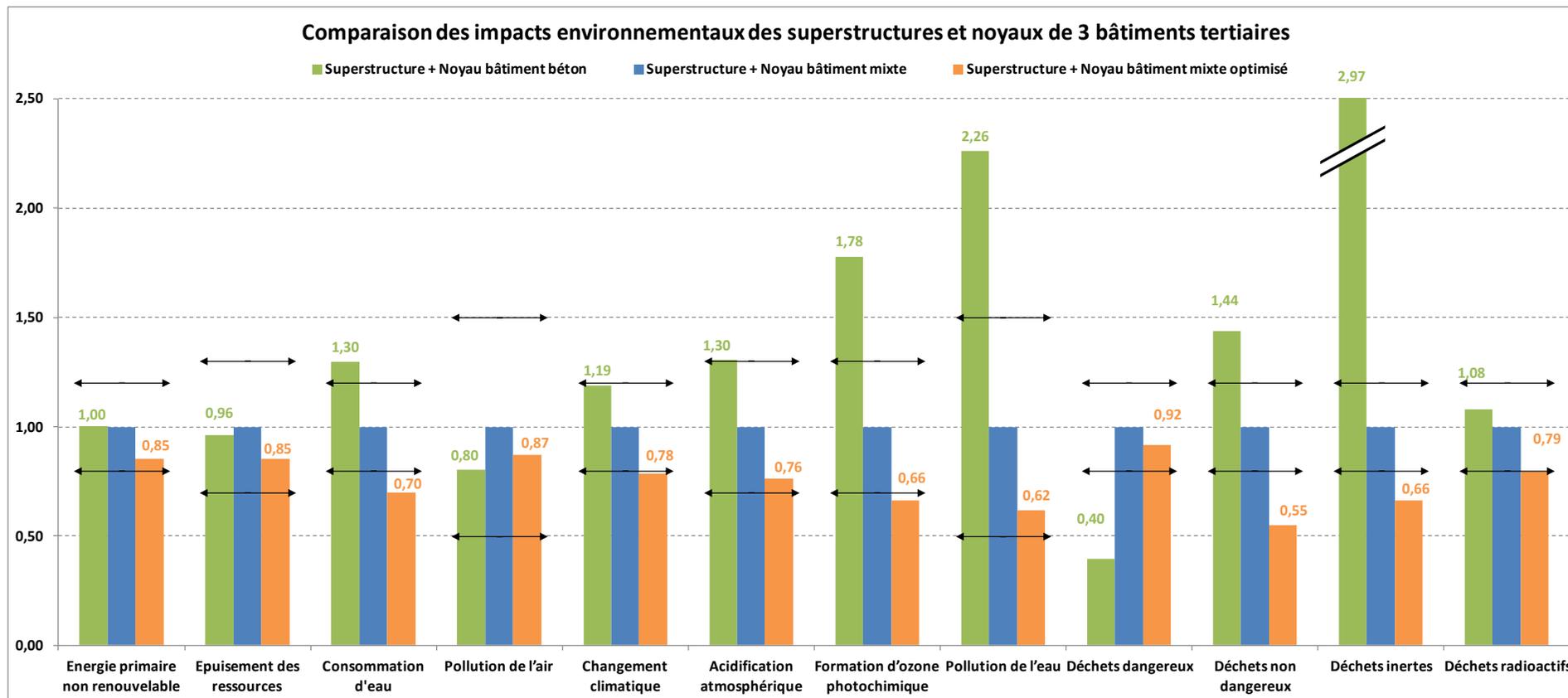


Figure 19 – Comparaison des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux (sans prise en compte du module D)

Niveau d'incertitude relatif à chaque indicateur permettant de juger de la significativité de l'écart

► **Conclusion sur la comparaison des superstructures et des noyaux (sans prise en compte du module D)**

De manière générale, les éléments présentés ci-dessus montrent qu'il existe des différences significatives entre les impacts environnementaux des superstructures et noyaux des 3 bâtiments étudiés.

Au niveau des **superstructures**, on peut noter un écart significatif entre la superstructure du bâtiment mixte et la superstructure du bâtiment béton pour 8 indicateurs sur les 12 analysés, avec 7 indicateurs en faveur de la superstructure du bâtiment mixte et 1 indicateur en faveur de la superstructure du bâtiment béton. De plus, la comparaison de la superstructure du bâtiment mixte et de la superstructure du bâtiment mixte optimisé montre que la démarche d'éco-conception proposée permet une réduction des impacts environnementaux de la superstructure du bâtiment mixte, allant de 0 à 9% selon les indicateurs.

Concernant les **noyaux**, le passage du noyau en béton présent dans le bâtiment mixte et dans le bâtiment béton au noyau en acier présent dans le bâtiment mixte optimisé permet une réduction des impacts environnementaux du noyau pour tous les indicateurs, avec des variations d'impact allant de 5 à 94%.

Par ailleurs, lorsqu'on raisonne au niveau de l'ensemble **superstructure + noyau**, on constate des écarts significatifs entre la structure du bâtiment mixte (superstructure acier + noyau béton) et la structure du bâtiment béton (superstructure béton + noyau béton) pour 7 indicateurs sur les 12 étudiés. 6 sont en faveur de la structure du bâtiment mixte et 1 est en faveur de la structure du bâtiment béton. Enfin, la comparaison de l'ensemble superstructure + noyau du bâtiment mixte et du bâtiment mixte optimisé (superstructure acier optimisée + noyau acier) montre que la démarche d'éco-conception proposée permet une réduction de tous les impacts environnementaux, allant de 8 à 45% selon les indicateurs.

## 4.4 Comparaison des superstructures et des noyaux (avec prise en compte du module D)

Cette section présente les impacts environnementaux de la superstructure et du noyau des différents bâtiments étudiés, en prenant en compte le module D de la norme NF EN 15978 relatif aux bénéfices et charges au-delà des frontières du système (voir 2.7.2).

Cette analyse de sensibilité permet d'évaluer l'influence du mode de prise en compte du recyclage sur les résultats obtenus.

Les données et hypothèses utilisées pour le calcul de cette analyse de sensibilité sont présentées en annexe 7 (6.7).

#### 4.4.1 Comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec la superstructure et le noyau du bâtiment béton (avec prise en compte du module D)

Le tableau ci-dessous présente les impacts environnementaux de la superstructure, du noyau et de l'ensemble de ces deux éléments pour le bâtiment mixte et le bâtiment béton ainsi que l'écart relatif entre les résultats obtenus.

De plus, sur la base des niveaux d'incertitudes définis pour les différents indicateurs d'impacts (voir 4.1), il est précisé si l'écart observé pour un indicateur donné est jugé significatif (supérieur au niveau d'incertitude) ou non.

Tableau 29 – Comparaison des impacts environnementaux de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec ceux de la superstructure et du noyau du bâtiment béton (avec prise en compte du module D) – Impacts par m<sup>2</sup> et par an

Categorie	Indicateur	Unité	Bâtiment mixte	Bâtiment béton	Écart relatif (%)	Niveau d'incertitude (%)	Significativité de l'écart
<b>Superstructure (poutres, poteaux et dalles)</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	2,47E+00	2,81E+00	14%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	3,49E-03	4,08E-03	17%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	2,15E-03	4,82E-03	124%	+20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	6,87E+01	7,33E+01	7%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	8,12E-01	1,19E+00	47%	+20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	2,72E-03	4,04E-03	49%	+30%	Oui
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,42E-04	3,33E-04	135%	+30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	1,15E-01	3,71E-01	222%	+50%	Oui
Déchets	Déchets dangereux	t	3,04E-06	1,27E-06	-58%	+20%	Oui
	Déchets non dangereux	t	9,61E-06	1,55E-05	61%	+20%	Oui
	Déchets inertes	t	7,88E-04	4,82E-03	512%	+20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	1,15E-07	7,58E-08	-34%	+20%	Oui
<b>Noyaux</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	8,16E-01	8,16E-01	0%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	1,24E-03	1,24E-03	0%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	1,75E-03	1,75E-03	0%	+20%	Non
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	2,46E+01	2,46E+01	0%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	3,78E-01	3,78E-01	0%	+20%	Non
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	1,23E-03	1,23E-03	0%	+30%	Non
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	9,46E-05	9,46E-05	0%	+30%	Non
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	8,75E-02	8,75E-02	0%	+50%	Non
Déchets	Déchets dangereux	t	8,22E-07	8,22E-07	0%	+20%	Non
	Déchets non dangereux	t	7,46E-06	7,46E-06	0%	+20%	Non
	Déchets inertes	t	7,01E-04	7,01E-04	0%	+20%	Non
	Déchets radioactifs	t	2,37E-08	2,37E-08	0%	+20%	Non
<b>Superstructure + Noyau</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	3,29E+00	3,63E+00	10%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	4,73E-03	5,32E-03	12%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	3,91E-03	6,58E-03	68%	+20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	9,33E+01	9,79E+01	5%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	1,19E+00	1,57E+00	32%	+20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	3,95E-03	5,27E-03	33%	+30%	Oui
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,37E-04	4,28E-04	81%	+30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	2,03E-01	4,58E-01	126%	+50%	Oui
Déchets	Déchets dangereux	t	3,86E-06	2,09E-06	-46%	+20%	Oui
	Déchets non dangereux	t	1,71E-05	2,30E-05	34%	+20%	Oui
	Déchets inertes	t	1,49E-03	5,52E-03	271%	+20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	1,39E-07	9,95E-08	-28%	+20%	Oui

#### **4.4.2 Comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec la superstructure et le noyau du bâtiment mixte optimisé (avec prise en compte du module D)**

Le tableau ci-dessous présente les impacts environnementaux de la superstructure, du noyau et de l'ensemble de ces deux éléments pour le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé ainsi que l'écart relatif entre les résultats obtenus.

Il est important de noter que, dans le cas de cette comparaison, les niveaux d'incertitude (et donc la significativité de l'écart associé) sont présentés à titre d'information mais peuvent être considérés comme surestimés. En effet, ces seuils d'incertitude ont été définis pour la comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte et du bâtiment béton. Or, dans le cas de la comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte et du bâtiment mixte optimisé, les similitudes entre les structures et donc les similitudes entre les données environnementales utilisées font que le niveau d'incertitude sur l'écart obtenu entre les impacts environnementaux est plus faible quand pour la comparaison précédente.

Tableau 30 – Comparaison des impacts environnementaux de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec ceux de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte optimisé (avec prise en compte du module D) – Impacts par m2 et par

Categorie	Indicateur	Unité	Bâtiment mixte	Bâtiment mixte optimisé	Écart relatif (%)	Niveau d'incertitude (%)	Significativité de l'écart
<b>Superstructure (poutres, poteaux et dalles)</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	2,47E+00	2,23E+00	-10%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	3,49E-03	3,15E-03	-10%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	2,15E-03	2,11E-03	-2%	+20%	Non
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	6,87E+01	6,15E+01	-11%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	8,12E-01	7,49E-01	-8%	+20%	Non
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	2,72E-03	2,52E-03	-7%	+30%	Non
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,42E-04	1,36E-04	-4%	+30%	Non
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	1,15E-01	1,12E-01	-3%	+50%	Non
Déchets	Déchets dangereux	t	3,04E-06	2,70E-06	-11%	+20%	Non
	Déchets non dangereux	t	9,61E-06	9,44E-06	-2%	+20%	Non
	Déchets inertes	t	7,88E-04	8,06E-04	2%	+20%	Non
	Déchets radioactifs	t	1,15E-07	1,11E-07	-4%	+20%	Non
<b>Noyaux</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	8,16E-01	5,11E-01	-37%	+20%	Oui
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	1,24E-03	7,13E-04	-42%	+30%	Oui
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	1,75E-03	2,04E-04	-88%	+20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	2,46E+01	1,48E+01	-40%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	3,78E-01	1,47E-01	-61%	+20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	1,23E-03	4,66E-04	-62%	+30%	Oui
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	9,46E-05	1,97E-05	-79%	+30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	8,75E-02	1,30E-02	-85%	+50%	Oui
Déchets	Déchets dangereux	t	8,22E-07	6,45E-07	-22%	+20%	Oui
	Déchets non dangereux	t	7,46E-06	6,26E-07	-92%	+20%	Oui
	Déchets inertes	t	7,01E-04	3,39E-05	-95%	+20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	2,37E-08	1,10E-08	-53%	+20%	Oui
<b>Superstructure + Noyau</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	3,29E+00	2,74E+00	-17%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	4,73E-03	3,86E-03	-18%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	3,91E-03	2,31E-03	-41%	+20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	9,33E+01	7,62E+01	-18%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	1,19E+00	8,96E-01	-25%	+20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	3,95E-03	2,99E-03	-24%	+30%	Non
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,37E-04	1,56E-04	-34%	+30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	2,03E-01	1,25E-01	-38%	+50%	Non
Déchets	Déchets dangereux	t	3,86E-06	3,35E-06	-13%	+20%	Non
	Déchets non dangereux	t	1,71E-05	1,01E-05	-41%	+20%	Oui
	Déchets inertes	t	1,49E-03	8,40E-04	-44%	+20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	1,39E-07	1,22E-07	-12%	+20%	Non

#### 4.4.3 Conclusion sur la comparaison des superstructures et des noyaux (avec prise en compte du module D)

##### ► Superstructures

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus au niveau des superstructures. Les valeurs des indicateurs d'impacts de la superstructure du bâtiment mixte sont normées à 1, ce bâtiment étant le dénominateur commun des deux comparaisons.

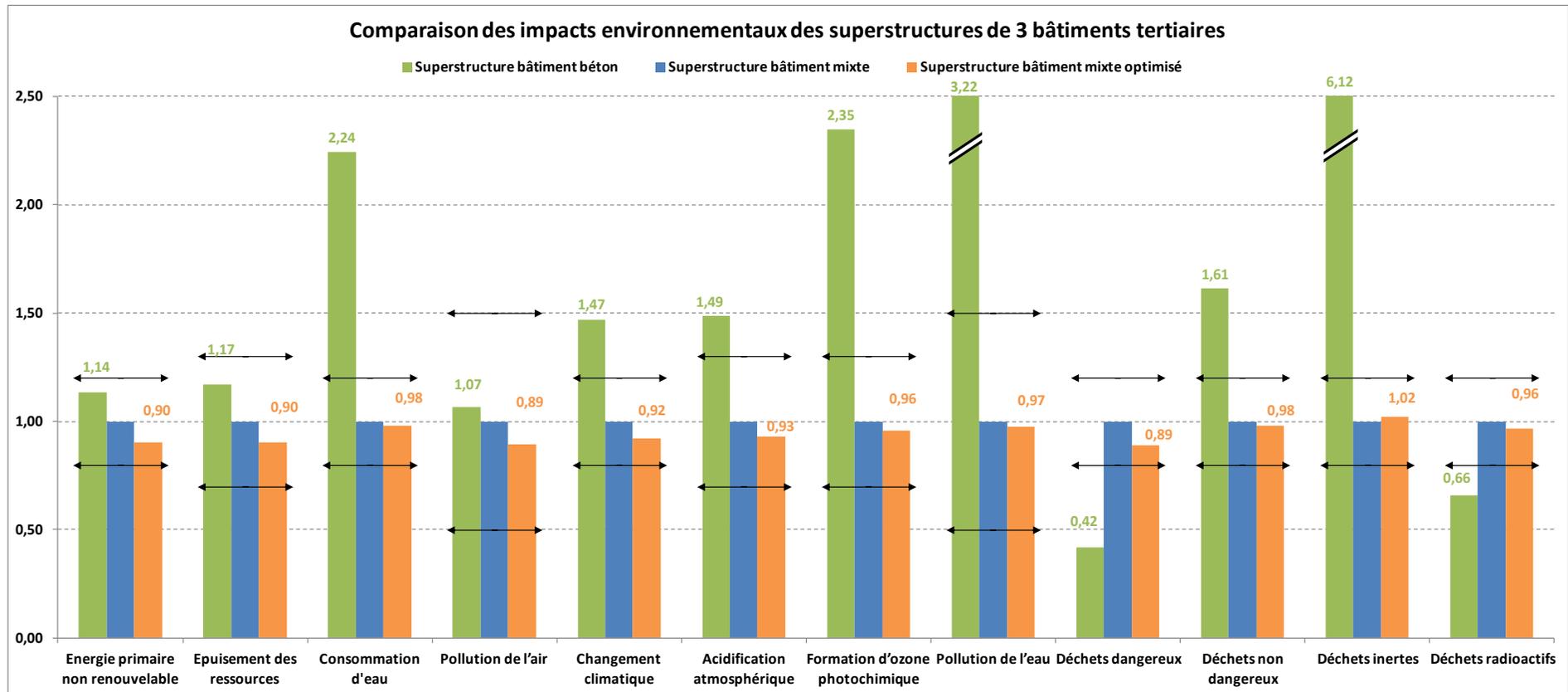


Figure 20 – Comparaison des impacts environnementaux des superstructures (avec prise en compte du module D)

Niveau d'incertitude relatif à chaque indicateur permettant de juger de la significativité de l'écart

## ► Noyaux

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus au niveau des noyaux. Les valeurs des indicateurs d'impacts du noyau du bâtiment mixte sont normées à 1, ce bâtiment étant le dénominateur commun des deux comparaisons.

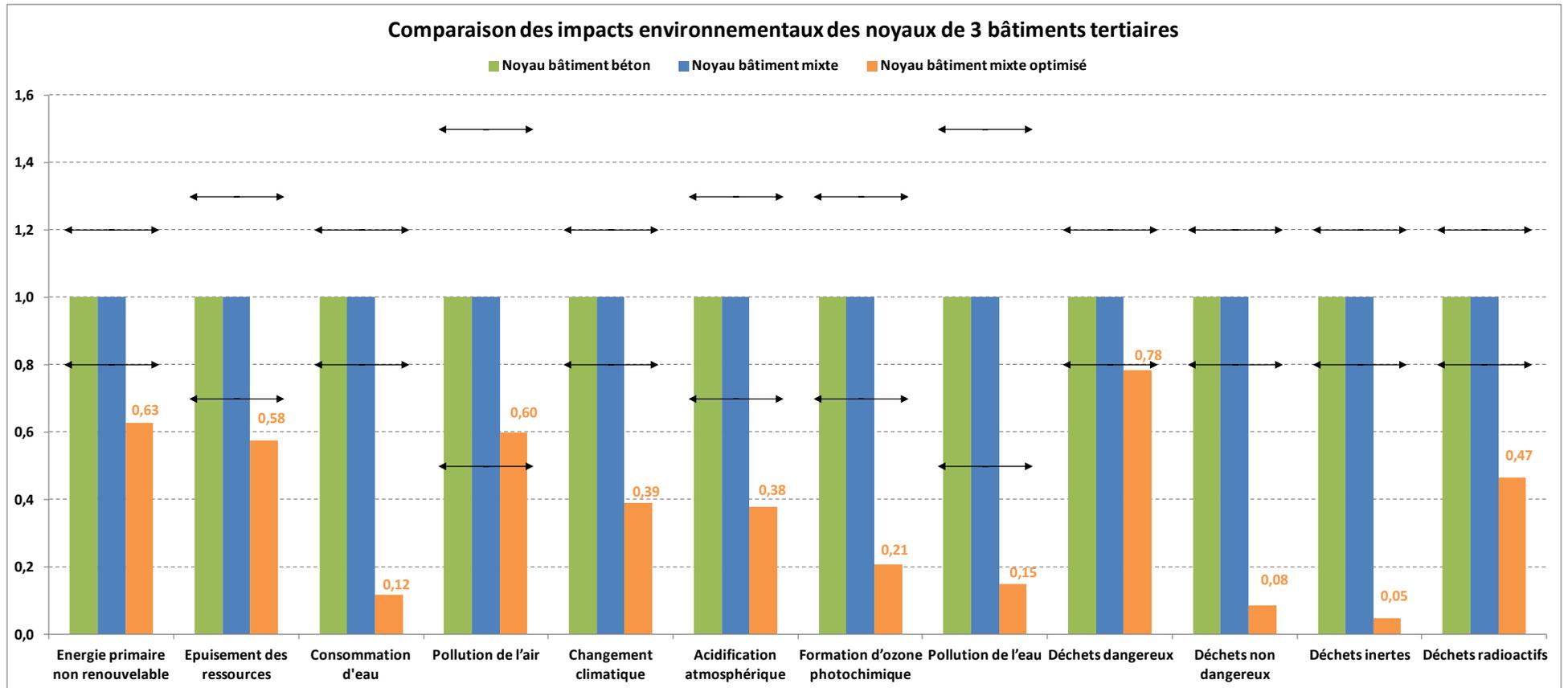
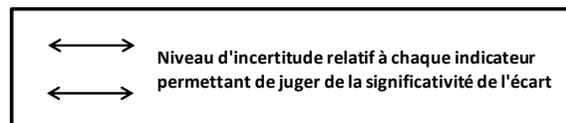


Figure 21 – Comparaison des impacts environnementaux des noyaux (avec prise en compte du module D)



## ► Superstructures + Noyaux

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus au niveau de l'ensemble superstructure + noyau. Les valeurs des indicateurs d'impacts de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte sont normées à 1, ce bâtiment étant le dénominateur commun des deux comparaisons.

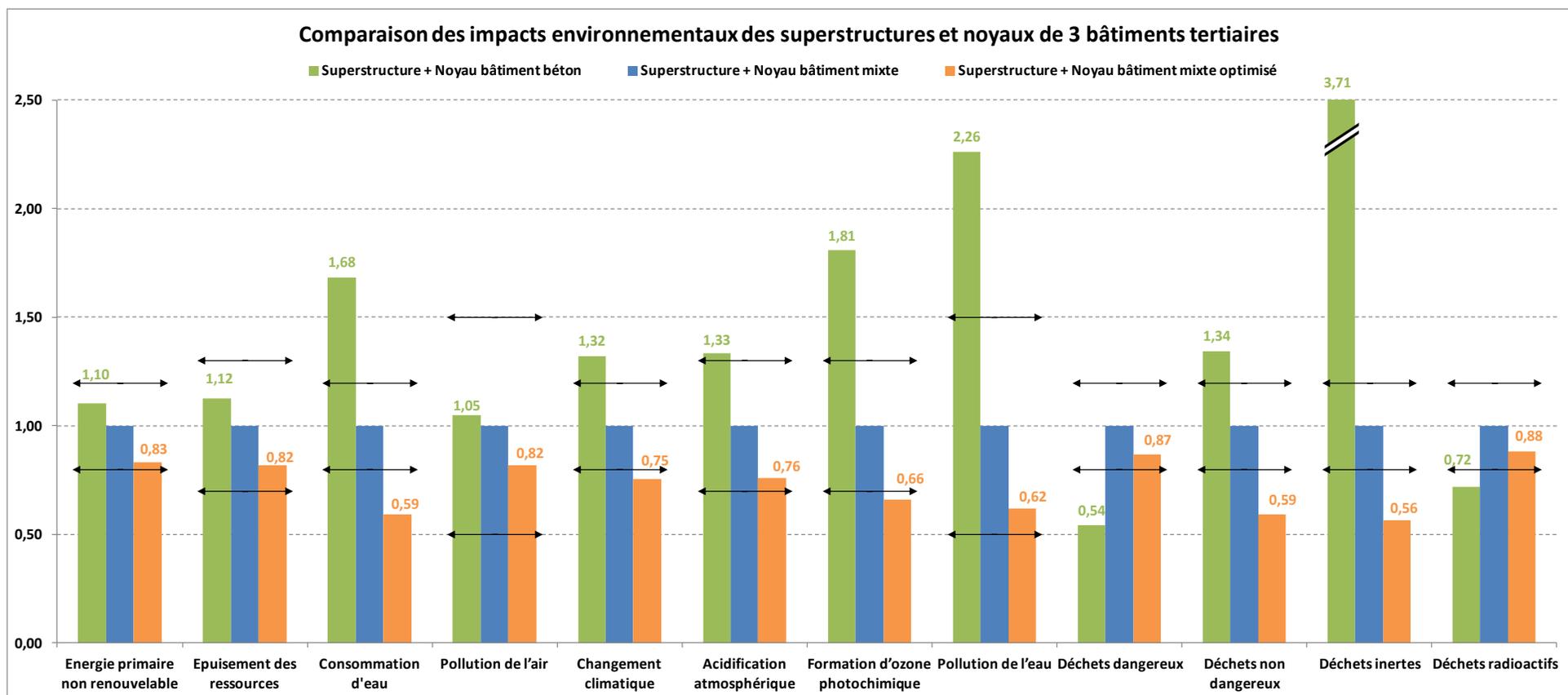
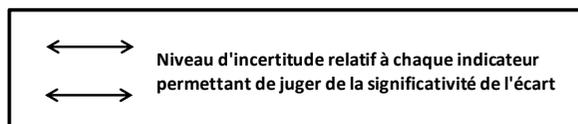


Figure 22 – Comparaison des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux (avec prise en compte du module D)



► **Influence de la prise en compte du module D sur les impacts environnementaux d'une superstructure ou d'un noyau donné**

Le tableau ci-dessous présente l'influence de la prise en compte du module D sur **les superstructures** des bâtiments étudiés.

En ce qui concerne les superstructures du **bâtiment mixte et du bâtiment mixte optimisé**, on constate que la prise en compte du module D entraîne une réduction d'impact allant de 6 à 34% pour 9 indicateurs sur 12 et une augmentation d'impact de 1 à 67% pour 3 indicateurs sur 12. La plus forte diminution observée (-34%) concerne l'indicateur consommation d'eau. La plus forte augmentation (+67%) concerne la production de déchets radioactifs. Ces variations sont liées aux spécificités des procédés de recyclage de l'acier et dépendent des différences d'impact environnemental entre la production d'acier vierge et la production d'acier recyclé.

Pour la superstructure du **bâtiment béton**, les variations sont beaucoup plus faibles puisque 11 indicateurs sur les 12 étudiés montrent une variation inférieure à 10%. L'indicateur production de déchets non dangereux montre quant à lui une augmentation de 12%. Là encore, les variations sont liées aux spécificités des procédés de recyclage du béton et dépendent des différences d'impact environnemental entre la production de granulats vierges et la production de granulats recyclés.

Tableau 31 – Influence de la prise en compte du module D sur les superstructures

	Superstructure bâtiment mixte	Superstructure bâtiment béton	Superstructure bâtiment mixte optimisé
Energie primaire non renouvelable	-13%	-1%	-12%
Epuisement des ressources	-19%	0%	-18%
Consommation d'eau	-34%	3%	-32%
Pollution de l'air	-32%	-2%	-30%
Changement climatique	-14%	0%	-13%
Acidification atmosphérique	-8%	-7%	-7%
Formation d'ozone photochimique	-6%	-8%	-6%
Pollution de l'eau	1%	3%	1%
Déchets dangereux	-31%	1%	-29%
Déchets non dangereux	21%	12%	20%
Déchets inertes	-32%	-1%	-31%
Déchets radioactifs	67%	-1%	64%

Sur la base de ces éléments, il apparaît donc que la prise en compte du module D a une influence beaucoup plus grande sur les superstructures en acier que sur celle en béton. Cette influence peut être jugée globalement positive pour les superstructures en acier car 9 indicateurs sur 12 montrent une diminution des impacts. En ce qui concerne la superstructure en béton, la prise en compte du module D a une influence beaucoup plus faible et il est difficile de se prononcer sur un éventuel caractère positif ou négatif de cette dernière.

Les éléments présentés ci-dessous s'appliquent de la même manière **aux noyaux** en acier et en béton des différents bâtiments ainsi qu'à l'ensemble **superstructure + noyau**.

► **Influence de la prise en compte du module D lors de la comparaison des impacts environnementaux des différentes superstructures et différents noyaux étudiés**

Les résultats de cette analyse montrent que la prise en compte du module D a tendance à accentuer les écarts observés entre les différentes alternatives de superstructures et de noyaux étudiées et à renforcer le positionnement favorable de l'acier. Ceci est lié au fait que la prise en compte du module D contribue globalement à réduire l'impact des produits en acier alors qu'elle influence peu les impacts des produits en béton. Ainsi, on peut par exemple noter que pour le changement climatique, l'écart observé entre la superstructure et le noyau du bâtiment mixte et du bâtiment béton est de 19% sans prise en compte du module D alors qu'il est de 32% avec prise en compte du module D.

On peut donc indiquer que les conclusions tirées sur le positionnement des superstructures et des noyaux sans prise en compte du module D sont conservées lorsque ce dernier est pris en compte, avec toutefois un écart plus marqué entre les structures.

## 4.5 Mise en perspective des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux des bâtiments

Cette section permet de mettre en perspective les impacts environnementaux de la superstructure et du noyau avec les impacts environnementaux globaux des bâtiments.

### 4.5.1 Comparaison du bâtiment mixte et du bâtiment béton

Les tableaux ci-dessous présentent les impacts environnementaux du bâtiment mixte et ceux du bâtiment béton, en précisant les contributions des différents postes (superstructure, noyau, infrastructure, fondation, enveloppe, second-œuvre, exploitation, activité et déplacement des usagers).

De plus, ces tableaux présentent l'écart relatif observé au niveau des superstructures et au niveau global des bâtiments.

Tableau 32 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton – Impacts en m<sup>2</sup> par an

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Ressources	<b>Consommation de ressources énergétiques non renouvelables (Energie primaire non renouvelable) - kWh<sub>EP</sub></b>					
	Superstructure	2,83E+00	1%	2,84E+00	1%	0,1%
	Noyau	8,29E-01	0%	8,29E-01	0%	
	Fondations	1,44E+00	0%	1,44E+00	0%	
	Infrastructures	1,13E+00	0%	1,13E+00	0%	
	Enveloppe	3,23E+00	1%	3,23E+00	1%	
	Second Œuvre	2,95E+00	1%	2,95E+00	1%	
	Exploitation du bâtiment	1,51E+02	37%	1,51E+02	37%	
	Activité	1,30E+02	32%	1,30E+02	32%	
	Déplacement des usagers	1,18E+02	29%	1,18E+02	29%	
	<b>Total</b>	<b>4,11E+02</b>	<b>100%</b>	<b>4,11E+02</b>	<b>100%</b>	<b>0,0%</b>
	<b>Epuisement des ressources - kg éq Sb</b>					
	Superstructure	4,30E-03	2%	4,08E-03	2%	-5,0%
	Noyau	1,25E-03	0%	1,25E-03	0%	
	Fondations	2,34E-03	1%	2,34E-03	1%	
	Infrastructures	1,73E-03	1%	1,73E-03	1%	
	Enveloppe	4,66E-03	2%	4,66E-03	2%	
	Second Œuvre	3,10E-03	1%	3,10E-03	1%	
	Exploitation du bâtiment	2,27E-02	9%	2,27E-02	9%	
	Activité	5,59E-02	21%	5,59E-02	21%	
	Déplacement des usagers	1,71E-01	64%	1,71E-01	64%	
	<b>Total</b>	<b>2,67E-01</b>	<b>100%</b>	<b>2,67E-01</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Consommation d'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	3,26E-03	0%	4,74E-03	0%	45,4%
	Noyau	1,74E-03	0%	1,74E-03	0%	
	Fondations	3,29E-03	0%	3,29E-03	0%	
	Infrastructures	2,62E-03	0%	2,62E-03	0%	
	Enveloppe	1,76E-02	2%	1,76E-02	2%	
	Second Œuvre	4,90E-03	0%	4,90E-03	0%	
Exploitation du bâtiment	3,42E-01	29%	3,42E-01	29%		
Activité	6,93E-01	59%	6,93E-01	59%		
Déplacement des usagers	1,05E-01	9%	1,05E-01	9%		
<b>Total</b>	<b>1,17E+00</b>	<b>100%</b>	<b>1,17E+00</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>	

Tableau 33 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (suite I) – Impacts en m<sup>2</sup> par an

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Air	<b>Pollution de l'air - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	1,00E+02	2%	7,55E+01	1%	-24,7%
	Noyau	2,57E+01	0%	2,57E+01	0%	
	Fondations	2,94E+01	1%	2,94E+01	1%	
	Infrastructures	3,74E+01	1%	3,74E+01	1%	
	Enveloppe	6,97E+01	1%	6,97E+01	1%	
	Second Œuvre	3,33E+01	1%	3,33E+01	1%	
	Exploitation du bâtiment	6,88E+02	12%	6,88E+02	12%	
	Activité	1,32E+03	23%	1,32E+03	23%	
	Déplacement des usagers	3,51E+03	60%	3,51E+03	61%	
	<b>Total</b>	<b>5,81E+03</b>	<b>100%</b>	<b>5,78E+03</b>	<b>100%</b>	<b>-0,4%</b>
	<b>Changement climatique - kg éq CO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	9,45E-01	3%	1,20E+00	3%	26,5%
	Noyau	3,79E-01	1%	3,79E-01	1%	
	Fondations	3,37E-01	1%	3,37E-01	1%	
	Infrastructures	4,94E-01	1%	4,94E-01	1%	
	Enveloppe	6,16E-01	2%	6,16E-01	2%	
	Second Œuvre	4,04E-01	1%	4,04E-01	1%	
	Exploitation du bâtiment	3,45E+00	9%	3,45E+00	9%	
	Activité	4,89E+00	13%	4,89E+00	13%	
	Déplacement des usagers	2,54E+01	69%	2,54E+01	68%	
	<b>Total</b>	<b>3,69E+01</b>	<b>100%</b>	<b>3,72E+01</b>	<b>100%</b>	<b>0,7%</b>
	<b>Acidification atmosphérique - kg éq SO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	2,94E-03	2%	4,23E-03	3%	43,8%
	Noyau	1,29E-03	1%	1,29E-03	1%	
	Fondations	2,15E-03	1%	2,15E-03	1%	
	Infrastructures	1,73E-03	1%	1,73E-03	1%	
	Enveloppe	4,27E-03	3%	4,27E-03	3%	
	Second Œuvre	3,33E-03	2%	3,33E-03	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,80E-02	11%	1,80E-02	11%	
	Activité	4,98E-02	30%	4,98E-02	30%	
	Déplacement des usagers	8,06E-02	49%	8,06E-02	49%	
	<b>Total</b>	<b>1,64E-01</b>	<b>100%</b>	<b>1,65E-01</b>	<b>100%</b>	<b>0,8%</b>
	<b>Formation d'ozone photochimique - kg éq C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>					
	Superstructure	1,51E-04	1%	3,45E-04	1%	128,5%
	Noyau	9,83E-05	0%	9,83E-05	0%	
	Fondations	1,79E-04	1%	1,79E-04	1%	
	Infrastructures	1,31E-04	1%	1,31E-04	1%	
	Enveloppe	4,17E-04	2%	4,17E-04	2%	
	Second Œuvre	1,55E-03	7%	1,55E-03	6%	
	Exploitation du bâtiment	4,76E-04	2%	4,76E-04	2%	
Activité	4,02E-03	17%	4,02E-03	17%		
Déplacement des usagers	1,68E-02	70%	1,68E-02	70%		
<b>Total</b>	<b>2,38E-02</b>	<b>100%</b>	<b>2,40E-02</b>	<b>100%</b>	<b>0,8%</b>	
Eau	<b>Pollution de l'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	1,14E-01	0%	3,68E-01	0%	221,0%
	Noyau	8,64E-02	0%	8,64E-02	0%	
	Fondations	1,27E-01	0%	1,27E-01	0%	
	Infrastructures	1,22E-01	0%	1,22E-01	0%	
	Enveloppe	3,79E+02	95%	3,79E+02	95%	
	Second Œuvre	7,25E-01	0%	7,25E-01	0%	
	Exploitation du bâtiment	8,36E-01	0%	8,36E-01	0%	
	Activité	9,08E+00	2%	9,08E+00	2%	
	Déplacement des usagers	9,12E+00	2%	9,12E+00	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,99E+02</b>	<b>100%</b>	<b>3,99E+02</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>

Tableau 34 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (suite II) – Impacts en m<sup>2</sup> par an

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Déchets	<b>Déchets dangereux - kg</b>					
	Superstructure	4,37E-06	1%	1,24E-06	0%	-71,6%
	Noyau	8,28E-07	0%	8,28E-07	0%	
	Fondations	4,27E-07	0%	4,27E-07	0%	
	Infrastructures	1,42E-06	0%	1,42E-06	0%	
	Enveloppe	4,59E-06	1%	4,59E-06	1%	
	Second Œuvre	9,13E-05	30%	9,13E-05	30%	
	Exploitation du bâtiment	1,91E-06	1%	1,91E-06	1%	
	Activité	1,98E-04	64%	1,98E-04	65%	
	Déplacement des usagers	6,50E-06	2%	6,50E-06	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,09E-04</b>	<b>100%</b>	<b>3,06E-04</b>	<b>100%</b>	<b>-1,0%</b>
	<b>Déchets non dangereux - kg</b>					
	Superstructure	7,95E-06	0%	1,45E-05	0%	82,7%
	Noyau	7,14E-06	0%	7,14E-06	0%	
	Fondations	8,13E-06	0%	8,13E-06	0%	
	Infrastructures	1,27E-05	0%	1,27E-05	0%	
	Enveloppe	4,04E-05	0%	4,04E-05	0%	
	Second Œuvre	1,73E-04	2%	1,73E-04	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,39E-03	14%	1,39E-03	14%	
	Activité	6,52E-03	66%	6,52E-03	66%	
	Déplacement des usagers	1,69E-03	17%	1,69E-03	17%	
	<b>Total</b>	<b>9,84E-03</b>	<b>100%</b>	<b>9,85E-03</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>
	<b>Déchets inertes - kg</b>					
	Superstructure	1,16E-03	6%	4,83E-03	21%	316,4%
	Noyau	7,08E-04	4%	7,08E-04	3%	
	Fondations	1,41E-02	74%	1,41E-02	62%	
	Infrastructures	9,98E-04	5%	9,98E-04	4%	
	Enveloppe	1,74E-04	1%	1,74E-04	1%	
	Second Œuvre	1,00E-04	1%	1,00E-04	0%	
	Exploitation du bâtiment	2,29E-04	1%	2,29E-04	1%	
	Activité	5,27E-04	3%	5,27E-04	2%	
	Déplacement des usagers	9,29E-04	5%	9,29E-04	4%	
	<b>Total</b>	<b>1,89E-02</b>	<b>100%</b>	<b>2,26E-02</b>	<b>100%</b>	<b>19,4%</b>
	<b>Déchets radioactifs - kg</b>					
	Superstructure	6,88E-08	1%	7,63E-08	1%	10,9%
	Noyau	2,34E-08	0%	2,34E-08	0%	
	Fondations	1,07E-08	0%	1,07E-08	0%	
	Infrastructures	3,33E-08	0%	3,33E-08	0%	
	Enveloppe	3,38E-08	0%	3,38E-08	0%	
Second Œuvre	6,08E-08	1%	6,08E-08	1%		
Exploitation du bâtiment	6,57E-06	54%	6,57E-06	54%		
Activité	4,53E-06	37%	4,53E-06	37%		
Déplacement des usagers	7,62E-07	6%	7,62E-07	6%		
<b>Total</b>	<b>1,21E-05</b>	<b>100%</b>	<b>1,21E-05</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>	

Les tableaux ci-dessus montrent que la superstructure et le noyau ne représentent qu'une faible part des impacts environnementaux des bâtiments étudiés. En effet, pour tous les indicateurs sauf les déchets inertes, les contributions de la superstructure et du noyau aux impacts totaux du bâtiment sont inférieures à 4%. Pour les déchets inertes, cette contribution est de 10% pour le bâtiment mixte et de 24% pour le bâtiment béton.

De manière générale, les principaux contributeurs aux impacts environnementaux des bâtiments sont l'exploitation du bâtiment, l'activité et le déplacement des usagers. Toutefois, certains indicateurs montrent des particularités comme par exemple la pollution de l'eau pour laquelle

l'enveloppe contribue de manière importante (95%) et les déchets inertes pour lesquels les fondations contribuent à plus de 60%.

A partir de ces éléments, il apparaît que les différences d'impacts observées entre les différentes superstructures et les différents noyaux sont très réduites lorsque l'on considère les autres postes contribuant à l'impact environnemental total du bâtiment. En effet, pour tous les indicateurs sauf les déchets inertes, les écarts observés entre les bâtiments sont inférieurs à 1%.

Ainsi, il n'y a donc pas de différences significatives entre les impacts environnementaux du bâtiment mixte et ceux du bâtiment béton lorsqu'on raisonne au niveau global des bâtiments.

## 4.5.2 Comparaison du bâtiment mixte et du bâtiment mixte optimisé

Tableau 35 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé – Impacts en m<sup>2</sup> par an

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Ressources	<b>Consommation de ressources énergétiques non renouvelables (Energie primaire non renouvelable) - kWh<sub>EP</sub></b>					
	Superstructure	2,83E+00	1%	2,57E+00	1%	-9,3%
	Noyau	8,29E-01	0%	5,50E-01	0%	-33,6%
	Fondations	1,44E+00	0%	1,44E+00	0%	
	Infrastructures	1,13E+00	0%	1,13E+00	0%	
	Enveloppe	3,23E+00	1%	3,23E+00	1%	
	Second Œuvre	2,95E+00	1%	2,95E+00	1%	
	Exploitation du bâtiment	1,51E+02	37%	1,51E+02	37%	
	Activité	1,30E+02	32%	1,30E+02	32%	
	Déplacement des usagers	1,18E+02	29%	1,18E+02	29%	
	<b>Total</b>	<b>4,11E+02</b>	<b>100%</b>	<b>4,11E+02</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Epaissement des ressources - kg éq Sb</b>					
	Superstructure	4,30E-03	2%	3,92E-03	1%	-8,8%
	Noyau	1,25E-03	0%	8,01E-04	0%	-35,8%
	Fondations	2,34E-03	1%	2,34E-03	1%	
	Infrastructures	1,73E-03	1%	1,73E-03	1%	
	Enveloppe	4,66E-03	2%	4,66E-03	2%	
	Second Œuvre	3,10E-03	1%	3,10E-03	1%	
	Exploitation du bâtiment	2,27E-02	9%	2,27E-02	9%	
	Activité	5,59E-02	21%	5,59E-02	21%	
	Déplacement des usagers	1,71E-01	64%	1,71E-01	64%	
	<b>Total</b>	<b>2,67E-01</b>	<b>100%</b>	<b>2,67E-01</b>	<b>100%</b>	<b>-0,3%</b>
	<b>Consommation d'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	3,26E-03	0%	3,16E-03	0%	-3,0%
	Noyau	1,74E-03	0%	3,26E-04	0%	-81,3%
	Fondations	3,29E-03	0%	3,29E-03	0%	
	Infrastructures	2,62E-03	0%	2,62E-03	0%	
	Enveloppe	1,76E-02	2%	1,76E-02	2%	
	Second Œuvre	4,90E-03	0%	4,90E-03	0%	
	Exploitation du bâtiment	3,42E-01	29%	3,42E-01	29%	
Activité	6,93E-01	59%	6,93E-01	59%		
Déplacement des usagers	1,05E-01	9%	1,05E-01	9%		
<b>Total</b>	<b>1,17E+00</b>	<b>100%</b>	<b>1,17E+00</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>	

Tableau 36 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé – Impacts en m<sup>2</sup> par an (suite I)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Air	<b>Pollution de l'air - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	1,00E+02	2%	9,16E+01	2%	-8,7%
	Noyau	2,57E+01	0%	1,82E+01	0%	-29,0%
	Fondations	2,94E+01	1%	2,94E+01	1%	
	Infrastructures	3,74E+01	1%	3,74E+01	1%	
	Enveloppe	6,97E+01	1%	6,97E+01	1%	
	Second Œuvre	3,33E+01	1%	3,33E+01	1%	
	Exploitation du bâtiment	6,88E+02	12%	6,88E+02	12%	
	Activité	1,32E+03	23%	1,32E+03	23%	
	Déplacement des usagers	3,51E+03	60%	3,51E+03	61%	
	<b>Total</b>	<b>5,81E+03</b>	<b>100%</b>	<b>5,79E+03</b>	<b>100%</b>	<b>-0,3%</b>
	<b>Changement climatique - kg éq CO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	9,45E-01	3%	8,75E-01	2%	-7,3%
	Noyau	3,79E-01	1%	1,61E-01	0%	-57,5%
	Fondations	3,37E-01	1%	3,37E-01	1%	
	Infrastructures	4,94E-01	1%	4,94E-01	1%	
	Enveloppe	6,16E-01	2%	6,16E-01	2%	
	Second Œuvre	4,04E-01	1%	4,04E-01	1%	
	Exploitation du bâtiment	3,45E+00	9%	3,45E+00	9%	
	Activité	4,89E+00	13%	4,89E+00	13%	
	Déplacement des usagers	2,54E+01	69%	2,54E+01	69%	
	<b>Total</b>	<b>3,69E+01</b>	<b>100%</b>	<b>3,67E+01</b>	<b>100%</b>	<b>-0,8%</b>
	<b>Acidification atmosphérique - kg éq SO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	2,94E-03	2%	2,74E-03	2%	-6,8%
	Noyau	1,29E-03	1%	4,89E-04	0%	-62,2%
	Fondations	2,15E-03	1%	2,15E-03	1%	
	Infrastructures	1,73E-03	1%	1,73E-03	1%	
	Enveloppe	4,27E-03	3%	4,27E-03	3%	
	Second Œuvre	3,33E-03	2%	3,33E-03	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,80E-02	11%	1,80E-02	11%	
	Activité	4,98E-02	30%	4,98E-02	31%	
	Déplacement des usagers	8,06E-02	49%	8,06E-02	49%	
	<b>Total</b>	<b>1,64E-01</b>	<b>100%</b>	<b>1,63E-01</b>	<b>100%</b>	<b>-0,6%</b>
	<b>Formation d'ozone photochimique - kg éq C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>					
	Superstructure	1,51E-04	1%	1,45E-04	1%	-4,0%
	Noyau	9,83E-05	0%	2,06E-05	0%	-79,1%
	Fondations	1,79E-04	1%	1,79E-04	1%	
	Infrastructures	1,31E-04	1%	1,31E-04	1%	
	Enveloppe	4,17E-04	2%	4,17E-04	2%	
	Second Œuvre	1,55E-03	7%	1,55E-03	7%	
Exploitation du bâtiment	4,76E-04	2%	4,76E-04	2%		
Activité	4,02E-03	17%	4,02E-03	17%		
Déplacement des usagers	1,68E-02	70%	1,68E-02	71%		
<b>Total</b>	<b>2,38E-02</b>	<b>100%</b>	<b>2,37E-02</b>	<b>100%</b>	<b>-0,4%</b>	
Eau	<b>Pollution de l'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	1,14E-01	0%	1,11E-01	0%	-2,6%
	Noyau	8,64E-02	0%	1,30E-02	0%	-85,0%
	Fondations	1,27E-01	0%	1,27E-01	0%	
	Infrastructures	1,22E-01	0%	1,22E-01	0%	
	Enveloppe	3,79E+02	95%	3,79E+02	95%	
	Second Œuvre	7,25E-01	0%	7,25E-01	0%	
	Exploitation du bâtiment	8,36E-01	0%	8,36E-01	0%	
	Activité	9,08E+00	2%	9,08E+00	2%	
	Déplacement des usagers	9,12E+00	2%	9,12E+00	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,99E+02</b>	<b>100%</b>	<b>3,99E+02</b>	<b>100%</b>	<b>0,0%</b>

Tableau 37 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé – Impacts en m<sup>2</sup> par an (suite II)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Déchets	<b>Déchets dangereux - kg</b>					
	Superstructure	4,37E-06	1%	3,97E-06	1%	-9,3%
	Noyau	8,28E-07	0%	7,90E-07	0%	-4,5%
	Fondations	4,27E-07	0%	4,27E-07	0%	
	Infrastructures	1,42E-06	0%	1,42E-06	0%	
	Enveloppe	4,59E-06	1%	4,59E-06	1%	
	Second Œuvre	9,13E-05	30%	9,13E-05	30%	
	Exploitation du bâtiment	1,91E-06	1%	1,91E-06	1%	
	Activité	1,98E-04	64%	1,98E-04	64%	
	Déplacement des usagers	6,50E-06	2%	6,50E-06	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,09E-04</b>	<b>100%</b>	<b>3,09E-04</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Déchets non dangereux - kg</b>					
	Superstructure	7,95E-06	0%	7,84E-06	0%	-1,4%
	Noyau	7,14E-06	0%	4,51E-07	0%	-93,7%
	Fondations	8,13E-06	0%	8,13E-06	0%	
	Infrastructures	1,27E-05	0%	1,27E-05	0%	
	Enveloppe	4,04E-05	0%	4,04E-05	0%	
	Second Œuvre	1,73E-04	2%	1,73E-04	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,39E-03	14%	1,39E-03	14%	
	Activité	6,52E-03	66%	6,52E-03	66%	
	Déplacement des usagers	1,69E-03	17%	1,69E-03	17%	
	<b>Total</b>	<b>9,84E-03</b>	<b>100%</b>	<b>9,84E-03</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Déchets inertes - kg</b>					
	Superstructure	1,16E-03	6%	1,16E-03	6%	0,0%
	Noyau	7,08E-04	4%	7,44E-05	0%	-89,5%
	Fondations	1,41E-02	74%	1,41E-02	77%	
	Infrastructures	9,98E-04	5%	9,98E-04	5%	
	Enveloppe	1,74E-04	1%	1,74E-04	1%	
	Second Œuvre	1,00E-04	1%	1,00E-04	1%	
	Exploitation du bâtiment	2,29E-04	1%	2,29E-04	1%	
	Activité	5,27E-04	3%	5,27E-04	3%	
	Déplacement des usagers	9,29E-04	5%	9,29E-04	5%	
	<b>Total</b>	<b>1,89E-02</b>	<b>100%</b>	<b>1,83E-02</b>	<b>100%</b>	<b>-3,3%</b>
	<b>Déchets radioactifs - kg</b>					
	Superstructure	6,88E-08	1%	6,71E-08	1%	-2,5%
	Noyau	2,34E-08	0%	6,00E-09	0%	-74,4%
	Fondations	1,07E-08	0%	1,07E-08	0%	
Infrastructures	3,33E-08	0%	3,33E-08	0%		
Enveloppe	3,38E-08	0%	3,38E-08	0%		
Second Œuvre	6,08E-08	1%	6,08E-08	1%		
Exploitation du bâtiment	6,57E-06	54%	6,57E-06	54%		
Activité	4,53E-06	37%	4,53E-06	38%		
Déplacement des usagers	7,62E-07	6%	7,62E-07	6%		
<b>Total</b>	<b>1,21E-05</b>	<b>100%</b>	<b>1,21E-05</b>	<b>100%</b>	<b>-0,2%</b>	

Comme lors de la comparaison précédente, on constate que la superstructure et le noyau ne représentent qu'une faible part des impacts environnementaux des bâtiments étudiés (impacts inférieurs à 10% pour les déchets inertes, impacts inférieurs à 4% pour les autres indicateurs).

De ce fait, il apparaît que les différences d'impacts observées entre les superstructures et les noyaux sont très réduites (écarts inférieurs à 4% pour les déchets inertes, écarts inférieurs à 1% pour les autres indicateurs) lorsque l'on considère les autres postes contribuant à l'impact environnemental total du bâtiment. Ainsi, il n'y a donc pas de différences significatives entre les impacts environnementaux du bâtiment mixte et ceux du bâtiment mixte optimisé.

### 4.5.3 Conclusion sur la mise en perspective des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux des bâtiments

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus lors des deux comparaisons précédentes, avec le détail des contributions par poste. Les valeurs des indicateurs d'impacts du bâtiment mixte sont normées à 1, ce bâtiment étant le dénominateur commun des deux comparaisons.

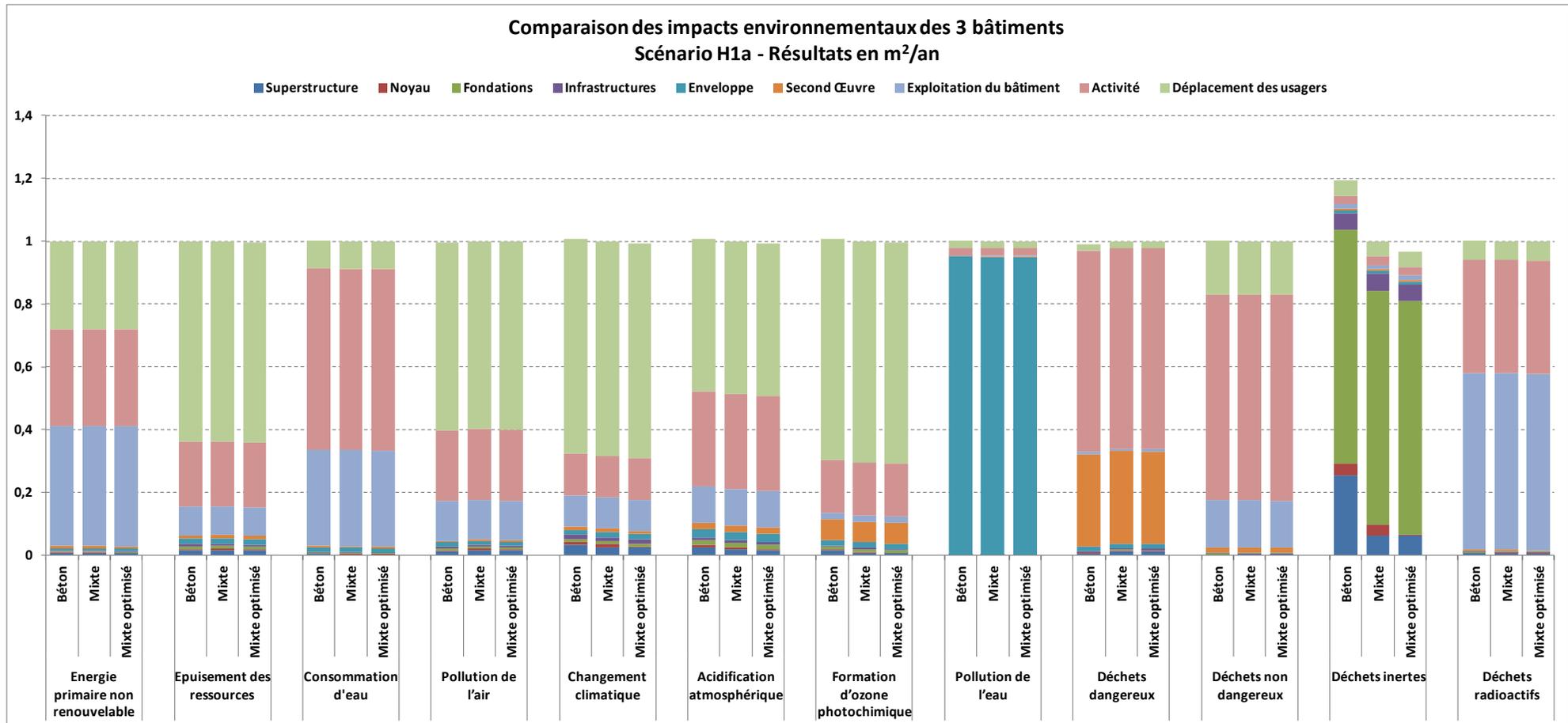


Figure 23 – Comparaison des impacts environnementaux des bâtiments

► **Conclusion sur la mise en perspective des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux des bâtiments**

Les résultats précédents montrent que la contribution des différents postes aux impacts environnementaux du bâtiment est globalement similaire quel que soit le bâtiment étudié. Ceci est lié d'une part au fait que les superstructures et les noyaux ne représentent pas des contributeurs importants aux impacts des bâtiments (hormis pour l'indicateur déchets inertes pour lequel la contribution est comprise entre 6 et 24% selon les bâtiments) et d'autre part au fait que les impacts en valeur absolue des autres postes sont identiques pour tous les bâtiments étudiés.

En se basant sur le cas du bâtiment mixte, qui présente donc une répartition des impacts globalement similaire à celle des autres bâtiments, le tableau ci-dessous récapitule la contribution des différents postes pour les différents indicateurs d'impact analysés.

Pour faciliter la lecture du tableau, les impacts inférieurs à 25% sont présentés en gris et les impacts supérieurs à 50% sont présentés en gras.

**Tableau 38 – Contributions des différents postes aux impacts environnementaux du bâtiment mixte**

Indicateur	Super-structure	Noyau	Fondations	Infra-structures	Enveloppe	Second Œuvre	Exploitation du bâtiment	Activité	Déplacement des usagers
Energie primaire non renouvelable	1%	0%	0%	0%	1%	1%	37%	32%	29%
Epuisement des ressources	2%	0%	1%	1%	2%	1%	9%	21%	<b>64%</b>
Consommation d'eau	0%	0%	0%	0%	2%	0%	29%	<b>59%</b>	9%
Pollution de l'air	2%	0%	1%	1%	1%	1%	12%	23%	<b>60%</b>
Changement climatique	3%	1%	1%	1%	2%	1%	9%	13%	<b>69%</b>
Acidification atmosphérique	2%	1%	1%	1%	3%	2%	11%	30%	49%
Formation d'ozone photochimique	1%	0%	1%	1%	2%	7%	2%	17%	<b>70%</b>
Pollution de l'eau	0%	0%	0%	0%	<b>95%</b>	0%	0%	2%	2%
Déchets dangereux	1%	0%	0%	0%	1%	30%	1%	<b>64%</b>	2%
Déchets non dangereux	0%	0%	0%	0%	0%	2%	14%	<b>66%</b>	17%
Déchets inertes	6%	4%	<b>74%</b>	5%	1%	1%	1%	3%	5%
Déchets radioactifs	1%	0%	0%	0%	0%	1%	<b>54%</b>	37%	6%

Ce tableau montre que les postes qui contribuent le plus aux impacts environnementaux des bâtiments étudiés sont par ordre décroissant d'importance : le déplacement des usagers, l'activité du bâtiment, l'exploitation du bâtiment, la structure dans sa globalité (superstructure, noyau, infrastructure et fondation), l'enveloppe et le second œuvre.

En effet, il apparaît que le **déplacement des usagers** contribue de manière importante aux impacts pour les indicateurs liés aux émissions dans l'air et à l'épuisement des ressources (entre 49% et 71% selon les indicateurs).

Pour **l'activité**, elle contribue de manière significative à l'indicateur déchets non dangereux en raison de l'élimination des déchets de papier en centre d'enfouissement et à l'indicateur consommation d'eau en raison de la consommation d'eau des agents du bâtiment. De plus, elle contribue de manière significative à l'indicateur déchets dangereux en raison des ICV utilisés pour la production de papier et d'eau<sup>37</sup> et du faible impact de l'ensemble des postes sur cet indicateur. Enfin il est important de noter que l'activité contribue de manière non négligeable à de nombreux indicateurs et en particulier aux indicateurs liés à la consommation d'électricité (énergie primaire non renouvelable et déchets radioactifs) en raison du parc informatique.

En ce qui concerne **l'exploitation du bâtiment**, les principales contributions sont liées à la consommation d'énergie en lien avec la RT 2012. Les indicateurs concernés sont similaires à ceux concernés par la consommation d'électricité de l'activité. De plus, pour la zone H3 (voir annexe 6.9), la consommation d'énergie liée à la RT étant plus forte que pour la zone H1a, la contribution de l'exploitation à l'ensemble des indicateurs étudiés est plus importante.

Pour la **structure dans son ensemble** (superstructure, noyau, infrastructure et fondation), elle contribue significativement à l'indicateur déchets inertes car elle représente la partie la plus lourde des bâtiments.

Enfin, il est à noter que **l'enveloppe** contribue de manière significative (95%) à l'indicateur Pollution de l'eau en raison des émissions de composés chlorés non spécifiés dans l'eau lors de la production des doubles vitrages utilisés dans la façade.

Par ailleurs, en parallèle de cette analyse sur les contributeurs, il convient de souligner que ce tableau et les éléments précédents montrent que la superstructure et le noyau ne représentent qu'une faible part des impacts environnementaux des bâtiments étudiés (impacts inférieurs à 24% pour les déchets inertes, impacts inférieurs à 4% pour tous les autres indicateurs).

De ce fait, les différences d'impacts observées entre les différentes superstructures et les différents noyaux sont très réduites lorsque l'on se place à l'échelle globale du bâtiment. En effet, pour tous les indicateurs sauf les déchets inertes, les écarts observés entre les bâtiments sont inférieurs à 1%. Dans le cas des déchets inertes, les écarts sont de l'ordre de 20% entre le bâtiment béton d'une part et les bâtiments mixte et mixte optimisé d'autre part.

Ainsi, hormis pour l'indicateur déchets inertes, on peut dire qu'il n'y a donc pas de différences significatives entre le bâtiment béton, le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé lorsque l'on se place à l'échelle globale du bâtiment.

---

<sup>37</sup> Papier : Paper, woodfree, uncoated, at regional storage/RER  
Eau : Tap water, at user/RER

## 4.6 Limites de l'étude

Cette étude présente différentes limites décrites dans les paragraphes ci-dessous.

### 4.6.1 Limite concernant la qualité des données utilisées

Les données prises en compte pour les contributeurs chantier de construction, autres consommations d'énergie liées au bâti, consommations et rejets liés à l'activité (énergie, matière, eau, déchet) et déplacement des usagers sont des données génériques. Même si elles sont considérées comme les données disponibles les plus fiables à l'heure actuelle, elles ne constituent pas des données spécifiques aux bâtiments étudiés. Elles permettent donc d'obtenir une estimation de la qualité environnementale des bâtiments étudiés en conformité avec la norme XP P 01-020-3 mais sont susceptibles de varier, selon l'activité précise qui sera abritée dans le bâtiment. C'est par exemple le cas des données sur la consommation d'énergie d'activité qui est susceptible de varier entre une activité de développement informatique et une activité administrative par exemple.

Néanmoins, il est important de rappeler que pour ces paramètres, des données similaires ont été utilisées pour les différentes alternatives, ce qui limite le biais sur les résultats comparatifs.

### 4.6.2 Limite concernant l'évolution de l'activité sur la durée de vie des bâtiments

Il est considéré que les bâtiments analysés dans cette étude abriteront uniquement une activité de bureaux. Or, sur une durée de vie de 100 ans, il est possible que l'activité au sein de ces derniers évolue. Cette évolution entraînerait des consommations d'énergies mais également des consommations d'autres ressources (selon l'activité) différentes de celles prises en compte dans cette étude.

Comme il est très difficile d'établir un scénario prospectif sur ce que sera l'activité au sein des bâtiments pendant les 100 prochaines années, aucune analyse n'a été réalisée sur ce point. Les résultats de cette étude sont donc à considérer au regard de cette limite.

### 4.6.3 Limite concernant l'évolution des matériaux et technologies sur la durée de vie des bâtiments

Sur la durée de vie des bâtiments (100 ans), des évolutions seront observées dans les technologies de production des produits et matériaux de construction (meilleure efficacité énergétique, nouveaux matériaux,...) mais également dans les technologies et scénarios de traitement des déchets.

Par ailleurs, des évolutions seront également observées sur les systèmes de production d'énergie. Ce paramètre est susceptible d'influencer les résultats de cette étude sur deux points :

- les impacts environnementaux associés à l'énergie utilisée sur le cycle de vie des produits et matériaux de construction,
- les impacts environnementaux associés à l'énergie utilisée en phase opérationnelle du bâtiment.

Ces évolutions n'ont pas pu être prises en compte dans la présente étude et cela constitue donc une limite.

Néanmoins, il est important de rappeler que les matériaux différenciant entre les bâtiments ne sont pas renouvelés pour la durée de vie considérée. Les évolutions potentielles présentées précédemment n'auront donc pas d'influence sur les éléments différenciant et n'entraîneront pas de biais dans la comparaison des différents bâtiments.

#### **4.6.4 Limite concernant la cohérence méthodologique des données environnementales utilisées**

Cette étude est principalement basée sur des données issues de FDES et de modules d'informations réalisés selon la norme NF P 01-010. Même si cette norme offre un cadre méthodologique global pour l'évaluation environnementale des produits et matériaux de construction, elle laisse néanmoins un certain degré de liberté sur certains aspects méthodologiques tels que les règles d'affectation ou la prise en compte de la fin de vie des produits.

Les données utilisées (et les choix méthodologiques associés) n'ont pas été harmonisés. Par conséquent, il n'est pas possible de garantir la cohérence méthodologique des sources de données environnementales utilisées.

Par exemple, on peut noter que d'une manière générale, les FDES de produits en béton et les FDES de produits en acier présentent une incohérence en ce qui concerne les règles d'affectation des laitiers de haut fourneau.

Les laitiers de haut fourneau, qui sont des co-produits de l'acier, sont valorisés dans diverses industries et en particulier l'industrie cimentière qui les utilise comme matière première pour la production de certains ciments. Toutefois, dans les données environnementales relatives à ces matériaux (i.e. l'acier et le ciment), les laitiers ne sont pas pris en compte de la même manière. En effet, l'industrie sidérurgique considère les laitiers comme des co-produits et alloue donc une partie de l'impact de la production de l'acier à ces laitiers. A l'inverse, l'industrie cimentière les considère comme déchets et ne leur attribue pas d'impact environnemental.

Cependant, dans le cadre de cette étude, aucun ciment à base de laitiers n'est utilisé dans les bâtiments, ce point n'a donc pas d'influence sur les résultats. En complément, les ciments aux laitiers étant principalement utilisés dans les fondations des bâtiments, cette limite n'aurait pas eu d'influence sur la comparaison des bâtiments car les fondations de ces derniers ont été définies de manière identique.

#### **4.6.5 Limite concernant l'évaluation des incertitudes**

En plus des limites présentées ci-dessus, les résultats de cette étude présentent des incertitudes liées aux différents aspects suivants :

- incertitudes sur la modélisation du bâtiment (métrés),

- incertitudes sur les consommations d'énergie (calculs thermiques spécifiques et autres données génériques utilisées),
- incertitudes sur les hypothèses générales (durée de vie du bâtiment, nombre de remplacement des produits et matériaux de construction...),
- incertitudes sur les sources de données environnementales utilisées (FDES),
- incertitudes sur les modèles de caractérisation des impacts environnementaux.

La quantification globale de l'incertitude nécessiterait de connaître les incertitudes spécifiques associés aux différents aspects mentionnés ci-dessus et de propager ces incertitudes dans les différentes étapes de calcul aboutissant à l'évaluation environnementale des bâtiments.

Compte tenu du fait que les incertitudes associées aux données environnementales utilisées (FDES) ne sont pas disponibles et que les autres incertitudes spécifiques sont difficilement estimables, un tel calcul d'incertitude n'est pas faisable.

Ce point constitue donc une limite pour la présente étude. L'influence de cette dernière est néanmoins limitée par la prise en compte des incertitudes sur les modèles de caractérisation (4.1).

#### 4.6.6 Limites concernant les caractéristiques sanitaires et de confort

Les caractéristiques sanitaires et de confort des bâtiments font partie intégrante de la norme NF P 01-020. Les difficultés pour synthétiser les informations au niveau des produits et de les extrapoler au niveau des bâtiments (par exemple pour des phénomènes d'interactions entre les produits) font que ces caractéristiques n'ont pas pu être prises en compte dans cette étude. Ce point constitue donc une limite de l'étude. Pour rappel, les caractéristiques sanitaires de la norme NF P 01-020 concernent : la qualité sanitaire des espaces, la qualité sanitaire de l'air, la qualité sanitaire de l'eau.

#### 4.6.7 Conclusion sur les limites de l'étude

Les limites présentées ci-dessus entraînent des incertitudes sur les résultats de l'étude.

Néanmoins, il est important de mentionner que ces limites portent majoritairement sur les éléments non différenciant des bâtiments. De ce fait, on peut indiquer que ces limites ont une faible influence sur les résultats obtenus en ce qui concerne la comparaison des superstructures et noyaux des différents bâtiments.

Pour ce qui est de la mise en perspective des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux des bâtiments, les limites mentionnées ci-dessus entraînent des incertitudes plus grandes sans toutefois remettre en cause les grandes tendances observées.

Ainsi, on peut donc indiquer que :

- les limites identifiées ne remettent pas en cause les conclusions de l'étude,
- les résultats obtenus permettent de répondre aux objectifs de l'étude.

## Chapitre 5 : Conclusion

En conclusion, cette étude sur la qualité environnementale des bâtiments tertiaires, menée en conformité avec la norme française XP P 01-020-3, a permis dans un premier temps :

- de comparer les impacts environnementaux des superstructures et noyaux d'un bâtiment mixte et d'un bâtiment béton, qui sont les systèmes constructifs les plus répandus en France pour les immeubles de bureaux,
- d'évaluer les gains environnementaux potentiels associés à une démarche d'éco-conception de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte,
- et d'investiguer la problématique du recyclage en fournissant des résultats sur la prise en compte des bénéfices et charges au-delà des frontières du système, nouveauté majeure introduite dans les nouvelles normes européennes NF EN 15804 et NF EN 15978 sur l'évaluation des impacts environnementaux des produits et matériaux de construction et des bâtiments.

Dans un second temps, cette étude a permis :

- de mettre en perspective les impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux globaux des bâtiments.

La comparaison entre la superstructure et le noyau du bâtiment mixte et la superstructure et le noyau du bâtiment en béton a montré qu'il existait des différences significatives pour 7 des 12 indicateurs étudiés. Parmi ces 7 indicateurs, 6 sont en faveur de la structure du bâtiment mixte et 1 est en faveur de la structure du bâtiment béton. Pour les autres indicateurs analysés, l'écart observé est inférieur au niveau d'incertitude estimé et est donc jugé non significatif. De plus, il faut noter que les écarts observés sur cet ensemble sont entièrement dus aux superstructures, ces deux bâtiments ayant des noyaux similaires.

La comparaison entre la superstructure et le noyau du bâtiment mixte et la superstructure et le noyau du bâtiment mixte optimisé a permis d'évaluer les gains potentiels associés à une démarche d'éco-conception de ces éléments. Les résultats de l'étude montrent que l'optimisation de ces éléments permet une réduction des impacts environnementaux comprise entre 8 et 45% selon les indicateurs.

En complément, une analyse de sensibilité a été réalisée afin d'évaluer l'influence du mode de prise en compte du recyclage sur les résultats obtenus. Cette analyse a montré que la prise en compte du module D avait tendance à accentuer les écarts observés entre les superstructures et noyaux étudiés et à renforcer le positionnement favorable de l'acier. Ceci est lié au fait que la prise en compte du module D contribue globalement à réduire l'impact des produits en acier alors qu'elle influence peu les impacts des produits en béton. Ainsi, cette analyse de sensibilité a montré que les conclusions tirées sur le positionnement des superstructures et des noyaux sans prise en compte du module D de la norme NF EN 15804 étaient conservées lorsque ce dernier est pris en compte, avec toutefois un écart plus marqué entre les structures.

La mise en perspective des impacts environnementaux de la superstructure et du noyau avec les impacts environnementaux globaux des bâtiments a été réalisée en prenant en compte les 9 postes que sont la superstructure, le noyau, les fondations, les infrastructures, l'enveloppe, le second œuvre, l'exploitation du bâtiment, l'activité du bâtiment et le déplacement des usagers. Cette mise en perspective a montré que la superstructure et le noyau ne représentent qu'une faible part des impacts environnementaux des bâtiments, notamment en comparaison des impacts liés aux déplacements des usagers, à l'exploitation et à l'activité des bâtiments. En effet, pour tous les indicateurs sauf les déchets inertes, la contribution de la superstructure et du noyau aux impacts totaux du bâtiment est inférieure à 4%. Néanmoins, pour les déchets inertes, cette contribution est respectivement de 24%, 10% et 6% pour le bâtiment béton, le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé.

Par ailleurs, on peut noter que les résultats observés en zone climatique H<sub>3</sub> (présentés en annexe) sont similaires à ceux observés en zone H<sub>1a</sub> (présentés dans le corps du rapport). Toutefois, la consommation d'énergie nécessaire à l'exploitation du bâtiment (et entrant dans le cadre de la RT 2012) étant plus importante en zone H<sub>3</sub>, la contribution de cette dernière aux impacts totaux du bâtiment est donc plus importante en zone H<sub>3</sub>.

Enfin, cette mise en perspective montre que les différences d'impacts observées entre les différentes superstructures et les différents noyaux sont très réduites lorsque l'on se place à l'échelle globale du bâtiment. En effet, pour tous les indicateurs sauf les déchets inertes, les écarts observés entre les bâtiments sont inférieurs à 1%. Dans le cas des déchets inertes, les écarts sont de l'ordre de 20% entre le bâtiment béton d'une part et les bâtiments mixte et mixte optimisé d'autre part.

Ainsi, hormis pour l'indicateur déchets inertes, cette étude montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre le bâtiment béton, le bâtiment mixte et le bâtiment mixte optimisé lorsque l'on se place à l'échelle globale du bâtiment.

# Chapitre 6 : Annexes

## 6.1 Annexe 1 : Récapitulatif des données utilisées

Pour les éléments indiqués en gras dans les tableaux ci-dessous, des informations complémentaires sont données à la suite des tableaux.

Tableau 39 – Récapitulatif des données utilisées (Partie 1)

DESCRIPTION ELEMENTS				MODELISATION	Calcul des quantités								
Grande section	Poste	Elément	Unité	FDES/ICV	Quantité initiale bâtiment mixte	Quantité initiale bâtiment béton	Quantité initiale bâtiment mixte optimisé	Unité quantité	Nbre total de produit (selon XP P 01-020-3)	Quantité finale bâtiment mixte	Quantité finale bâtiment béton	Quantité finale bâtiment mixte optimisé	
<b>Fonction.</b>	<b>Energie liée au bâti</b>	Electricité consommée (zone H1a) - RT	kWh	<b>Electricité moyenne tension FR RTE 2011</b>	<b>38523660</b>	38523660	38523660	kWh		38523660	38523660	38523660	
		Electricité consommée - Non RT	kWh	Electricité moyenne tension FR RTE 2011	1883319	1883319	1883319	kWh		1883319	1883319	1883319	
<b>Activité</b>	<b>Energie liée à l'activité</b>	Electricité consommée	kWh	Electricité moyenne tension FR RTE 2011	26136000	26136000	26136000	kWh		26136000	26136000	26136000	
	<b>Matière liée à l'activité</b>	Papier consommé	kg	Paper, woodfree, uncoated, at regional storage/RER	4245000	4245000	4245000	kg		4245000	4245000	4245000	
	<b>Eau liée à l'activité</b>	Eau consommée	m <sup>3</sup>	Tap water, at user/RER	137991	137991	137991	m <sup>3</sup>		137991	137991	137991	
	<b>Traitement des déchets</b>	Papier rejeté	kg	Disposal, paper, 11.2% water, to sanitary landfill/CH	4245000	4245000	4245000	kg		4245000	4245000	4245000	
	<b>Traitement des déchets</b>	Eau rejetée	L	Eau: Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3/CH	137991	137991	137991	L		137991	137991	137991	
<b>Structure</b>	<b>Terrassement et fondations (+ Cuvette ascenseur)</b>	Terrassement (volume de terre déplacée)	m <sup>3</sup>	<b>Production et combustion du diesel pour la machine</b>	18144	18144	18144	kg		18144	18144	18144	
		Evacuation des excédents	m <sup>3</sup>	Prod. et comb. du diesel pour le transport / Enfouis. inerte	12035	12035	12035	t		12035	12035	12035	
		Gros béton et béton de propreté C16/20 (supposé)	m <sup>3</sup>	FDES Béton C16 X0 Béton de propreté	42	42	42	m <sup>3</sup>	1	42	42	42	
		Béton C30/37, dont :	m <sup>3</sup>										
		<i>Massifs, semelles filantes et liaisons sismiques</i>	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 XC2 Fondations	221	221	221	m <sup>3</sup>	1	221	221	221	
		<i>Radier et dalles</i>	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 XC1 Dallage sur terre-plein	58	58	58	m <sup>3</sup>	1	58	58	58	
		<i>Parois</i>	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 Murs	5	5	5	m <sup>3</sup>	1	5	5	5	
		Acier à béton (Armatures)	kg	Modélisation BIO avec ICV WSA (REBARS)	22289	22289	22289	kg	1	22289	22289	22289	
		Cuvelage intérieur cuvette avec enduit étanche type SIKA	m <sup>2</sup>	FDES SikaTop 145 Cuvelage	36	36	36	m <sup>2</sup>	2	72	72	72	
		<b>Structure</b>	Couche drainante (Granulats) (h = 40 cm)		m <sup>2</sup>	Module d'informations UNPG granulats issus de roches massives	535	535	535	t	1	535	535
	Hérisson (GNT 0/31,5) (h = 15 cm)			m <sup>2</sup>	Mélange 50/50 des Modules d'inf. de l'UNPG (massifs/meubles)	215	215	215	t	1	215	215	215
	Réglage (Sable) (h = 2 cm)			m <sup>2</sup>	Module d'informations UNPG granulats issus de roches meubles	35	35	35	t	1	35	35	35
	Polyane		m <sup>2</sup>	<b>Négligé</b>									
	Béton C30/37, dont :		m <sup>3</sup>										
	<b>Infrastructure</b>		<i>Dallage sur terre plein</i>	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 XC1 Dallage sur terre-plein	124	124	124	m <sup>3</sup>	1	124	124	124
			<i>Poutres</i>	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 XC1 Poutres	29	29	29	m <sup>3</sup>	1	29	29	29
			<i>Poteaux en sailli de voile intérieurs</i>	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 Murs	248	248	248	m <sup>3</sup>	1	248	248	248
			<i>Voiles extérieurs</i>	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 Murs extérieurs	249	249	249	m <sup>3</sup>	1	249	249	249
			<i>Dalles et rampe d'accès</i>	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 XC1 Planchers	425	425	425	m <sup>3</sup>	1	425	425	425
		Escaliers	m <sup>3</sup>	<b>FDES Béton C30 XC1 Poutres</b>	<b>14</b>	14	14	m <sup>3</sup>	1	14	14	14	
		Béton C40/50	m <sup>3</sup>	FDES Béton C40 XC1 Poteaux	16	16	16	m <sup>3</sup>	1	16	16	16	
		Acier à béton (Armatures)	kg	Modélisation BIO avec ICV WSA (REBARS)	78890	78890	78890	kg	1	78890	78890	78890	

Tableau 40 – Récapitulatif des données utilisées (Partie 2)

Grande section	DESCRIPTION ELEMENTS			MODELISATION	Calcul des quantités								
	Poste	Elément	Unité		FDES/ICV	Quantité initiale bâtiment mixte	Quantité initiale bâtiment béton	Quantité initiale bâtiment mixte optimisé	Unité quantité	Nbre total de produit (selon XP P 01-020-3)	Quantité finale bâtiment mixte	Quantité finale bâtiment béton	Quantité finale bâtiment mixte optimisé
Structure	Noyau Béton	Béton C30/37 dont	m <sup>3</sup>										
			Voiles	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 XC1 Murs	676	676	676	m3	1	676	676	
			Dalles	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 XC1 Planchers	101	101	101	m3	1	101	101	
			Escaliers	m <sup>3</sup>	<b>FDES Béton C30 XC1 Poutres</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	m3	<b>1</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	
	Noyau Acier	Acier à béton (Armatures)	kg	Modélisation BIO avec ICV WSA (REBARS)	44158	44158	44158	kg	1	44158	44158		
		Acier Poteaux et Poutres	kg	FDES Poutrelle			57423	kg	1				57423
		Acier diagonales	kg	FDES Poutrelle			18039	kg	1				18039
		Plancher collaborant	m <sup>2</sup>	<b>DETAILS SOUS LE TABLEAU</b>			252	m2	1				252
		Escaliers	m <sup>3</sup>	<b>FDES Béton C30 XC1 Poutres</b>			56	m3	1				56
		Acier Assemblage	kg	FDES Poutrelle			6037	kg	1				6037
	Superstructure MIXTE (ACIER) - Hors Noyau	Acier Poteaux et Poutres	kg	FDES Poutrelle	239907			kg	1	239907			
		Plancher collaborant	m <sup>2</sup>	<b>DETAILS SOUS LE TABLEAU</b>	8280			m2	1	8280			
		Acier Assemblage	kg	<b>FDES Poutrelle</b>	14994			kg	1	14994			
	Superstructure BETON - Hors noyau	Béton C40/50 - Poteaux	m <sup>3</sup>	FDES Béton C40 XC1 Poteaux		136		m3	1			136	
		Béton C30/37 - Poutres et acrotères	m <sup>3</sup>	FDES Béton C30 XC1 Poutres		344		m3	1			344	
		DAP 24+9	m <sup>2</sup>	<b>DETAILS SOUS LE TABLEAU</b>		3425		m2	1			3425	
		DAP 28+9	m <sup>2</sup>	<b>DETAILS SOUS LE TABLEAU</b>		4855		m2	1			4855	
		Acier à béton (Armatures)	kg	Modélisation BIO avec ICV WSA (REBARS)		59097		kg	1			59097	
	Superstructure MIXTE OPTIMISE (Acier) - Hors noyau	Acier Poteaux et Poutres	kg	FDES Poutrelle			89369	kg	1				89369
		Acier Solives	kg	FDES Poutrelle			107750	kg	1				107750
Plancher collaborant		m <sup>2</sup>	<b>DETAILS SOUS LE TABLEAU</b>			8280	m2	1				8280	
Acier Assemblage		kg	<b>FDES Poutrelle</b>			11827	kg	1				11827	
Facade	Facade rideau - Type 1-1	m <sup>2</sup>	FDES Facade Grille Technal Géode 50 % surface transparente	3734	3734	3734	m2	3	11202	11202	11202		
	Facade rideau - Type 1-2	m <sup>2</sup>	FDES Facade Grille Technal Géode 75 % surface transparente	104	104	104	m2	3	312	312	312		
	Isolant - Partie opaque	m <sup>2</sup>	FDES Knauf Therm ITEX Th38 SE 80 mm	1587	1587	1587	m2	2	3175	3175	3175		
	Carreau plâtre - Partie opaque	m <sup>2</sup>	<b>FDES Plaque de plâtre Pregyploc Standard BA 13</b>	1587	1587	1587	m2	2	3175	3175	3175		
	Protection solaire	m <sup>2</sup>	<b>FDES textile enduit aujourd'hui pour stores</b>	1829	1829	1829	m2	7	12803	12803	12803		
		Stores intérieures de protection solaire											
Second œuvre	Isolation murs intérieurs sur locaux non chauffés	m <sup>2</sup>	FDES Panneau de laine de verre Calibel épaisseur 10+100mm	144	144	144	m2	2	288	288	288		
	Isolation planchers hauts	m <sup>2</sup>	FDES ISOVER EPSITOIT 20 e = 250 mm (épaisseur corrigée)	966	966	966	m2	2	1932	1932	1932		
	Isolation rapportée sous dalle	m <sup>2</sup>	FDES Fibrastroc Clarité Th33 Coupe-feu 115 mm (épais. corrigée)	828	828	828	m2	2	1656	1656	1656		
	Porte d'entrée	m <sup>2</sup>	<b>Pas de FDES correspondante --&gt; Négligé</b>	24	24	24	m2	-	-	-	-	-	
	Faux plafonds (bureaux et salles de réunions)	m <sup>2</sup>	FDES Ecophon Master A d'épaisseur 40 mm	4189	4189	4189	m2	2	8378	8378	8378		
	Faux plafonds (circulations et sanitaires)	m <sup>2</sup>	FDES Plafond Sahara (e = 15 - 17 mm)	1516	1516	1516	m2	2	3032	3032	3032		
	Parois intérieures	m <sup>2</sup>	FDES SNFA Cloison vitrée amovible ou démontable	2681	2681	2681	m2	2	5362	5362	5362		
	Portes intérieures (sanitaires)	m <sup>2</sup>	FDES Blocfer Portes âme pleine	16	16	16	u	2	32	32	32		
	Portes coupe-feu (ascenseurs)	m <sup>2</sup>	FDES Blocfer Portes coupe-feu	8	8	8	u	2	16	16	16		
		Portes coupe-feu 90 min											
Dép. des usagers	Transport en commun	pkm	Transport, metropolitan train, SBB mix/CH U	8940634	8940634	8940634	pkm		8940634	8940634	8940634		
	Voiture/moto	pkm	Transport, passenger car, petrol, fleet average 2010/RER U	123298140	123298140	123298140	pkm		123298140	123298140	123298140		

► Informations complémentaires sur les données utilisées

- Electricité consommée RT pour la zone H3 : 41494 ,39 MWh
- Production et combustion du diesel pour la machine renseigné en kg de carburant consommés
- Pas de FDES disponible pour le film polyane. La quantité étant faible et cet élément étant non différenciant, il est négligé.
- Les escaliers sont modélisés par la FDES poutre, qui est celle qui s'en rapproche le plus en termes de coffrages. D'après une estimation d'E2C, 3,5 m<sup>3</sup> de béton sont nécessaires par escalier par étage (2 escaliers et 2 étages en infrastructures, 2 escaliers et 8 étages en superstructures)
- Les assemblages sont modélisés comme les poutrelles (hypothèse BIO IS)
- Pas de FDES sur INIES pour le XPS, modélisé par de la laine de verre

Tableau 41 – Récapitulatif des données utilisées – Focus sur les planchers collaborants

Pour 1 m <sup>2</sup> de plancher collaborant				
Elément	Unité	FDES/ICV	Unité	Quantité
Plancher collaborant	m2	-	m2	1
<i>Profil acier pour plancher collaborant</i>	kg	Modélisation BIO avec ICV WSA (HDG)	kg	8,53
<i>Béton dans les bacs collaborants</i>	m3	FDES Béton C30 XC1 Planchers	m3	0,12
<i>Acier à béton (armatures)</i>	kg	Modélisation BIO avec ICV WSA (REBARS)	kg	2

- Les valeurs pour la quantité de profil acier pour plancher collaborant et pour la quantité de béton sont issues des informations relatives au Cofraplus 6o.
- La quantité d'acier à béton est issue de la FDES *plancher collaborant acier/béton*.

Tableau 42 – Récapitulatif des données utilisées – Focus sur les Dalles Alvéolaires en béton Précontraint (e = 24 cm)

Pour 1 m <sup>2</sup> de DAP 24+9				
Elément	Unité	FDES/ICV	Unité	Quantité
DAP 24+9	m2	-	m2	1
<i>DAP 24</i>	m2	FDES Dalle alvéolée en béton précontraint (e=24 cm)	m2	1,00
<i>Dalle de compression</i>	m3	FDES Béton C30 XC1 Planchers	m3	0,09

Tableau 43 – Récapitulatif des données utilisées – Focus sur les Dalles Alvéolaires en béton Précontraint (e = 28 cm)

Pour 1 m <sup>2</sup> de DAP 28+9				
Elément	Unité	FDES/ICV	Unité	Quantité
DAP 28+9	m2	-	m2	1
<i>DAP 28</i>	m2	FDES Dalle alvéolée en béton précontraint (e=28 cm)	m2	1,00
<i>Dalle de compression</i>	m3	FDES Béton C30 XC1 Planchers	m3	0,09

- L'épaisseur des dalles de compression est supérieure à la valeur théorique de 7 cm en raison de la contre-flèche des dalles alvéolaires (information E2C).

## 6.2 Annexe 2 : Détail des hypothèses et modélisations associées aux différentes étapes du cycle de vie des produits et matériaux de construction

### 6.2.1 Présentation des FDES

Tableau 44 – Présentation des FDES utilisées dans l'étude (partie I)

Nom FDES	Source	Année	Vérfiée ?	Adaptation éventuelle	DVT (années)	Unité	EPT (MJ/UF)	Changement climatique (kg éq. CO <sub>2</sub> /UF)	Hypothèses principales	Éléments modélisés par la FDES
FDES Poutrelle en acier	Inies	2011	Non	Convertie de mètre à kg à partir de la masse linéaire fournie dans la FDES (57,1 kg/m)	100	m	18,0	1,3	Voir 5.2.2	- Acier poteaux et poutres - Acier assemblages - Acier diagonales - Acier solives
"FDES" Acier à béton	WSA / BIO	2011	Non	-	100	kg	16,5	1,3	Voir 5.2.2	- Acier à béton (armatures)
"FDES" Profil en acier pour plancher collaborant	WSA / BIO	2011	Non	-	100	kg	30,5	2,7	Voir 5.2.2	- Plancher collaborant
FDES Semelle en béton C <sub>30</sub> XC <sub>2</sub> (Fondations)	Betie	2012	Non	-	100	m <sup>3</sup>	2009,5	256,0		- Massifs - Semelles filantes - Liaisons sismiques
FDES Semelle en béton C <sub>16</sub> X <sub>0</sub> (Béton de propreté)	Betie	2012	Non	-	100	m <sup>3</sup>	1558,6	186,7		- Gros béton - Béton de propreté
FDES Dallage sur terre-plein en béton C <sub>30</sub> XC <sub>1</sub>	Betie	2012	Non	-	100	m <sup>3</sup>	2008,5	256,0	FDES conformes à la norme NF P 01-010 réalisées avec BETie, outils en ligne du SNBPE développé en collaboration avec PwC Ecobilan.	- Radier - Dalles (fondations) - Dallage sur terre-plein - Dalle de compression pour Dalles alvéolaires
FDES Dalle pleine en béton C <sub>30</sub> XC <sub>1</sub> - Planchers	Betie	2012	Non	-	100	m <sup>3</sup>	2222,8	291,0	Fin de vie : valorisation à 75% et mise en décharge de type classe III à 25%	- Dalles (infrastructures et noyau) - Rampes d'accès - Plancher collaborant - Dalle de compression (DAP)
FDES Mur en béton C <sub>30</sub> XC <sub>1</sub>	Betie	2012	Non	-	100	m <sup>3</sup>	2540,6	331,6	Coffrages, banches et énergie de mise en oeuvre pris en comptes dans les FDES.	- Parois (fondations) - Voiles intérieurs
FDES Mur extérieur en béton C <sub>30</sub> XC <sub>2</sub>	Betie	2012	Non	-	100	m <sup>3</sup>	2055,8	260,3		- Poteaux en sailli de voile - Voiles extérieurs (en infrastructures)
FDES Poteau en béton C <sub>40</sub> XC <sub>1</sub>	Betie	2012	Non	-	100	m <sup>3</sup>	3271,4	440,4		- Poteaux en infrastructures - Poteaux en superstructures
FDES Poutre en béton C <sub>30</sub> XC <sub>1</sub>	Betie	2012	Non	-	100	m <sup>3</sup>	2529,6	330,6		- Poutres en infrastructures - Poutres en superstructures - Escaliers
FDES Dalle alvéolaire en béton précontraint	Inies	2012	Non	Convertie pour une épaisseur de 24 cm et de 28 cm	100	m <sup>2</sup>	511,7	52,5	Fin de vie en décharge de classe 3	- Plancher superstructures - DAP 24+7 - Plancher superstructures - DAP 28+7
FDES Facade grille Technal Géode avec 50% de surface transparente et 50% de surface opaque	Technal	2004	Non	Recaractérisée par BIO à partir de l'ICV FDES	40	m <sup>2</sup>	844,6	43,6	L'aluminium de la façade est entièrement démontable et recyclé à 95%. Les autres déchets sont des déchets inertes.	- Façade rideau 47% vitrée

Tableau 45 – Présentation des FDES utilisées dans l'étude (partie II)

Nom FDES	Source	Année	Vérfiée ?	Adaptation éventuelle	DVT (années)	Unité	EPT (MJ/UF)	Changement climatique (kg éq. CO <sub>2</sub> /UF)	Hypothèses principales	Éléments modélisés par la FDES
FDES Facade grille Technal Géode avec 75% de surface transparente et 25% de surface opaque	Technal	2004	Non	Recaractérisée par BIO à partir de l'ICV FDES	40	m2	851,8	46,1	L'aluminium de la façade est entièrement démontable et recyclé à 95%. Les autres déchets sont des déchets inertes.	- Façade rideau 78% vitrée
FDES Calibel épaisseur 10+100mm (Panneau de laine de verre)	Inies	2009	Oui	-	50	m2	246,0	8,8	Fin de vie en décharge de classe II essentiellement	- Isolation murs intérieurs sur locaux non chauffés
FDES Sikatop 145 Cuvelage Gris - Sac de 25 kg	Sika	2009	Non	-	50	m2	3,5	0,1	-	- Cuvelage intérieur cuvette avec enduit étanche type SIKA
FDES EPSITOIT 20 d'épaisseur 250 mm	Inies	2010	Non	Convertie pour une épaisseur de 180mm (coefficient 1,39)	50	m2	459,7	19,6	Fin de vie en décharge de classe II essentiellement	- Isolation planchers hauts
Module d'Informations Environnementales - Production de granulats issus de roches massives	UNPG	2011	Non	-	100	t	60,9	2,6	Les autres étapes du cycle de vie que la production ne sont pas prises en compte (Modules d'informations environnementales)	- Couche drainante (Granulats) (h = 40 cm)
Module d'Informations Environnementales - Production de granulats issus de roches meubles	UNPG	2011	Non	-	100	t	65,0	2,3	Principaux déchets : Pièces d'usure en acier des engins et immobilisations (recyclage et mise en décharge de classe II)	- Réglage (Sable) (h = 2 cm)
Mélange 50/50 Modules d'informations UNPG	UNPG	2011	Non	Moyenne des données roches massives et roches meubles	100	t	63,0	2,4		- Hérisson (GNT 0/31,5) (h = 15 cm)
FDES Fibrastyroc Clarté Th33 Coupe-feu 115 mm	Inies	2011	Non	Convertie pour une épaisseur de 125mm (coefficient 0,92)	50	m2	702,2	34,2	Fin de vie en décharge de classe II essentiellement	- Isolation rapportée sous dalle
FDES Ecophon Master A d'épaisseur 40 mm	Inies	2010	Non	-	50	m2	147,0	5,5	Fin de vie en décharge de classe II essentiellement	- Faux plafonds (bureaux et salles de réunions)
FDES SNFA Cloison vitrée amovible ou démontable	SNFA	2012	Non	-	50	m2	1120,5	37,0	Taux de collecte des matériaux en fin de vie : aluminium 96%, acier 37%, verre 50% Déchets dangereux (50% du verre) mis en décharge de classe I Déchets inertes liés au résidus	- Parois intérieures (superstructures)
FDES Plafond Sahara (Plafond suspendu en laine de roche e = 15 - 17 mm)	Inies	2012	Non	-	50	m2	77,6	3,5	Fin de vie en décharge de classe II essentiellement. Valorisation déchets de carton, de feraille, de bois et de plastique sur le site de production.	- Faux plafonds (circulations et sanitaires)
FDES Portes âme pleine - standard	Blocfer	2010,0	Oui	Convertie pour une hauteur de 204cm et une largeur de 80cm (coefficient 1,622)	50	m2	1312,1	-9,6	Fin de vie en décharge de classe II essentiellement	- Portes intérieures (sanitaires)
FDES Portes coupe-feu	Blocfer	2010	Oui	Convertie pour une hauteur de 204cm et une largeur de 80cm (coefficient 1,632)	50	m2	1472,1	25,9	Fin de vie en décharge de classe II essentiellement	- Portes coupe-feu (ascenseurs)
FDES Knauf Therm ITEx Th38 SE 80 mm	Inies	2011	Non	Convertie pour une épaisseur de 50 mm (coefficient 1,6)	50	m2	90,6	3,5	Fin de vie en décharge de classe II essentiellement	- Isolant - Partie opaque
FDES Textile enduit ajouré pour stores	Inies	2010	Non	-	15	m2	60,0	1,8	Fin de vie en décharge de classe II essentiellement	- Protection solaire

## 6.2.2 Date de consultation des différentes sources utilisées

Le tableau ci-dessous présente la date de consultation des différentes FDES utilisées dans cette étude en fonction des sources dont elles sont issues.

Tableau 46 – Date de consultation des FDES utilisées

Source	Lien	Dernière date de consultation
INIES	<a href="http://www.inies.fr/">http://www.inies.fr/</a>	05/02/13
BETie	<a href="http://ns381308.ovh.net/ecobilan/login.html">http://ns381308.ovh.net/ecobilan/login.html</a>	18/03/13
UNPG	<a href="http://www.unpg.fr/dossiers/environnement/analyse_du_cycle_de_vie_des_granulats">http://www.unpg.fr/dossiers/environnement/analyse_du_cycle_de_vie_des_granulats</a>	05/02/13
Blocfer	<a href="http://www.blocfer.com/index.php/actualite-full/items/fiches-de-declaration-environnementale-et-sanitaire-fdes.html">http://www.blocfer.com/index.php/actualite-full/items/fiches-de-declaration-environnementale-et-sanitaire-fdes.html</a>	05/02/13
Technal	<a href="http://www.technal.fr/fr/accueil-professionnels/Les-Produits-Technal/Les-facades/Facade-GEODE-62mm/Geode-Module-62-filant/Descriptif-des-ouvrages/">http://www.technal.fr/fr/accueil-professionnels/Les-Produits-Technal/Les-facades/Facade-GEODE-62mm/Geode-Module-62-filant/Descriptif-des-ouvrages/</a>	05/02/13
Sika	<a href="http://fra.sika.com/fr/solutions_et_produits/documents/documents-techniques-construction/fdes_sika_t.html">http://fra.sika.com/fr/solutions_et_produits/documents/documents-techniques-construction/fdes_sika_t.html</a>	05/02/13
SNFA	<a href="http://www.fenetrealu.com/demarche-environnementale/fdes/fdes-produits">http://www.fenetrealu.com/demarche-environnementale/fdes/fdes-produits</a>	05/02/13

## 6.2.3 Détails des hypothèses et modélisation pour les principaux produits de construction

### ► Poutrelle en acier

Une conversion a été appliquée à la FDES pour la convertir de mètre linéaire en kg. Le facteur de conversion de 57,1 kg/ml présenté dans la FDES a été retenu pour cette étude (et validé par ArcelorMittal).

#### ■ Etape de production

Un inventaire de cycle de vie issu de la World Steel Association de 2008 a été utilisé pour modéliser la production de l'acier. La fabrication de la poutrelle est modélisée avec des données de 2005 collectées chez les constructeurs directement.

#### ■ Etape de fin de vie

Le scénario de fin de vie de la poutrelle est le suivant : 2% de mise en décharge, 11% de réutilisation et 87% de recyclage. Il n'y a pas de prise en compte des bénéfices et charges du recyclage en fin de vie conformément à la méthode des stocks.

## ► Acier à béton

### ■ Etape de production

Comme il n'existe pas de FDES pour l'acier à béton, un inventaire de cycle de vie de production d'acier à béton a été fourni par ArcelorMittal (inventaire « Rebars » de la World Steel Association, 2011). Les bénéfices liés à l'utilisation d'acier recyclé lors de la fabrication d'acier à béton n'ont pas été pris en compte dans cet inventaire. En complément, il est important de noter que les impacts environnementaux associés à cet inventaire ont été recalculés par BIO IS pour que celui-ci soit en accord avec la norme NF P 01-010. En effet, l'inventaire fourni par ArcelorMittal a été modélisé via le logiciel Gabi qui ne propose pas de méthode de caractérisation en accord avec la norme NF P 01-010 (par exemple pour l'indicateur « Epuisement des ressources »). Il a donc été nécessaire de recaractériser cet inventaire de cycle de vie.

Les autres étapes de cycle de vie ont été modélisées par BIO IS pour être conforme à la norme NF P 01-010. Des détails sur cette modélisation sont présentés ci-dessous.

### ■ Etape de transport

Une distance de transport de 300 km (hypothèse BIO IS) a été considérée. Le transport est modélisé conformément au fascicule FD P 01-015.

### ■ Etape de mise en œuvre

Aucun élément n'a été pris en compte pour cette étape.

### ■ Vie en œuvre

Aucun entretien n'a été considéré pour cette étape.

### ■ Fin de vie

Pour le scénario de fin de vie, un taux de recyclage théorique de 95% a été retenu (valeur fournie par ArcelorMittal). Néanmoins, il est considéré que le taux de recyclage réel de l'acier à béton est dépendant de celui du béton. Par conséquent, le taux de recyclage réel considéré dans cette étude est de 54%<sup>38</sup>. En complément, tout l'acier qui n'est pas recyclé est envoyé en décharge pour matériaux inertes<sup>39</sup>. La distance de transport en fin de vie a été supposée égale à 50 km pour le recyclage et l'enfouissement.

## ► Profil en acier pour plancher collaborant

De la même manière que pour l'acier à béton, les impacts environnementaux du profil en acier pour plancher collaborant ont été modélisés sur la base d'un inventaire de la World Steel Association ne prenant pas en compte les bénéfices liés à l'incorporation d'acier recyclé dans la production de profil en acier.

### ■ Etape de production

L'inventaire de cycle de vie de production de profil en acier pour plancher collaborant a été fourni par ArcelorMittal (inventaire « Hot Dip Galvanized product » de la World Steel Association, 2011).

<sup>38</sup> Taux de recyclage acier à béton théorique \* taux de recyclage béton = 95% \* 77% = 73%

<sup>39</sup> Enfouissement de l'acier modélisé par l'ICV : Disposal, steel, 0% water, to inert material landfill/CH (ecoinvent v2.2)

Là encore, les bénéfices liés à l'utilisation d'acier recyclé lors de la fabrication d'acier à béton n'ont pas été pris en compte dans cet inventaire. Les impacts environnementaux associés à cet inventaire ont également été recalculés par BIO IS à partir de l'inventaire fourni par ArcelorMittal.

Les autres étapes du cycle de vie du profil en acier ont été modélisées en accord avec la FDES « Profil en acier pour plancher collaborant » disponible sur la base de données INIES.

- Etape de fin de vie

Le scénario de fin de vie retenu est celui de la FDES précédemment citée à savoir : 4% de mise en décharge, 15% de réutilisation et 81% de recyclage.

## ► Produits en béton

Les FDES des produits en béton ont été générées via l'outil BETie<sup>40</sup> du SNBPE<sup>41</sup>. Cet outil génère des FDES conformes à la norme NF P 01-010 et propose des valeurs moyennes françaises en ce qui concerne le transport des matières premières, le transport vers le chantier et la fin de vie.

Les FDES utilisées pour les produits en béton ont été générées le 04 Février 2013.

- Pour toutes les étapes du cycle de vie

Le Tableau 47 ci-après présente les données renseignées dans BETie pour modéliser les différents produits en béton. En complément, les hypothèses/données suivantes ont été considérées pour l'ensemble des produits en béton modélisés : les bétons ne sont pas autoplaçants, les bétons ne contiennent pas de fibres, la mise en œuvre se fait uniquement avec une benne à béton.

En ce qui concerne les armatures, celles-ci ayant été modélisées indépendamment de BETie (sur la base des données de la World Steel Association), la valeur de « quantité d'acier pour les armatures » (en kg/m<sup>3</sup>) a systématiquement été renseignée comme nulle.

Enfin, les banches en acier sont modélisées à partir de BETie, faute de pouvoir les comptabiliser à part et de les modéliser avec des inventaires de la World Steel Association.

- Pour l'étape de production

Pour l'étape de production, la seule source de données disponible est celle relative à la production de ciment. Les données relatives à la production de ciment sont issues des modules d'informations de la production de ciment en France de l'ATILH<sup>42</sup>.

- Pour l'étape de mise en œuvre

Un taux de pertes de 4% est considéré pour l'étape de mise en œuvre.

- Pour l'étape de fin de vie

Le scénario retenu pour l'étape de fin de vie est le suivant : 75% de valorisation et 25% d'enfouissement (distance de transport de 10 km dans les deux cas). Ces données correspondent au scénario par défaut de BETie.

---

<sup>40</sup> BETon et Impacts Environnementaux

<sup>41</sup> Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi

<sup>42</sup> Modules d'informations environnementales de la production de ciments courants en France, Edition juin 2011 – version 2, Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques.

Tableau 47 – Données renseignées pour la modélisation des produits en béton dans BETie

	Béton de propriété	Fondations	Poteaux	Poutres	Murs intérieurs	Infrastructures			Superstructures
						Dallage R-2	Planchers	Murs extérieurs	Planchers
Type d'ouvrage	Semelle en béton	Semelle en béton	Poteau en béton	Poutre en béton	Mur en béton	Dallage sur terre plein en béton	Dalle pleine en béton	Mur en béton	Dalle pleine en béton
Résistance (MPa)	16	30	40	30	30	30	30	30	30
Classe d'exposition	X0	XC2	XC1	XC1	XC1	XC1	XC1	XC2	XC1
Type de ciment	CEM II/B-L ou LL	CEM II/B-L ou LL	CEM I	CEM I	CEM I	CEM II/B-L ou LL	CEM II/A-V	CEM II/B-L ou LL	CEM II/A-V
Classe de résistance ciment	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
Dmax (mm)	16	14	14	14	14	14	14	14	14
Consistance	S4	S3	S4	S4	S4	S3	S3	S4	S3
Type de gravier majoritaire	Roches massives	Roches massives	Roches massives	Roches massives	Roches massives	Roches massives	Roches massives	Roches massives	Roches massives
Type de sable majoritaire	Alluvionnaires	Alluvionnaires	Alluvionnaires	Alluvionnaires	Alluvionnaires	Alluvionnaires	Alluvionnaires	Alluvionnaires	Alluvionnaires
Type d'eau consommée en centrale	Eau de pompage	Eau de pompage	Eau de pompage	Eau de pompage	Eau de pompage	Eau de pompage	Eau de pompage	Eau de pompage	Eau de pompage

## ► Façade

Les FDES utilisées pour modéliser la façade des bâtiments datant de la version expérimentale de la norme NF P 01-010 (XP P 01-010), les impacts environnementaux de ces dernières n'étaient pas tous conformes à la norme NF P 01-010 (en particulier l'indicateur d'épuisement des ressources). Les indicateurs d'impacts ont donc été recharacterisés par BIO IS à partir des données d'inventaire présentées dans ces FDES pour être conforme à la norme NF P 01-010.

## 6.3 Annexe 3 : Liste des Eurocodes utilisés pour les études structures

Les calculs de structure effectués dans le cadre de cette étude reposent sur les Eurocodes suivants :

- NF EN 1990 + Annexe Nationale (AN) : Eurocode 0 – Base de calcul des structures.
- NF EN 1991-1-1 +AN : Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-1 : Actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d’exploitation des bâtiments.
- NF EN 1991-1-2 +AN : Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-2 : Actions générales – Actions sur les structures exposées au feu.
- NF EN 1991-1-3 +AN : Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige.
- NF EN 1991-1-4 +AN : Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent.
- NF EN 1992-1-1 + AN : Eurocode 2 – Calcul des structures en béton – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.
- NF EN 1993-1-1 : Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.
- NF EN 1993-1-2 : Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-2 : Comportement au feu des structures en acier.
- NF EN 1994-1-1 : Eurocode 4 – Calcul des structures mixte acier-béton – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.
- NF EN 1994-1-2 : Eurocode 4 – Calcul des structures mixte acier-béton – Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu.

En complément, les documents techniques suivants ont également été utilisés :

- SCI Publication P335 : Design for composite beams with large web opening (in accordance with Eurocodes and the UK National Annexes).
- Article publié au revue Construction Métallique, n°4-2001 : Poutres Mixtes de bâtiment avec ouverture isolée dans l’âme – Démarche de vérification et Exemple de calcul.
- SCI Publication Po68 : Design for openings in webs of composite beams.

## 6.4 Annexe 4 : Données brutes (mètres)

Cette annexe présente les mètres fournis par la société E2C Atlantique suite à la réalisation du calcul des structures. Ces mètres sont d'abord présentés pour les produits en acier puis pour les produits en béton.

### ► Produits en acier

#### ■ Superstructure – Bâtiment mixte

Tableau 48 – Mètres sources pour les produits en acier – Superstructure Bâtiment mixte acier/béton

Designation	Section	Qualité	Longueur (mm)	Surf (m2)	Poids (kg)	Qté	Longueur tot. (mm)	Surf. Tot. (m2)	Poids total (kg)
<b>SUPERSTRUCTURES - BATIMENT MIXTE ACIER/BETON NON OPTIMISE</b>									
<b>POTEAUX</b>									
Poteau	HEA200	S355JO	10050	11,5	424,4	4	40200	46,0	1698
Poteau	HEA220	S355JO	10050	12,7	507,3	20	201000	254	10146
Poteau	HEB200	S355JO	10200	11,7	625,3	4	40800	46,8	2501
Poteau	HEB220	S355JO	10200	13	728,6	20	204000	260	14572
Poteau	HEB240	S355JO	10050	13,9	836,3	2	20100	27,8	1673
Poteau	HEB260	S355JO	10800	16,2	1000,4	24	259200	388,8	24010
Poteau	HEB300	S355JO	10200	17,6	1193	2	20400	35,2	2386
Poteau	HEB450	S355JO	10800	21,9	1848,2	2	21600	43,8	3696
<b>Total poteaux</b>									<b>60681</b>
<b>POUTRES</b>									
Poutre	IPE330-ACB-430	S355JO	5000	6,5	235,4	108	540000	702	25423
Poutre	IPE330-ACB-430	S355JO	6000	7,8	281,1	36	216000	280,8	10120
Poutre	IPE360-ACB	S355JO	4750	6,6	258,8	18	85500	118,8	4658
Poutre	IPE400-ACB	S355JO	5740	8,6	360,5	18	103320	154,8	6489
Poutre	IPEA240-ACB	S355JO	4900	4,4	115,5	36	176400	158,4	4158
Poutre	IPEA240-ACB	S355JO	7000	6,2	162,9	36	252000	223,2	5864
Poutre	IPEA330-ACB	S355JO	8840	10,8	343,4	72	636480	777,6	24725
Poutre	IPEA330-ACB	S355JO	8870	10,8	344,8	36	319320	388,8	12413
Poutre	IPEA330-ACB	S355JO	9765	12	380,9	18	175770	216	6856
Poutre	IPEA330-ACB	S355JO	9795	12	382,3	36	352620	432	13763
Poutre	IPEA360-ACB	S355JO	11835	15,8	549,6	36	426060	568,8	19786
Poutre	IPEA400-ACB	S355JO	11830	17,2	622,8	36	425880	619,2	22421
Poutre	IPEA400-ACB	S355JO	11890	17,3	626,4	36	428040	622,8	22550
<b>Total poutres</b>									<b>179226</b>
<b>4.3 - PLANCHER</b>									
Bac collaborant				920		9		8280	
<b>4.3 - ASSEMBLAGE</b>									
Assemblage									14994
<b>Total Superstructures</b>									
Structure Porteuse (poteaux et poutres)									<b>239907</b>
Plancher bac collaborant								<b>8280</b>	
Assemblage									<b>14994</b>

■ Superstructure – Bâtiment mixte optimisé

Tableau 49 – Métrés sources pour les produits en acier – Superstructure Bâtiment mixte acier/béton optimisé

Designation	Section	Qualité	Longueur (mm)	Surf (m2)	Poids (kg)	Qté	Longueur tot. (mm)	Surf. Tot. (m2)	Poids total (kg)
<b>SUPERSTRUCTURES - BATIMENT MIXTE ACIER/BETON OPTIMISE</b>									
<b><u>POTEAUX</u></b>									
Poteau	HEA200	S460M	10050	11,5	424,4	4	40200	46	1698
Poteau	HEA220	S460M	10050	12,7	507,3	20	201000	254	10146
Poteau	HEA240	S460M	10050	13,8	605,9	2	20100	27,6	1212
Poteau	HEA240	S460M	10200	14	614,9	4	40800	56	2460
Poteau	HEA260	S460M	10200	15,1	695	20	204000	302	13900
Poteau	HEA260	S460M	10800	16	735,9	4	43200	64	2944
Poteau	HEA280	S460M	10800	17,3	824,9	20	216000	346	16498
Poteau	HEA300	S460M	10200	17,5	904,8	2	20400	35	1810
Poteau	HEB320	S460M	10800	19,1	1365	2	21600	38,2	2730
<b>Total poteaux</b>									<b>53396</b>
<b><u>SOLIVES</u></b>									
Solive	IPE270-ACB	S460M	8925	9,1	293,7	72	642600	655,2	21146
Solive	IPE270-ACB	S460M	8975	9,2	295,8	36	323100	331,2	10649
Solive	IPE270-ACB	S460M	9725	9,8	317,1	18	175050	176,4	5708
Solive	IPE270-ACB	S460M	9900	10	324,3	36	356400	360	11675
Solive	IPE300-ACB	S460M	11840	13,4	459,6	36	426240	482,4	16546
Solive	IPEA220-ACB	S460M	4885	4	99,1	36	175860	144	3568
Solive	IPEA220-ACB	S460M	7000	5,7	140,3	36	252000	205,2	5051
Solive	IPEA330-ACB	S460M	11840	14,6	463,4	36	426240	525,6	16682
Solive	IPEA330-ACB	S460M	11865	14,6	464,6	36	427140	525,6	16726
<b>Total Solives</b>									<b>107750</b>
<b><u>POUTRES</u></b>									
Poutre	IPE360-ACB	S460M	5730	7,6	302,8	18	103140	136,8	5450
Poutre	IPEA300-ACB	S460M	5000	6	175,3	108	540000	648	18932
Poutre	IPEA300-ACB	S460M	6000	7,1	209,2	36	216000	255,6	7531
Poutre	IPEA360-ACB	S460M	4730	6,5	225,5	18	85140	117	4059
<b>Total poutres</b>									<b>35973</b>
<b><u>PLANCHER</u></b>									
Bac Collaborant				920		9		8280	
<b><u>ASSEMBLAGE</u></b>									
Assemblage									11827
<b>Total Superstructures</b>									
<i>Structure Porteuse (potaux, solives et poutres)</i>									<b>197119</b>
<i>Plancher bac collaborant</i>								<b>8280</b>	
<i>Assemblage</i>									<b>11827</b>

■ Noyau acier – Bâtiment mixte optimisé

Tableau 50 – Métrés sources pour les produits en acier – Noyau Bâtiment mixte acier/béton optimisé

Designation	Section	Qualité	Longueur (mm)	Surf (m2)	Poids (kg)	Qté	Longueur tot. (mm)	Surf. Tot. (m2)	Poids total (kg)
<b>NOYAU - BATIMENT MIXTE ACIER/BETON OPTIMISE</b>									
<b><u>POUTRES</u></b>									
Poutre	HEA140	S460M	2250	1,8	55,5	72	162000	129,6	3996
Poutre	HEA140	S460M	2295	1,8	56,6	36	82620	64,8	2037,6
Poutre	HEA140	S460M	2375	1,9	58,5	36	85500	68,4	2106
Poutre	HEA140	S460M	2950	2,3	72,7	36	106200	82,8	2617,2
Poutre	HEA140	S460M	3800	3	93,7	9	34200	27	843,3
Poutre	HEA140	S460M	5900	4,7	145,4	18	106200	84,6	2617,2
<b>Total poutres</b>									<b>14217,3</b>
<b><u>POTEAUX</u></b>									
Poteau	HEA220	S460M	10050	12,7	507,3	20	201000	254	10146
Poteau	HEA260	S460M	10200	15,1	695	20	204000	302	13900
Poteau	HEA300	S460M	10800	18,6	958	20	216000	372	19160
<b>Total poteaux</b>									<b>43206</b>
<b><u>DIAGONALES</u></b>									
Diagonale	UPN140	S235JO	2244	1,1	35,9	6	13464	6,6	215,4
Diagonale	UPN140	S235JO	2294	1,1	36,7	6	13764	6,6	220,2
Diagonale	UPN140	S235JO	3420	1,7	54,8	48	164160	81,6	2630,4
Diagonale	UPN140	S235JO	4001	2	64,1	24	96024	48	1538,4
Diagonale	UPN140	S235JO	4738	2,3	75,9	6	28428	13,8	455,4
Diagonale	UPN160	S235JO	2244	1,2	42,3	6	13464	7,2	253,8
Diagonale	UPN160	S235JO	2294	1,3	43,2	6	13764	7,8	259,2
Diagonale	UPN160	S235JO	3420	1,9	64,4	48	164160	91,2	3091,2
Diagonale	UPN160	S235JO	3901	2,1	73,5	24	93624	50,4	1764
Diagonale	UPN160	S235JO	4738	2,6	89,3	6	28428	15,6	535,8
Diagonale	UPN180	S235JO	2144	1,3	47	2	4288	2,6	94
Diagonale	UPN180	S235JO	2244	1,4	49,1	6	13464	8,4	294,6
Diagonale	UPN180	S235JO	2371	1,4	51,9	4	9484	5,6	207,6
Diagonale	UPN180	S235JO	3420	2,1	74,9	32	109440	67,2	2396,8
Diagonale	UPN180	S235JO	3861	2,4	84,6	16	61776	38,4	1353,6
Diagonale	UPN180	S235JO	3901	2,4	85,4	16	62416	38,4	1366,4
Diagonale	UPN180	S235JO	4198	2,6	91,9	8	33584	20,8	735,2
Diagonale	UPN180	S235JO	4688	2,9	102,7	4	18752	11,6	410,8
Diagonale	UPN180	S235JO	4942	3	108,2	2	9884	6	216,4
<b>Total Diagonales</b>									<b>18039,2</b>
<b><u>ASSEMBLAGE</u></b>									
Assemblage									6037
<b>Total Noyau</b>									
<i>Structure Porteuse (poteaux, poutres et diagonales)</i>									<b>75463</b>
<i>Assemblage</i>									<b>6037</b>

► Produits en béton

■ Terrassement et fondations – Tous bâtiments

Tableau 51 – Métrés sources pour les produits en béton – Terrassement et Fondations pour tous les bâtiments

Désignation	Nbre	Long m	l ou Di m	Haut. m	Surf. m2	Péri m	Terre m3	Béton C16/20 m3	Béton C30/37 m3	Béton C40/50 m3	Acier HA Kg	Acier TS Kg	Coff.H m2	Coff.V m2	Banch m2
<b>1 - TERRASSEMENTS ET FONDATIONS - TOUS BATIMENTS</b>															
<b>1.1 - TERRASSEMENTS</b>															
Déblais							14550								
Remblais							6450								
Evacuation des excédents							8100								
<b>1.2 - TERRASSEMENTS COMPLEMENTAIRES</b>															
Fouilles pour infrastructures compris sujétions blindage							400								
Remblaiement des fouilles							200								
Evacuation des excédents							200								
<b>1.3 - FONDATIONS</b>															
Massifs 100x100x40ht (As : -7.50m)	20	1	1	0,4				1,21	8,00		440,00	0,00	0,00	32,00	0,00
Massifs 155x155x50ht (As : -7.50m)	4	1,55	1,55	0,5				0,54	4,81		432,45	0,00	0,00	12,40	0,00
Massifs 190x190x65ht (As : -7.50m)	10	1,9	1,9	0,65				2,00	23,47		1407,90	0,00	0,00	49,40	0,00
Massifs 220x220x75ht (As : -7.50m)	6	2,2	2,2	0,75				1,59	21,78		1154,34	0,00	0,00	39,60	0,00
Massifs 330x330x115ht (As : -7.50m)	2	3,3	3,3	1,15				1,16	25,05		1252,35	0,00	0,00	30,36	0,00
Semelles filantes 50x25ht (As : -7.50m)	1	119,6	0,5	0,25				3,59	14,95		1794,00	0,00	0,00	60,05	0,00
Redan gros béton au droit massif	40	0,75	0,6	0,25				4,50	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Semelles filantes 200x70ht (As : -7.50m)	2	18	2	0,7				3,80	50,40		4032,00	0,00	0,00	56,00	0,00
Redan gros béton au droit radier fosse ascenseur	8	1,2	2,1	0,45				9,07	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Semelles filantes 220x80ht (As : -7.50m)	2	10,4	2,2	0,8				2,42	36,61		3660,80	0,00	0,00	40,32	0,00
Semelles filantes 100x50ht (As : -7.50m)	1	19,3	1	0,5				1,07	9,65		1737,00	0,00	0,00	20,30	0,00
Liaisons sismiques 40x40ht	1	162,6	0,4	0,4				4,07	26,02		1821,12	0,00	0,00	130,08	0,00
								35,01	220,72	0,00	17731,96	0,00	0,00	470,51	0,00
<b>1.4 - CUVETTE ASCENSEUR</b>															
Radier, ép. 80cm (As : -8.20m)	2	3,7	9,5	0,8				7,30	56,24		4218,00	0,00	0,00	42,24	0,00
Dalle de protection en fond de fosse	4			0,15	2,55			0,00	1,53		0,00	26,01	0,00	0,00	0,00
Parois de 30 cm (As : -7.50m)	2	7,6	0,3	0,7				0,00	3,19		127,68	102,14	0,00	0,00	21,28
Parois de 20 cm (As : -7.50m)	2	5,4	0,2	0,7				0,00	1,51		83,16	0,00	0,00	0,00	15,12
Cuvelage intérieur : 4 x 9 = 36m <sup>2</sup>								7,30	62,47	0,00	4428,84	128,15	0,00	42,24	36,40
<b>Total Terrassement et Fondations (+ cuvette ascenseur)</b>								42,30	283,20	0,00	22160,80	128,15	0,00	512,75	36,40
<i>Dont radier et dalles</i>								7,30	57,77	0,00	4218,00	26,01	0,00	42,24	0,00
<i>Massifs, semelles filantes et liaisons sismiques</i>								35,01	220,72	0,00	17731,96	0,00	0,00	470,51	0,00
<i>Parois</i>								0,00	4,70	0,00	210,84	102,14	0,00	0,00	36,40
<i>Terres à déplacer (déblais + remblais)</i>								21600							
<i>Evacuation des excédents</i>								8300							

■ Infrastructures – Tous bâtiments

Tableau 52 – Métrés sources pour les produits en béton – Infrastructures pour tous les bâtiments (partie 1)

Désignation	Nbre	Long m	l ou Di m	Haut. m	Surf. m2	Péri m.	Terre m3	Béton C16/20 m3	Béton C30/37 m3	Béton C40/50 m3	Acier HA Kg	Acier TS Kg	Coff.H m2	Coff.V m2	Banch m2
<b>2 - INFRASTRUCTURES - TOUS BATIMENTS</b>															
<b>2.1 - ELEVATIONS NIVEAU -2</b>															
<b>a) Poteaux BA</b>															
Poteaux circulaire D40cm, béton C40/50	4	0	0,4	3,35				0,00		1,68	252,58	0,00	0,00	16,84	0,00
Poteaux rectangulaires 30x40x335ht, béton C40/50	8	0,3	0,4	3,35				0,00		3,22	482,40	0,00	0,00	37,52	0,00
Poteaux rectangulaires 70x75x335ht, béton C40/50	2	0,7	0,75	3,35				0,00		3,52	703,50	0,00	0,00	19,43	0,00
								0,00	0,00	8,42	1438,48	0,00	0,00	73,79	0,00
<b>b) Voiles BA</b>															
<i>voiles en périphérie extérieure</i>															
Voiles BA ép. 25cm en périphérie extérieure (As : -3.60m)	1	132,6	0,25	3,9				0,00	129,29		16160,63	0,00	0,00	0,00	1034,28
Poteaux BA 60x50 en sailli de voile	4	0		3,68	0,15	1,1		0,00	2,21		520,00	0,00	0,00	16,19	0,00
Poteaux BA 50x40 en sailli de voile	10	0		3,68	0,075	0,8		0,00	2,76		1100,00	0,00	0,00	29,44	0,00
Poteaux BA 40x40 en sailli de voile	8	0		3,35	0,06	0,7		0,00	1,61		600,00	0,00	0,00	18,76	0,00
Poteaux BA 40x55 en sailli de voile	2	0		3,7	0,0825	0,85		0,00	0,61		260,00	0,00	0,00	6,29	0,00
								0,00	136,47	0,00	18640,63	0,00	0,00	70,68	1034,28
<i>voiles intérieurs</i>															
Voiles BA ép. 20cm (As : -3.84m) entre 1 / 2 et 8 / 9 - sens file 5	2	14,5	0,2	3,66				0,00	21,23		212,28	636,84	0,00	0,00	212,28
Poteaux BA 30x40 en sailli de voile	4	0		3,35	0,04	0,6		0,00	0,54		240,00	0,00	0,00	8,04	0,00
Poteaux BA 30x70 en sailli de voile	2	0		3,35	0,07	0,9		0,00	0,47		240,00	0,00	0,00	6,03	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : -3.84m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,66				0,00	13,62		476,53	571,84	0,00	0,00	90,77
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		60,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : -3.60m)	2	5,7	0,3	3,9				0,00	13,34		733,59	560,20	0,00	0,00	88,92
entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5															
Voiles BA ép. 30cm (As : -3.82m) file 5	1	14,5	0,3	3,68				0,00	16,01		640,32	672,34	0,00	0,00	106,72
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		200,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : -3.60m)	2	13,2	0,3	3,9				0,00	30,89		617,76	1297,30	0,00	0,00	205,92
entre file A' / B' - sens file B															
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,3				0,00	-3,28		114,66	-137,59	0,00	8,16	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : -3.60m) au droit escal. et ascenseur	2	10,2	0,2	3,9				0,00	15,91		159,12	477,36	0,00	0,00	159,12
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		30,24	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 25cm (As : -3.40m)	4	5	0,25	3,7				0,00	18,50		1387,50	925,00	0,00	0,00	148,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,25				0,00	-1,89		75,60	-94,50	0,00	6,00	0,00
								0,00	122,39	0,00	5264,04	4820,57	0,00	36,07	1011,73
<b>c) Escaliers BA</b>															
Escaliers BA accès niveau -1 de -7.20m à -3.60m : 2u															
<b>2.2 - DALLAGES BAS DU NIVEAU -2</b>															
Couches et complexe drainants (40 cm de granulats)					956			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Couche de fermeture (15 cm de grave non traitée)					956			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Reprofilage de la plate forme					956			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Couche de réglage en sable et polyane (2 cm de sable)					956			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dallage sur terre plein, épaisseur 13cm (As : -7.20m)	1			0,13	956			0,00	124,28	0,00	0,00	2547,74	956,00	0,00	0,00
								0,00	124,28	0,00	0,00	2547,74	956,00	0,00	0,00
<b>2.3 - PLANCHER HAUT DU NIVEAU -2</b>															
<b>a) Poutres BA en PH R-2</b>															
Poutres 40x55ht (As : -3.60m)	2	41,8	0,4	0,33				0,00	11,04		0,00	0,00	33,44	55,18	0,00
Poutres 70x55ht (As : -3.60m)	2	7,8	0,7	0,31				0,00	3,39		0,00	0,00	10,92	9,67	0,00
								0,00	14,42	0,00	0,00	0,00	44,36	64,85	0,00
<b>b) Dalles BA PH R-2</b>															
Rampe d'accès BA, ép. 20cm (As : variable)	2			0,2	41			0,00	16,40		65,60	541,20	82,00	0,00	0,00
Dalles BA, ép. 20cm (As : -3.60m)	2			0,2	26			0,00	10,40		41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
Dalles BA, ép. 22cm (As : -3.60m)	1			0,22	600			0,00	132,00		396,00	4752,00	600,00	0,00	0,00
Dalles BA, ép. 24cm (As : -3.60m)	2			0,24	112			0,00	53,76		161,28	3225,60	224,00	0,00	0,00
								0,00	212,56	0,00	664,48	8862,00	958,00	0,00	0,00

**Tableau 53 – Métrés sources pour les produits en béton – Infrastructures pour tous les bâtiments  
(partie 2)**

Désignation	Nbre	Long m	l ou Di m	Haut. m	Surf. m2	Péri m.	Terre m3	Béton C16/20 m3	Béton C30/37 m3	Béton C40/50 m3	Acier HA Kg	Acier TS Kg	Coff.H m2	Coff.V m2	Banch m2
<b>2.4 - ELEVATIONS NIVEAU -1</b>															
<b>a) Poteaux BA</b>															
Poteaux circulaires D40cm, béton C40/50	4	0	0,4	3,05				0,00		1,53	229,96	0,00	0,00	15,33	0,00
Poteaux rectangulaires 30x40x305ht, béton C40/50	8	0,3	0,4	3,05				0,00		2,93	439,20	0,00	0,00	34,16	0,00
Poteaux rectangulaires 70x75x305ht, béton C40/50	2	0,7	0,75	3,05				0,00		3,20	640,50	0,00	0,00	17,69	0,00
								0,00	0,00	7,66	1309,66	0,00	0,00	67,18	0,00
<b>b) Voiles BA</b>															
<i>voiles en périphérie extérieure</i>															
Voiles BA ép. 25cm en périphérie extérieure (As : -3.60m)	1	132,6	0,25	3,6				0,00	119,34		11934,00	0,00	0,00	0,00	954,72
Poteaux BA 60x50 en sailli de voile	4	0		3,38	0,15	1,1		0,00	2,03		520,00	0,00	0,00	14,87	0,00
Poteaux BA 50x40 en sailli de voile	10	0		3,38	0,075	0,8		0,00	2,54		1100,00	0,00	0,00	27,04	0,00
Poteaux BA 40x40 en sailli de voile	8	0		3,05	0,06	0,7		0,00	1,46		600,00	0,00	0,00	17,08	0,00
Poteaux BA 40x55 en sailli de voile	2	0		3,4	0,0825	0,85		0,00	0,56		260,00	0,00	0,00	5,78	0,00
								0,00	125,93	0,00	14414,00	0,00	0,00	64,77	954,72
<i>voiles intérieurs</i>															
Voiles BA ép. 20cm (As : -0.24m) entre 1 / 2 et 8 / 9 - sens file 5	2	14,5	0,2	3,36				0,00	19,49		194,88	584,64	0,00	0,00	194,88
Poteaux BA 30x40 en sailli de voile	4	0		3,05	0,04	0,6		0,00	0,49		240,00	0,00	0,00	7,32	0,00
Poteaux BA 30x70 en sailli de voile	2	0		3,05	0,07	0,9		0,00	0,43		240,00	0,00	0,00	5,49	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : -0.24m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,36				0,00	12,50		437,47	524,97	0,00	0,00	83,33
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0		0		0,00	0,00		60,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +0.00m) entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5	2	5,7	0,3	3,6				0,00	12,31		677,16	517,10	0,00	0,00	82,08
Voiles BA ép. 30cm (As : -0.22m) file 5	1	14,5	0,3	3,38				0,00	14,70		588,12	617,53	0,00	0,00	98,02
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0		0		0,00	0,00		200,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +0.00m) entre file A' / B' - sens file B	2	13,2	0,3	3,6				0,00	28,51		570,24	1197,50	0,00	0,00	190,08
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,3				0,00	-3,28		114,66	-137,59	0,00	8,16	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +0.00m) au droit escal. et ascenseur	2	10,2	0,2	3,6				0,00	14,69		146,88	440,64	0,00	0,00	146,88
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		30,24	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 25cm (As : -0.20m)	4	5	0,25	3,4				0,00	17,00		1105,00	850,00	0,00	0,00	136,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,25				0,00	-1,89		75,60	-94,50	0,00	6,00	0,00
								0,00	112,01	0,00	4756,69	4412,09	0,00	34,81	931,27
<b>c) Escaliers BA</b>															
Escaliers BA accès niveau RdC de -3.60m à +0.00m : 2u															
<b>2.5 - PLANCHER HAUT DU NIVEAU -1</b>															
<b>a) Poutres BA en PH R-1</b>															
Poutres 40x55ht (As : +0.00m)	2	41,8	0,4	0,33				0,00	11,04		1672,00	0,00	33,44	55,18	0,00
Poutres 70x55ht (As : +0.00m)	2	7,8	0,7	0,31				0,00	3,39		561,60	0,00	10,92	9,67	0,00
								0,00	14,42	0,00	2233,60	0,00	44,36	64,85	0,00
<b>b) Dalles BA PH R-1</b>															
Rampe d'accès BA, ép. 20cm (As : variable)	2			0,2	41			0,00	16,40		65,60	541,20	82,00	0,00	0,00
Dalles BA, ép. 20cm (As : +0.00m)	2			0,2	26			0,00	10,40		41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
Dalles BA, ép. 22cm (As : +0.00m)	1			0,22	600			0,00	132,00		396,00	4752,00	600,00	0,00	0,00
Dalles BA, ép. 24cm (As : +0.00m)	2			0,24	112			0,00	53,76		161,28	3225,60	224,00	0,00	0,00
								0,00	212,56	0,00	664,48	8862,00	958,00	0,00	0,00
<b>Total Infrastructures</b>								0,00	1075,04	16,08	49386,07	29504,40	2960,72	477,00	3932,00
<i>Dont dallage sur terre-plein</i>								0,00	124,28	0,00	0,00	2547,74	956,00	0,00	0,00
<i>Poutres</i>								0,00	28,84	0,00	2233,60	0,00	88,72	129,70	0,00
<i>Poteaux en sailli de voile</i>								0,00	15,69	0,00	5920,00	0,00	0,00	162,33	0,00
<i>Voiles extérieurs</i>								0,00	248,63	0,00	28094,63	0,00	0,00	0,00	1989,00
<i>Voiles intérieurs</i>								0,00	232,48	0,00	9060,73	9232,66	0,00	44,00	1943,00
<i>Dalles et rampe d'accès</i>								0,00	425,12	0,00	1328,96	17724,00	1916,00	0,00	0,00
<i>Poteaux en béton C40/50</i>								0,00	0,00	16,08	2748,15	0,00	0,00	140,97	0,00
<i>Escalier</i>								4							

■ Noyau (Bâtiment béton) et superstructures (Bâtiments béton et mixte)

Tableau 54 – Métrés sources pour les produits en béton – Noyau (bâtiments béton et mixte) et superstructures (bâtiment béton) (partie 1)

Désignation	Nbre	Long m	l ou Di m	Haut. m	Surf. m2	Péri m	Terre m3	Béton C16/20 m3	Béton C30/37 m3	Béton C40/50 m3	Acier HA Kg	Acier TS Kg	Coff.H m2	Coff.V m2	Banch m2
<b>3 - NOYAU (BATIMENTS BETON ET MIXTE) ET SUPERSTRUCTURES (BATIMENT BETON)</b>															
<b>3.1 - ELEVATIONS DU RdC</b>															
<b>a) Poteaux BA</b>															
Poteaux carrés 40x40x340ht, béton C40/50	8	0,4	0,4	3,4				0,00		4,35	609,28	0,00	0,00	43,52	0,00
Poteaux carrés 55x55x340ht, béton C40/50	4	0,55	0,55	3,4				0,00		4,11	1151,92	0,00	0,00	29,92	0,00
Poteaux carrés 70x70x330ht, béton C40/50	2	0,7	0,7	3,3				0,00		3,23	646,80	0,00	0,00	18,48	0,00
Poteaux rectangulaires 40x50x340ht, béton C40/50	10	0,4	0,5	3,4				0,00		6,80	1530,00	0,00	0,00	61,20	0,00
Poteaux rectangulaires 40x55x330ht, béton C40/50	2	0,4	0,55	3,3				0,00		1,45	304,92	0,00	0,00	12,54	0,00
								0,00	0,00	19,95	4242,92	0,00	0,00	165,66	0,00
<b>b) Voiles BA</b>															
Voiles BA ép. 30cm (As : +3.80m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,8				0,00	14,14		424,08	593,71	0,00	0,00	94,24
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		180,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +4.00m)	2	5,7	0,3	4				0,00	13,68		684,00	574,56	0,00	0,00	91,20
entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5															
Voiles BA ép. 30cm (As : +4.00m) file 5	1	6,2	0,3	4				0,00	7,44		260,40	312,48	0,00	0,00	49,60
Voiles BA ép. 30cm (As : +4.00m)	2	13,2	0,3	4				0,00	31,68		633,60	1045,44	0,00	0,00	211,20
entre file A' / B' - sens file B															
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,3				0,00	-3,28		114,66	-108,11	0,00	8,16	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +4.00m) au droit escal. et ascenseur	2	10,2	0,2	4				0,00	16,32		163,20	489,60	0,00	0,00	163,20
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		30,24	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 25cm (As : +3.80m)	4	5	0,25	3,8				0,00	19,00		855,00	950,00	0,00	0,00	152,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,25				0,00	-1,89		75,60	-94,50	0,00	6,00	0,00
								0,00	94,15	0,00	3497,22	3674,98	0,00	22,00	761,44
<b>c) Escaliers BA</b>															
Escaliers BA accès niveau R+1 de +0.00m à +4.00m : 2u															
<b>3.2 - PLANCHER HAUT DU RdC</b>															
<b>a) Poutres BA en PH RdC</b>															
Poutres 40x60ht (As : +4.00m)	2	23,05	0,4	0,6				0,00	11,06		783,70	0,00	18,44	55,32	0,00
Poutres 45x60ht (As : +4.00m)	2	42,4	0,45	0,6				0,00	22,90		2289,60	0,00	38,16	101,76	0,00
Poutres 55x70ht (As : +4.00m)	2	11,05	0,55	0,32				0,00	3,89		1016,60	0,00	12,16	14,14	0,00
								0,00	37,85	0,00	4089,90	0,00	68,76	171,22	0,00
<b>b) Dalles BA PH RdC</b>															
Dalles BA, ép. 20cm (As : +4.00m)	2			0,2	26			0,00	10,40		41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 28+7 (As : +4.00m)					539			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 24+7 (As : +4.00m)					381			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	10,40	0,00	41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
<b>3.3 - ELEVATIONS DU R+1</b>															
<b>a) Poteaux BA du R+1</b>															
Poteaux carrés 40x40x280ht, béton C40/50	8	0,4	0,4	2,8				0,00		3,58	501,76	0,00	0,00	35,84	0,00
Poteaux carrés 55x55x280ht, béton C40/50	4	0,55	0,55	2,8				0,00		3,39	491,26	0,00	0,00	24,64	0,00
Poteaux carrés 70x70x270ht, béton C40/50	2	0,7	0,7	2,7				0,00		2,65	396,90	0,00	0,00	15,12	0,00
Poteaux rectangulaires 40x50x280ht, béton C40/50	10	0,4	0,5	2,8				0,00		5,60	756,00	0,00	0,00	50,40	0,00
Poteaux rectangulaires 40x55x280ht, béton C40/50	2	0,4	0,55	2,8				0,00		1,23	147,84	0,00	0,00	10,64	0,00
								0,00	0,00	16,45	2293,76	0,00	0,00	136,64	0,00
<b>b) Voiles BA du R+1</b>															
Voiles BA ép. 30cm (As : +7.20m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,2				0,00	11,90		357,12	499,97	0,00	0,00	79,36
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		180,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +7.40m)	2	5,7	0,3	3,4				0,00	11,63		581,40	372,10	0,00	0,00	77,52
entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5															
Voiles BA ép. 30cm (As : +7.40m) file 5	1	6,2	0,3	3,4				0,00	6,32		189,72	202,37	0,00	0,00	42,16
Voiles BA ép. 30cm (As : +7.40m)	2	13,2	0,3	3,4				0,00	26,93		403,92	861,70	0,00	0,00	179,52
entre file A' / B' - sens file B															
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,3				0,00	-3,28		114,66	-108,11	0,00	8,16	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +7.40m) au droit escal. et ascenseur	2	10,2	0,2	3,4				0,00	13,87		138,72	416,16	0,00	0,00	138,72
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		30,24	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 25cm (As : +7.20m)	4	5	0,25	3,2				0,00	16,00		560,00	608,00	0,00	0,00	128,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,25				0,00	-1,89		75,60	-71,82	0,00	6,00	0,00
								0,00	78,55	0,00	2707,82	2692,16	0,00	22,00	645,28
<b>c) Escaliers BA</b>															
Escaliers BA accès niveau R+2 de +4.00m à +7.40m : 2u															
<b>3.4 - PLANCHER HAUT DU R+1</b>															
<b>a) Poutres BA en PH R+1</b>															
Poutres 40x60ht (As : +7.40m)	2	23,05	0,4	0,6				0,00	11,06		783,70	0,00	18,44	55,32	0,00
Poutres 45x60ht (As : +7.40m)	2	42,4	0,45	0,6				0,00	22,90		2289,60	0,00	38,16	101,76	0,00
Poutres 55x70ht (As : +7.40m)	2	11,05	0,55	0,32				0,00	3,89		1016,60	0,00	12,16	14,14	0,00
								0,00	37,85	0,00	4089,90	0,00	68,76	171,22	0,00
<b>b) Dalles BA PH R+1</b>															
Dalles BA, ép. 20cm (As : +7.40m)	2			0,2	26			0,00	10,40		41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 28+7 (As : +7.40m)					539			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 24+7 (As : +7.40m)					381			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	10,40	0,00	41,60	343,20	52,00	0,00	0,00

**Tableau 55 – Métrés sources pour les produits en béton – Noyau (bâtiment béton et mixte) et superstructures (bâtiment béton) (partie 2)**

Désignation	Nbre	Long m	ou Di m	Haut. m	Surf. m2	Péri m	Terre m3	Béton C16/20 m3	Béton C30/37 m3	Béton C40/50 m3	Acier HA Kg	Acier TS Kg	Coff.H m2	Coff.V m2	Banch m2
<b>3.5 - ELEVATIONS DU R+2</b>															
<b>a) Poteaux BA du R+2</b>															
Poteaux carrés 40x40x280ht, béton C40/50	8	0,4	0,4	2,8				0,00		3,58	501,76	0,00	0,00	35,84	0,00
Poteaux carrés 55x55x280ht, béton C40/50	4	0,55	0,55	2,8				0,00		3,39	491,26	0,00	0,00	24,64	0,00
Poteaux carrés 70x70x270ht, béton C40/50	2	0,7	0,7	2,7				0,00		2,65	396,90	0,00	0,00	15,12	0,00
Poteaux rectangulaires 40x50x280ht, béton C40/50	10	0,4	0,5	2,8				0,00		5,60	756,00	0,00	0,00	50,40	0,00
Poteaux rectangulaires 40x55x280ht, béton C40/50	2	0,4	0,55	2,8				0,00		1,23	160,16	0,00	0,00	10,64	0,00
								0,00	0,00	16,45	2306,08	0,00	0,00	136,64	0,00
<b>b) Voiles BA du R+2</b>															
Voiles BA ép. 30cm (As : +10.60m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,2				0,00	11,90		297,60	380,93	0,00	0,00	79,36
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		160,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +10.80m)	2	5,7	0,3	3,4				0,00	11,63		406,98	372,10	0,00	0,00	77,52
entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5															
Voiles BA ép. 30cm (As : +10.80m) file 5	1	6,2	0,3	3,4				0,00	6,32		158,10	202,37	0,00	0,00	42,16
Voiles BA ép. 25cm (As : +10.80m)	2	13,2	0,25	3,4				0,00	22,44		336,60	718,08	0,00	0,00	179,52
entre file A' / B' - sens file B															
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,25				0,00	-2,73		95,55	-87,36	0,00	6,80	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +10.80m) au droit escal. et ascenseur	2	10,2	0,2	3,4				0,00	13,87		138,72	416,16	0,00	0,00	138,72
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		30,24	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +10.60m)	4	5	0,2	3,2				0,00	12,80		448,00	614,40	0,00	0,00	128,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,2				0,00	-1,51		60,48	-72,58	0,00	4,80	0,00
								0,00	71,79	0,00	2208,71	2455,90	0,00	19,44	645,28
<b>c) Escaliers BA</b>															
Escaliers BA accès niveau R+3 de +7.40m à +10.80m : 2u															
<b>3.6 - PLANCHER HAUT DU R+2</b>															
<b>a) Poutres BA en PH R+2</b>															
Poutres 40x60ht (As : +10.80m)	2	23,05	0,4	0,6				0,00	11,06		783,70	0,00	18,44	55,32	0,00
Poutres 45x60ht (As : +10.80m)	2	42,4	0,45	0,6				0,00	22,90		2289,60	0,00	38,16	101,76	0,00
Poutres 55x70ht (As : +10.80m)	2	11,05	0,55	0,32				0,00	3,89		1016,60	0,00	12,16	14,14	0,00
								0,00	37,85	0,00	4089,90	0,00	68,76	171,22	0,00
<b>b) Dalles BA PH R+2</b>															
Dalles BA, ép. 20cm (As : +10.80m)	2			0,2	26			0,00	10,40		41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 28+7 (As : +10.80m)					539			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 24+7 (As : +10.80m)					381			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	10,40	0,00	41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
<b>3.7 - ELEVATIONS DU R+3</b>															
<b>a) Poteaux BA du R+3</b>															
Poteaux carrés 40x40x280ht, béton C40/50	8	0,4	0,4	2,8				0,00		3,58	501,76	0,00	0,00	35,84	0,00
Poteaux carrés 55x55x280ht, béton C40/50	4	0,55	0,55	2,8				0,00		3,39	491,26	0,00	0,00	24,64	0,00
Poteaux carrés 70x70x270ht, béton C40/50	2	0,7	0,7	2,7				0,00		2,65	396,90	0,00	0,00	15,12	0,00
Poteaux rectangulaires 40x50x280ht, béton C40/50	10	0,4	0,5	2,8				0,00		5,60	756,00	0,00	0,00	50,40	0,00
Poteaux rectangulaires 40x55x280ht, béton C40/50	2	0,4	0,55	2,8				0,00		1,23	160,16	0,00	0,00	10,64	0,00
								0,00	0,00	16,45	2306,08	0,00	0,00	136,64	0,00
<b>b) Voiles BA du R+3</b>															
Voiles BA ép. 30cm (As : +14.00m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,2				0,00	11,90		297,60	380,93	0,00	0,00	79,36
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		160,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +14.20m)	2	5,7	0,3	3,4				0,00	11,63		406,98	372,10	0,00	0,00	77,52
entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5															
Voiles BA ép. 30cm (As : +14.20m) file 5	1	6,2	0,3	3,4				0,00	6,32		158,10	202,37	0,00	0,00	42,16
Voiles BA ép. 25cm (As : +14.20m)	2	13,2	0,25	3,4				0,00	22,44		336,60	718,08	0,00	0,00	179,52
entre file A' / B' - sens file B															
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,25				0,00	-2,73		95,55	-87,36	0,00	6,80	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +14.20m) au droit escalier et ascenseur	2	10,2	0,2	3,4				0,00	13,87		138,72	416,16	0,00	0,00	138,72
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		30,24	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +14.00m)	4	5	0,2	3,2				0,00	12,80		448,00	614,40	0,00	0,00	128,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,2				0,00	-1,51		60,48	-72,58	0,00	4,80	0,00
								0,00	71,79	0,00	2208,71	2455,90	0,00	19,44	645,28
<b>c) Escaliers BA</b>															
Escaliers BA accès niveau R+4 de +10.80m à +14.20m : 2u															
<b>3.8 - PLANCHER HAUT DU R+3</b>															
<b>a) Poutres BA en PH R+3</b>															
Poutres 40x60ht (As : +14.20m)	2	23,05	0,4	0,6				0,00	11,06		783,70	0,00	18,44	55,32	0,00
Poutres 45x60ht (As : +14.20m)	2	42,4	0,45	0,6				0,00	22,90		2289,60	0,00	38,16	101,76	0,00
Poutres 55x70ht (As : +14.20m)	2	11,05	0,55	0,32				0,00	3,89		1016,60	0,00	12,16	14,14	0,00
								0,00	37,85	0,00	4089,90	0,00	68,76	171,22	0,00
<b>b) Dalles BA PH R+3</b>															
Dalles BA, ép. 20cm (As : +14.20m)	2			0,2	26			0,00	10,40		41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 28+7 (As : +14.20m)					539			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 24+7 (As : +14.20m)					381			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	10,40	0,00	41,60	343,20	52,00	0,00	0,00

**Tableau 56 – Métrés sources pour les produits en béton – Noyau (bâtiment béton et mixte) et superstructures (bâtiment béton) (partie 3)**

Désignation	Nbre	Long m	l ou Di m	Haut. m	Surf. m2	Péri m	Terre m3	Béton C16/20 m3	Béton C30/37 m3	Béton C40/50 m3	Acier HA Kg	Acier TS Kg	Coff.H m2	Coff.V m2	Banch m2
<b>3.9 - ELEVATIONS DU R+4</b>															
<b>a) Poteaux BA du R+4</b>															
Poteaux carrés 40x40x280ht, béton C40/50	8	0,4	0,4	2,8				0,00		3,58	501,76	0,00	0,00	35,84	0,00
Poteaux carrés 45x45x280ht, béton C40/50	4	0,45	0,45	2,8				0,00		2,27	306,18	0,00	0,00	20,16	0,00
Poteaux carrés 70x70x270ht, béton C40/50	2	0,7	0,7	2,7				0,00		2,65	396,90	0,00	0,00	15,12	0,00
Poteaux rectangulaires 40x50x280ht, béton C40/50	10	0,4	0,5	2,8				0,00		5,60	756,00	0,00	0,00	50,40	0,00
Poteaux rectangulaires 40x55x280ht, béton C40/50	2	0,4	0,55	2,8				0,00		1,23	160,16	0,00	0,00	10,64	0,00
								0,00	0,00	15,33	2121,00	0,00	0,00	132,16	0,00
<b>b) Voiles BA du R+4</b>															
Voiles BA ép. 30cm (As : +17.40m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,2				0,00	11,90		166,66	380,93	0,00	0,00	79,36
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		140,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +17.60m)	2	5,7	0,3	3,4				0,00	11,63		255,82	372,10	0,00	0,00	77,52
entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5															
Voiles BA ép. 30cm (As : +17.60m) file 5	1	6,2	0,3	3,4				0,00	6,32		113,83	202,37	0,00	0,00	42,16
Voiles BA ép. 25cm (As : +17.60m)	2	13,2	0,25	3,4				0,00	22,44		269,28	673,20	0,00	0,00	179,52
entre file A' / B' - sens file B															
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,25				0,00	-2,73		95,55	-65,52	0,00	6,80	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +17.60m) au droit escalier et ascenseur	2	10,2	0,2	3,4				0,00	13,87		138,72	416,16	0,00	0,00	138,72
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		26,46	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +17.40m)	4	5	0,2	3,2				0,00	12,80		345,60	473,60	0,00	0,00	128,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,2				0,00	-1,51		52,92	-55,94	0,00	4,80	0,00
								0,00	71,79	0,00	1681,27	2308,69	0,00	19,44	645,28
<b>c) Escaliers BA</b>															
Escaliers BA accès niveau R+5 de +14.20m à +17.60m : 2u					26										
					539										
					381										
<b>3.10 - PLANCHER HAUT DU R+4</b>															
<b>a) Poutres BA en PH R+4</b>															
Poutres 40x60ht (As : +17.60m)	2	23,05	0,4	0,6				0,00	11,06		783,70	0,00	18,44	55,32	0,00
Poutres 45x60ht (As : +17.60m)	2	42,4	0,45	0,6				0,00	22,90		2289,60	0,00	38,16	101,76	0,00
Poutres 55x70ht (As : +17.60m)	2	11,05	0,55	0,32				0,00	3,89		1016,60	0,00	12,16	14,14	0,00
								0,00	37,85	0,00	4089,90	0,00	68,76	171,22	0,00
<b>b) Dalles BA PH R+4</b>															
Dalles BA, ép. 20cm (As : +17.60m)	2			0,2	26			0,00	10,40		41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 28+7 (As : +17.60m)					539			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 24+7 (As : +17.60m)					381			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	10,40	0,00	41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
<b>3.11 - ELEVATIONS DU R+5</b>															
<b>a) Poteaux BA du R+5</b>															
Poteaux carrés 40x40x280ht, béton C40/50	22	0,4	0,4	2,8				0,00		9,86	1232,00	0,00	0,00	98,56	0,00
Poteaux carrés 55x55x275ht, béton C40/50	2	0,55	0,55	2,75				0,00		1,66	241,24	0,00	0,00	12,10	0,00
Poteaux rectangulaires 40x55x280ht, béton C40/50	2	0,4	0,55	2,8				0,00		1,23	147,84	0,00	0,00	10,64	0,00
								0,00	0,00	12,75	1621,08	0,00	0,00	121,30	0,00
<b>b) Voiles BA du R+5</b>															
Voiles BA ép. 30cm (As : +20.80m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,2				0,00	11,90		166,66	380,93	0,00	0,00	79,36
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		140,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +21.00m)	2	5,7	0,3	3,4				0,00	11,63		255,82	372,10	0,00	0,00	77,52
entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5															
Voiles BA ép. 30cm (As : +21.00m) file 5	1	6,2	0,3	3,4				0,00	6,32		113,83	202,37	0,00	0,00	42,16
Voiles BA ép. 25cm (As : +21.00m)	2	13,2	0,25	3,4				0,00	22,44		269,28	673,20	0,00	0,00	179,52
entre file A' / B' - sens file B															
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,25				0,00	-2,73		95,55	-65,52	0,00	6,80	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +21.00m) au droit escalier et ascenseur	2	10,2	0,2	3,4				0,00	13,87		138,72	416,16	0,00	0,00	138,72
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		26,46	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +20.80m)	4	5	0,2	3,2				0,00	12,80		345,60	473,60	0,00	0,00	128,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,2				0,00	-1,51		52,92	-55,94	0,00	4,80	0,00
								0,00	71,79	0,00	1681,27	2308,69	0,00	19,44	645,28
<b>c) Escaliers BA</b>															
Escaliers BA accès niveau R+6 de +17.60m à +21.00m : 2u					26										
					539										
					381										
<b>3.12 - PLANCHER HAUT DU R+5</b>															
<b>a) Poutres BA en PH R+5</b>															
Poutres 40x60ht (As : +21.00m)	2	65,45	0,4	0,6				0,00	31,42		3272,50	0,00	52,36	157,08	0,00
Poutres 55x65ht (As : +21.00m)	2	11,05	0,55	0,27				0,00	3,28		1016,60	0,00	12,16	11,93	0,00
								0,00	34,70	0,00	4289,10	0,00	64,52	169,01	0,00
<b>b) Dalles BA PH R+4</b>															
Dalles BA, ép. 20cm (As : +21.00m)	2			0,2	26			0,00	10,40		41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 28+7 (As : +21.00m)					539			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 24+7 (As : +21.00m)					381			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	10,40	0,00	41,60	343,20	52,00	0,00	0,00

**Tableau 57 – Métrés sources pour les produits en béton – Noyau (bâtiment béton et mixte) et superstructures (bâtiment béton) (partie 4)**

Désignation	Nbre	Long m	l ou Di m	Haut. m	Surf. m2	Péri m	Terre m3	Béton C16/20 m3	Béton C30/37 m3	Béton C40/50 m3	Acier HA Kg	Acier TS Kg	Coff.H m2	Coff.V m2	Banch m2
<b>3.12 - ELEVATIONS DU R+6</b>															
<i>a) Poteaux BA du R+6</i>															
Poteaux carrés 40x40x280ht, béton C40/50	22	0,4	0,4	2,8				0,00		9,86	1330,56	0,00	0,00	98,56	0,00
Poteaux carrés 55x55x275ht, béton C40/50	2	0,55	0,55	2,75				0,00		1,66	216,29	0,00	0,00	12,10	0,00
Poteaux rectangulaires 40x55x280ht, béton C40/50	2	0,4	0,55	2,8				0,00		1,23	147,84	0,00	0,00	10,64	0,00
								0,00	0,00	12,75	1694,69	0,00	0,00	121,30	0,00
<i>b) Voiles BA du R+6</i>															
Voiles BA ép. 30cm (As : +24.20m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,2				0,00	11,90		119,04	380,93	0,00	0,00	79,36
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		140,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +24.40m) entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5	2	5,7	0,3	3,4				0,00	11,63		116,28	372,10	0,00	0,00	77,52
Voiles BA ép. 30cm (As : +24.40m) file 5	1	6,2	0,3	3,4				0,00	6,32		63,24	202,37	0,00	0,00	42,16
Voiles BA ép. 25cm (As : +24.40m) entre file A' / B' - sens file B	2	13,2	0,25	3,4				0,00	22,44		269,28	673,20	0,00	0,00	179,52
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,25				0,00	-2,73		95,55	-65,52	0,00	6,80	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +24.40m) au droit escalier et ascenseu	2	10,2	0,2	3,4				0,00	13,87		138,72	416,16	0,00	0,00	138,72
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		26,46	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +24.20m)	4	5	0,2	3,2				0,00	12,80		128,00	384,00	0,00	0,00	128,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,2				0,00	-1,51		52,92	-45,36	0,00	4,80	0,00
								0,00	71,79	0,00	1225,93	2229,67	0,00	19,44	645,28
<i>c) Escaliers BA</i>															
Escaliers BA accès niveau R+7 de +21.00m à +24.40m : 2u															
<b>3.13 - PLANCHER HAUT DU R+6</b>															
<i>a) Poutres BA en PH R+6</i>															
Poutres 40x60ht (As : +24.40m)	2	65,45	0,4	0,6				0,00	31,42		3272,50	0,00	52,36	157,08	0,00
Poutres 55x65ht (As : +24.40m)	2	11,05	0,55	0,27				0,00	3,28		1016,60	0,00	12,16	11,93	0,00
								0,00	34,70	0,00	4289,10	0,00	64,52	169,01	0,00
<i>b) Dalles BA PH R+6</i>															
Dalles BA, ép. 20cm (As : +24.40m)	2			0,2	26			0,00	10,40		41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 28+7 (As : +24.40m)					539			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 24+7 (As : +24.40m)					381			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	10,40	0,00	41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
<b>3.14 - ELEVATIONS DU R+7</b>															
<i>a) Poteaux BA du R+7</i>															
Poteaux carrés 40x40x280ht, béton C40/50	22	0,4	0,4	2,8				0,00		9,86	1330,56	0,00	0,00	98,56	0,00
Poteaux carrés 55x55x275ht, béton C40/50	2	0,55	0,55	2,75				0,00		1,66	216,29	0,00	0,00	12,10	0,00
Poteaux rectangulaires 40x55x280ht, béton C40/50	2	0,4	0,55	2,8				0,00		1,23	147,84	0,00	0,00	10,64	0,00
								0,00	0,00	12,75	1694,69	0,00	0,00	121,30	0,00
<i>b) Voiles BA du R+7</i>															
Voiles BA ép. 30cm (As : +27.60m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,2				0,00	11,90		119,04	380,93	0,00	0,00	79,36
Poteaux intégrés dans voiles ( plus value HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		140,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +27.80m) entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5	2	5,7	0,3	3,4				0,00	11,63		116,28	372,10	0,00	0,00	77,52
Voiles BA ép. 30cm (As : +27.80m) file 5	1	6,2	0,3	3,4				0,00	6,32		63,24	202,37	0,00	0,00	42,16
Voiles BA ép. 25cm (As : +27.80m) entre file A' / B' - sens file B	2	13,2	0,25	3,4				0,00	22,44		269,28	673,20	0,00	0,00	179,52
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,25				0,00	-2,73		95,55	-65,52	0,00	6,80	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +27.80m) au droit escalier et ascenseu	2	10,2	0,2	3,4				0,00	13,87		138,72	416,16	0,00	0,00	138,72
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		26,46	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +27.60m)	4	5	0,2	3,2				0,00	12,80		128,00	384,00	0,00	0,00	128,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,2				0,00	-1,51		52,92	-45,36	0,00	4,80	0,00
								0,00	71,79	0,00	1225,93	2229,67	0,00	19,44	645,28
<i>c) Escaliers BA</i>															
Escaliers BA accès niveau R+8 de +24.40m à +27.80m : 2u															
<b>3.15 - PLANCHER HAUT DU R+7</b>															
<i>a) Poutres BA en PH R+7</i>															
Poutres 40x60ht (As : +27.80m)	2	65,45	0,4	0,6				0,00	31,42		3272,50	0,00	52,36	157,08	0,00
Poutres 55x65ht (As : +27.80m)	2	11,05	0,55	0,27				0,00	3,28		1016,60	0,00	12,16	11,93	0,00
								0,00	34,70	0,00	4289,10	0,00	64,52	169,01	0,00
<i>b) Dalles BA PH R+7</i>															
Dalles BA, ép. 20cm (As : +27.80m)	2			0,2	26			0,00	10,40		41,60	343,20	52,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 28+7 (As : +27.80m)					539			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 24+7 (As : +27.80m)					381			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	10,40	0,00	41,60	343,20	52,00	0,00	0,00

**Tableau 58 – Métrés sources pour les produits en béton – Noyau (bâtiment béton et mixte) et superstructures (bâtiment béton) (partie 5)**

Désignation	Nbre	Long m	l ou Di m	Haut. m	Surf. m2	Péri m	Terre m3	Béton C16/20 m3	Béton C30/37 m3	Béton C40/50 m3	Acier HA Kg	Acier TS Kg	Coff.H m2	Coff.V m2	Banch m2
<b>3.16 - ELEVATIONS DU R+8</b>															
<i>a) Poteaux BA du R+8</i>															
Poteaux carrés 40x40x280ht, béton C40/50	22	0,4	0,4	2,8				0,00		9,86	1330,56	0,00	0,00	98,56	0,00
Poteaux carrés 55x55x275ht, béton C40/50	2	0,55	0,55	2,75				0,00		1,66	216,29	0,00	0,00	12,10	0,00
Poteaux rectangulaires 40x55x280ht, béton C40/50	2	0,4	0,55	2,8				0,00		1,23	147,84	0,00	0,00	10,64	0,00
								0,00	0,00	12,75	1694,69	0,00	0,00	121,30	0,00
<i>b) Voiles BA du R+8</i>															
Voiles BA ép. 30cm (As : +31.00m) en file 3 et 7	2	6,2	0,3	3,2				0,00	11,90		119,04	380,93	0,00	0,00	79,36
Poteaux intégrés dans voiles ( plus valeur HA)	2	0		0	0	0		0,00	0,00		140,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voiles BA ép. 30cm (As : +1.20m) entre file 3 / 4 et 6 / 7 - sens file 5	2	5,7	0,3	3,4				0,00	11,63		116,28	372,10	0,00	0,00	77,52
Voiles BA ép. 30cm (As : +31.20m) file 5	1	6,2	0,3	3,4				0,00	6,32		63,24	202,37	0,00	0,00	42,16
Voiles BA ép. 25cm (As : +31.20m) entre file A' / B' - sens file B	2	13,2	0,25	3,4				0,00	22,44		269,28	673,20	0,00	0,00	179,52
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,25				0,00	-2,73		95,55	-65,52	0,00	6,80	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +31.20m) au droit escalier et ascenseu	2	10,2	0,2	3,4				0,00	13,87		138,72	416,16	0,00	0,00	138,72
déduction ouvertures 90x210ht	-2	0,9	2,1	0,2				0,00	-0,76		26,46	-22,68	0,00	2,40	0,00
déduction ouvertures 130x210ht	-4	1,3	2,1	0,2				0,00	-2,18		76,44	-65,52	0,00	5,44	0,00
Voiles BA ép. 20cm (As : +31.00m)	4	5	0,2	3,2				0,00	12,80		128,00	384,00	0,00	0,00	128,00
déduction ouvertures 90x210ht	-4	0,9	2,1	0,2				0,00	-1,51		52,92	-45,36	0,00	4,80	0,00
								0,00	71,79	0,00	1225,93	2229,67	0,00	19,44	645,28
<b>3.17 - PLANCHER HAUT DU R+8</b>															
<i>a) Poutres BA en PH R+8</i>															
Poutres 40x60ht (As : +31.20m)	2	65,45	0,4	0,6				0,00	31,42		3272,50	0,00	52,36	157,08	0,00
Poutres 55x65ht (As : +31.20m)	2	11,05	0,55	0,27				0,00	3,28		1016,60	0,00	12,16	11,93	0,00
								0,00	34,70	0,00	4289,10	0,00	64,52	169,01	0,00
<i>b) Dalles BA PH R+8</i>															
Dalles BA, ép. 20cm (As : +31.20m)	2			0,2	36			0,00	14,40		57,60	475,20	72,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 28+7 (As : +31.20m)					539			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Planchers alvéolaires précontraints 24+7 (As : +31.20m)					381			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	14,40	0,00	57,60	475,20	72,00	0,00	0,00
<b>3.18 - OUVRAGES BA EN TERRASSE</b>															
<i>a) Acrotères BA</i>															
Acrotères BA 20x30ht (As : +31.50m)	1	133	0,2	0,3				0,00	7,98		758,10	0,00	0,00	79,92	0,00
								0,00	7,98		758,10	0,00	0,00	79,92	0,00
<i>b) Edicules ascenseurs</i>															
Voiles BA ép. 20cm (As : +31.30m)	2	12,7	0,2	0,1				0,00	0,51		157,48	0,00	0,00	0,00	5,08
Dalles BA, ép. 20cm (As : +31.50m)	2			0,2	8			0,00	3,20		32,00	108,80	16,00	0,00	0,00
								0,00	3,71	0,00	189,48	108,80	16,00	0,00	5,08
<b>Total Noyau</b>								0,00	776,51	0,00	18242,68	25914,93	504,00	180,08	5928,76
Voiles					252			0,00	675,71	0,00	17820,28	22585,33	0,00	180,08	5928,76
Dalles								0,00	100,80	0,00	422,40	3329,60	504,00	0,00	0,00
Escaliers	16														
<b>Total Superstructures (hors noyau)</b>								0,00	344,00	135,64	59097,09	0,00	601,84	2884,96	0,00
Dont poutres et acrotères								0,00	344,00	0,00	39122,10	0,00	601,84	1692,02	0,00
Poteaux en béton C40/50								0,00	0,00	135,64	19974,99	0,00	0,00	1192,94	0,00
DA 24					3425			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DA 28					4855			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL Superstructures + Noyau</b>								0,00	1104,55	135,64	75823,56	25914,93	1105,84	2905,20	5928,76

## 6.5 Annexe 5 : Modélisation du mix électrique français

Le mix électrique français a été modélisé à partir des données de RTE représentatives de 2011<sup>43</sup>. Le Tableau 59 présente ces données. Attention, il est important de noter que les imports et exports d'électricité ne sont pas considérés dans cette étude et que seule la production nationale est prise en compte. Les raisons pour ce choix sont que la prise en compte des imports et exports impose une reconstruction des mix électriques des pays concernés et implique l'utilisation de règles d'allocations. A titre d'information, selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE)<sup>44</sup>, les imports et exports français représentaient en 2009 respectivement 18517 GWh et 44451 GWh soit 3,4% et 8,2% de la production nationale.

Tableau 59 – Sources de production d'électricité dans le mix électrique français en 2011

Source	Production (GWh)	Part dans le mix français (%)
Nucléaire	4211118	77,6
Charbon	13408	2,5
Fioul	7643	1,4
Gaz	30454	5,6
Hydraulique	50267	9,3
Thermique à combustion renouvelable	5570	1,0
Photovoltaïque	2415	0,4
Eolien	12075	2,2
<b>TOTAL</b>	<b>542950</b>	<b>100,0</b>

Les pertes sur le réseau, les infrastructures et les émissions liées à la distribution d'électricité aux différentes tensions (haute, moyenne et basse) ont été prises en compte selon la méthodologie proposée par la base de données ecoinvent<sup>45</sup>. Les pertes sur le réseau sont ainsi évaluées à 7,2 % dans cette étude. A titre d'exemple, la valeur de pertes considérée dans le FD P 01-015 est de 6,2%.

Les inventaires de cycle de vie utilisés pour modéliser les différentes sources d'électricité sont issus de la base de données ecoinvent v2.2 et sont présentés dans le Tableau 60 suivant. La sélection de ces inventaires a été validée à partir d'une étude récente sur les mix électriques mondiaux<sup>46</sup>.

<sup>43</sup> RTE : Réseau de Transport d'Electricité, <http://www.rte-france.com/fr/mediatheque/documents/l-electricite-en-france-donnees-et-analyses-16-fr/publications-annuelles-ou-saisonniere-98-fr/statistiques-de-l-energie-electrique-en-france-statistiques-de-l-energie-electrique-en-france-fr>

<sup>44</sup> [http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY\\_CODE=FR](http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=FR)

<sup>45</sup> Frischknecht R., Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report N°6, Swish center for LCI, PSI.

<sup>46</sup> Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid, Itten R., Frischknecht R., Sucki M. on behalf of the Paul Scherrer Institut (PSI), Ulster, July 2012.

Tableau 6o – ICV utilisés pour la modélisation des différentes sources d'électricité

Source	Nom de l'inventaire ecoinvent 2.2
Nucléaire	Electricity, nuclear, at power plant pressure water reactor/FR
Charbon	Electricity, hard coal, at power plant/FR
Fioul	Electricity, oil, at power plant/FR
Gaz	Electricity, natural gas, at power plant/FR
Hydraulique	Electricity, hydropower, at run-off river power plant/RER
Thermique à combustion renouvelable	Electricity, from waste, at municipal incineration plant/CH
Photovoltaïque	Electricity, production mix photovoltaic, at plant/FR
Eolien	Electricity, at wind power plant/RER

## 6.6 Annexe 6 : Analyse de sensibilité sur la prise en compte du transport de personnel de chantier

Cette analyse de sensibilité porte uniquement sur les éléments différenciant entre les bâtiments, à savoir la superstructure et le noyau. Les scénarios de transport utilisés dans cette analyse ont été établis par BIO IS et validés par le panel de revue critique.

### ► Données et hypothèses

- Durée du chantier : 16 semaines (pour les différentes alternatives)
- Pour les bâtiments mixte et mixte optimisé:
  - Nombre de personnes : 10
  - Type de déplacements : 1 déplacement<sup>47</sup> de niveau national par semaine et des déplacements quotidiens au niveau local
- Pour le bâtiment béton :
  - Nombre de personnes : 30
  - Type de déplacements : Déplacements quotidiens au niveau régional
- Déplacement national : 500 km
- Déplacement régional : 30 km
- Déplacement local : 10 km

### ► Résultats

Cette analyse montre une contribution maximale du transport des personnels de chantier à hauteur de 5% de l'impact de la structure et de 0,07 % de l'impact du bâtiment pour tous les indicateurs d'impact et bâtiments étudiés. En conséquence, le transport des personnels de chantier n'a pas d'influence sur la comparaison des superstructures et des noyaux. Toutefois, les résultats de cette analyse ne peuvent être extrapolés à l'ensemble des phases du chantier étant donné leurs spécificités (durée, nombre d'intervenants,...).

---

<sup>47</sup> La notion de « déplacement » fait ici référence à un déplacement aller/retour.

## 6.7 Annexe 7 : Analyse de sensibilité sur la prise en compte du module D des normes NF EN 15804 et 15978

### 6.7.1 Hypothèses et données utilisées

Les normes NF EN 15804 et NF EN 15978 permettent de quantifier les bénéfices et charges environnementales au-delà des frontières du système étudié. Ces impacts sont pris en compte dans le module D, qui est un module complémentaire aux modules A<sub>1</sub> à C<sub>4</sub> portant sur le cycle de vie du produit ou du bâtiment.

Dans le cadre de cette analyse de sensibilité, la prise en compte du module D a pour objectif d'évaluer les bénéfices et charges associés au recyclage des produits et matériaux de construction lors de la fin de vie des bâtiments.

Par soucis de simplification, seul le recyclage des produits et matériaux **en acier** et **en béton** est évalué. En effet, il s'agit des principaux matériaux constitutifs des bâtiments et ils présentent un caractère différenciant entre les différents bâtiments étudiés.

#### ► Méthode de calcul du module D

La méthodologie de calcul présentée ci-dessous est conforme aux exigences des normes NF EN 15804 et NF EN 15978 et est basée sur les documents suivants :

- Proposition technique pour la prise en compte du bénéfice net et du recyclage du stock des matériaux de construction dans les FDES des produits de construction, AIMCC, 2011,
- Tackling recycling aspects in EN 15804, International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction, 2012.

Le calcul du module D est basé sur la notion d'impacts « nets ». Il prend en compte :

- les bénéfices potentiels liés à la baisse d'utilisation ultérieure de matière et combustibles primaires,
- et les charges associées aux processus de recyclage et de récupération au-delà des frontières du système.

Le schéma de base pour la modélisation du recyclage d'un produit ou matériau de construction donné est présenté ci-dessous.

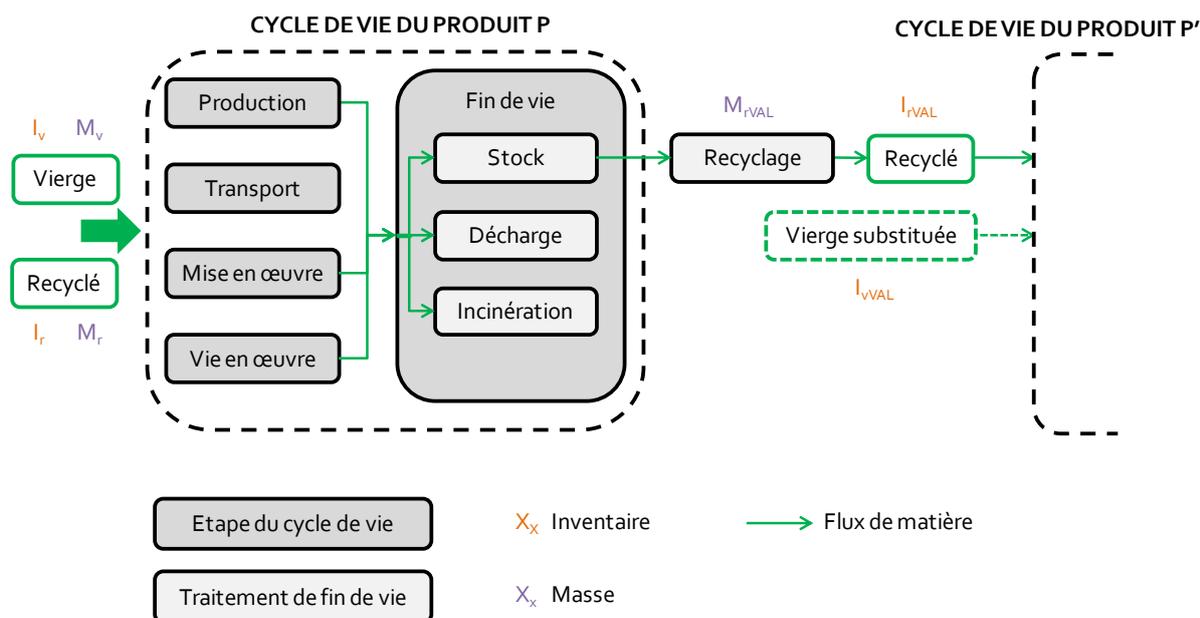


Figure 24 – Schéma de base pour la modélisation du recyclage

A partir de ce schéma de base, les bénéfices nets du recyclage se calculent de la manière suivante pour un produit/matériau donné :

$$\text{Bénéfices nets du recyclage pour un matériau} = M_{rVAL} (I_{vVAL} - I_{rVAL}) - M_r (I_v - I_r)$$

Avec:

- I<sub>vVAL</sub> : Inventaire de production du matériau auquel le matériau secondaire valorisé se substitue dans le système aval (produit P')
- I<sub>rVAL</sub> : Inventaire de production de matériau secondaire prêt à l'emploi dans le système aval (produit P')
- I<sub>v</sub> : Inventaire de production du matériau vierge utilisé pour produire le produit P
- I<sub>r</sub> : Inventaire de production du matériau secondaire prêt à l'emploi utilisé pour produire le produit P
- M<sub>v</sub> : Masse de matériau vierge introduit dans le produit P lors de sa fabrication
- M<sub>r</sub> : Masse de matériau secondaire introduit dans le produit P lors de sa fabrication
- M<sub>rVAL</sub> : Masse de matériau secondaire effectivement récupéré à partir de la masse de stock collecté

Enfin, les impacts totaux du recyclage du stock sont calculés en sommant les impacts nets pour l'ensemble des matériaux utilisés dans le produit P.

### ► Cas de l'acier

Dans le cas de l'acier, le module D s'applique selon le schéma présenté ci-dessous. Il est important de noter que ce schéma s'applique à tous les produits en acier considérés dans l'étude. De plus, dans le cas de l'acier, le produit P peut être différent du produit P', mais le dénominateur commun dans le processus se situe au niveau de la coulée continue, où les filières four électrique (secondaire) et haut-

fourneau (primaire) se rejoignent. Dans le système du produit P', la valeur  $I_{VVAL} - I_{rVAL}$  correspond à la différence entre les impacts de la voie primaire et secondaire, jusqu'à la coulée continue. Cette valeur est égale à la valeur  $I_v - I_r$  du système du produit P.

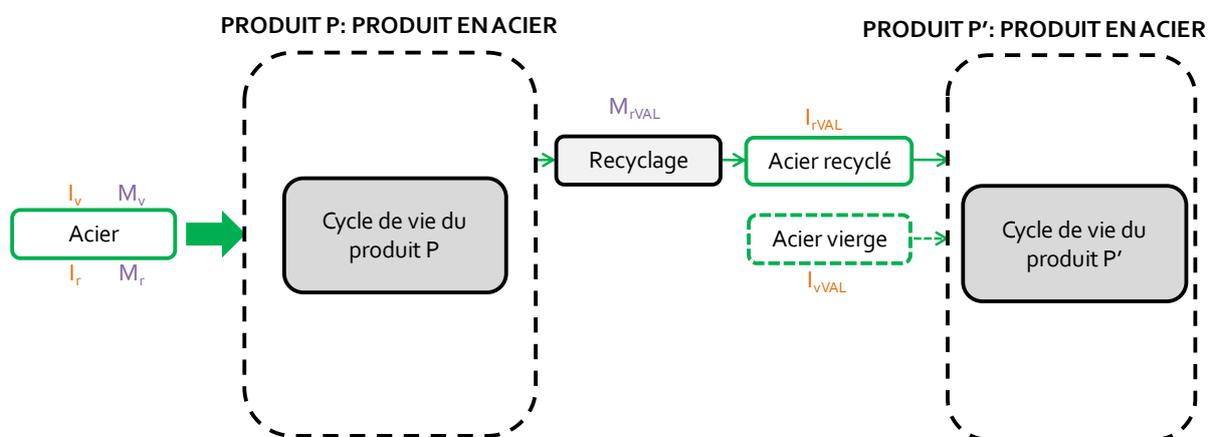


Figure 25 – Schéma d'application du module D dans le cas de l'acier

Les données et sources associées pour modéliser les impacts nets du recyclage de l'acier sont présentées dans le Tableau 61 et le Tableau 62.

Pour l'acier à béton, la masse de matériau secondaire effectivement récupérée du stock collecté ( $M_{rVAL}$ ) est calculée en prenant en compte le taux de récupération des produits en béton armé puis le taux spécifique de l'acier à béton.

Pour les données d'inventaires, un inventaire spécifique correspondant à la valeur d'une tonne de ferraille (sur la base des impacts évités) a été fourni par ArcelorMittal. De la même manière que pour les autres inventaires des produits en acier fournis par ArcelorMittal, ce dernier a été caractérisé par BIO IS pour s'assurer de sa conformité avec la norme NF P 01-010. Cet inventaire correspond à la différence  $I_{VVAL} - I_{rVAL} = I_r - I_v$ . Des informations complémentaires sur cet inventaire sont disponibles dans le rapport méthodologique de la World Steel Association<sup>48</sup> (en particulier dans l'annexe 10 de ce rapport).

<sup>48</sup> World Steel Association, Life Cycle Assessment Methodology report, Life Cycle Inventory study for steel products, 2011.

Tableau 61 – Données de base utilisées pour modéliser les impacts nets du recyclage de l'acier

Produit	Donnée pour 1 kg de produit acier	Valeur pour 1 kg de produit acier	Source
Poutrelle	$M_r$	0,90 kg <sup>49</sup>	FDES Poutrelle en acier
	$M_{rVAL}$	0,98 kg <sup>50</sup>	FDES Poutrelle en acier
Acier à béton	$M_r$	0,70 kg	WSA, ICV « Rebars »
	$M_{rVAL}$	0,73 kg <sup>51</sup>	WSA, ICV « Rebars »
Bacs collaborant	$M_r$	0,092 kg	WSA, ICV « Hot Dip Galvanised product »
	$M_{rVAL}$	0,90 kg	FDES Profil en acier pour plancher collaborant

Tableau 62 – Inventaires de cycle de vie utilisés pour modéliser les impacts nets du recyclage de l'acier

Produit	Donnée	Nom/Source de l'inventaire	Commentaires
Poutrelle	$I_{vVAL} - I_{rVAL}$	Inventaire de ferraille (WSA)	$I_{vVAL} - I_{rVAL} = I_v - I_r =$ Inventaire de ferraille (WSA)
Acier à béton	$I_{vVAL} - I_{rVAL}$	Inventaire de ferraille (WSA)	
Bacs collaborant	$I_{vVAL} - I_{rVAL}$	Inventaire de ferraille (WSA)	

### ► Cas du béton

Dans le cas du béton, le module D s'applique selon le schéma présenté ci-dessous :

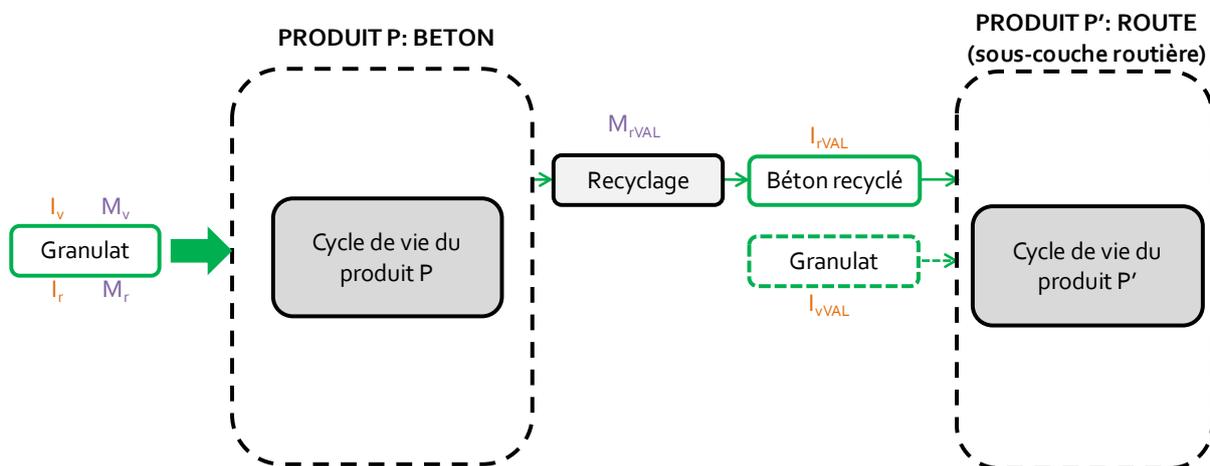


Figure 26 – Schéma d'application du module D dans le cas du béton

<sup>49</sup>  $0,512 / 0,571 = 0,897$  kg/kg de poutrelle

<sup>50</sup>  $0,560 / 0,571 = 0,981$  kg/kg de poutrelle

<sup>51</sup> Taux de récupération spécifique à l'acier à béton = 0,95 kg pour 1 kg d'acier à béton (source : ArcelorMittal)

Taux de récupération des produits béton : 0,77 kg pour 1 kg de produit en béton (source : voir Tableau 63)

$M_{rVAL}$  de l'acier à béton =  $0,77 * 0,95 = 0,73$  kg par kg d'acier à béton

Les données et sources associées pour modéliser les impacts nets du recyclage du béton sont présentées dans le Tableau 63 et le Tableau 64. Ces données seront appliquées à l'ensemble des matériaux en béton présents dans les bâtiments.

Tableau 63 – Données d'activité utilisées pour modéliser les bénéfices nets du recyclage du béton<sup>52</sup>

Donnée	Valeur pour 1 kg de béton	Source
$M_r$	0 kg	Pas de données disponibles. Conformément à la norme NF EN 15804, une approche conservatrice est utilisée.
$M_{rVAL}$	0,77 kg	IREX (Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil), PN RECYBETON, RECYclage complet des BETONS, Etude de faisabilité, 2011, p.7 ( <a href="http://www.pnrecybeton.fr/Telechargement/Documents/PNRECYBETON%20Faisabilite.pdf">http://www.pnrecybeton.fr/Telechargement/Documents/PNRECYBETON%20Faisabilite.pdf</a> )

Tableau 64 – Inventaires de cycle de vie utilisés pour modéliser les impacts bénéfiques du recyclage du béton

Donnée	Nom/Source de l'inventaire
$I_v$	Module d'informations environnementales – Granulats massifs
$I_r$	Module d'informations environnementales – Granulats recyclés
$I_{vVAL}$	Module d'informations environnementales – Granulats massifs
$I_{rVAL}$	Module d'informations environnementales – Granulats recyclés

<sup>52</sup> Données fournies par CIMBéton

## 6.8 Annexe 8 : Résultats pour la durée de vie totale et la surface totale du bâtiment

### 6.8.1 Comparaison des superstructures et des noyaux (sans prise en compte du module D)

- Comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec la superstructure et le noyau du bâtiment béton

Tableau 65 – Comparaison des impacts environnementaux de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec ceux de la superstructure et du noyau du bâtiment béton (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et de la DVT)

Categorie	Indicateur	Unité	Bâtiment mixte	Bâtiment béton	Écart relatif (%)	Niveau d'incertitude (%)	Significativité de l'écart
<b>Superstructure (poutres, poteaux et dalles)</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	2,47E+06	2,47E+06	0%	+ -20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	3,74E+03	3,56E+03	-5%	+ -30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	2,84E+03	4,13E+03	45%	+ -20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	8,74E+07	6,58E+07	-25%	+ -50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	8,23E+05	1,04E+06	27%	+ -20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	2,56E+03	3,68E+03	44%	+ -30%	Oui
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,32E+02	3,01E+02	128%	+ -30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	9,97E+04	3,20E+05	221%	+ -50%	Oui
Déchets	Déchets dangereux	t	3,81E+00	1,08E+00	-72%	+ -20%	Oui
	Déchets non dangereux	t	6,92E+00	1,27E+01	83%	+ -20%	Oui
	Déchets inertes	t	1,01E+03	4,21E+03	316%	+ -20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	5,99E-02	6,65E-02	11%	+ -20%	Non
<b>Noyaux</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	7,22E+05	7,22E+05	0%	+ -20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	1,09E+03	1,09E+03	0%	+ -30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	1,52E+03	1,52E+03	0%	+ -20%	Non
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	2,23E+07	2,23E+07	0%	+ -50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	3,30E+05	3,30E+05	0%	+ -20%	Non
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	1,13E+03	1,13E+03	0%	+ -30%	Non
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,57E+01	8,57E+01	0%	+ -30%	Non
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	7,52E+04	7,52E+04	0%	+ -50%	Non
Déchets	Déchets dangereux	t	7,21E-01	7,21E-01	0%	+ -20%	Non
	Déchets non dangereux	t	6,22E+00	6,22E+00	0%	+ -20%	Non
	Déchets inertes	t	6,17E+02	6,17E+02	0%	+ -20%	Non
	Déchets radioactifs	t	2,04E-02	2,04E-02	0%	+ -20%	Non
<b>Superstructure + Noyau</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	3,19E+06	3,19E+06	0%	+ -20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	4,83E+03	4,64E+03	-4%	+ -30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	4,35E+03	5,64E+03	30%	+ -20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	1,10E+08	8,82E+07	-20%	+ -50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	1,15E+06	1,37E+06	19%	+ -20%	Non
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	3,69E+03	4,81E+03	30%	+ -30%	Oui
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,17E+02	3,86E+02	78%	+ -30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	1,75E+05	3,95E+05	126%	+ -50%	Oui
Déchets	Déchets dangereux	t	4,53E+00	1,80E+00	-60%	+ -20%	Oui
	Déchets non dangereux	t	1,31E+01	1,89E+01	44%	+ -20%	Oui
	Déchets inertes	t	1,63E+03	4,83E+03	197%	+ -20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	8,04E-02	8,69E-02	8%	+ -20%	Non

► Comparaison de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec la superstructure et le noyau du bâtiment mixte optimisé

Tableau 66 – Comparaison des impacts environnementaux de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte avec ceux de la superstructure et du noyau du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et de la DVT)

Categorie	Indicateur	Unité	Bâtiment mixte	Bâtiment mixte optimisé	Écart relatif (%)	Niveau d'incertitude (%)	Significativité de l'écart
<b>Superstructure (poutres, poteaux et dalles)</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	2,47E+06	2,24E+06	-9%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	3,74E+03	3,41E+03	-9%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	2,84E+03	2,75E+03	-3%	+20%	Non
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	8,74E+07	7,98E+07	-9%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	8,23E+05	7,63E+05	-7%	+20%	Non
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	2,56E+03	2,39E+03	-7%	+30%	Non
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,32E+02	1,26E+02	-4%	+30%	Non
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	9,97E+04	9,71E+04	-3%	+50%	Non
Déchets	Déchets dangereux	t	3,81E+00	3,46E+00	-9%	+20%	Non
	Déchets non dangereux	t	6,92E+00	6,83E+00	-1%	+20%	Non
	Déchets inertes	t	1,01E+03	1,01E+03	0%	+20%	Non
	Déchets radioactifs	t	5,99E-02	5,84E-02	-3%	+20%	Non
<b>Noyaux</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	7,22E+05	4,80E+05	-34%	+20%	Oui
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	1,09E+03	6,98E+02	-36%	+30%	Oui
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	1,52E+03	2,84E+02	-81%	+20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	2,23E+07	1,59E+07	-29%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	3,30E+05	1,40E+05	-58%	+20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	1,13E+03	4,26E+02	-62%	+30%	Oui
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,57E+01	1,79E+01	-79%	+30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	7,52E+04	1,13E+04	-85%	+50%	Oui
Déchets	Déchets dangereux	t	7,21E-01	6,89E-01	-5%	+20%	Non
	Déchets non dangereux	t	6,22E+00	3,93E-01	-94%	+20%	Oui
	Déchets inertes	t	6,17E+02	6,48E+01	-89%	+20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	2,04E-02	5,23E-03	-74%	+20%	Oui
<b>Superstructure + Noyau</b>							
Ressources	Energie primaire non renouvelable	kWh <sub>EP</sub>	3,19E+06	2,72E+06	-15%	+20%	Non
	Epuisement des ressources	kg éq Sb	4,83E+03	4,11E+03	-15%	+30%	Non
	Consommation d'eau	m <sup>3</sup>	4,35E+03	3,04E+03	-30%	+20%	Oui
Air	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	1,10E+08	9,57E+07	-13%	+50%	Non
	Changement climatique	kg éq CO <sub>2</sub>	1,15E+06	9,03E+05	-22%	+20%	Oui
	Acidification atmosphérique	kg éq SO <sub>2</sub>	3,69E+03	2,81E+03	-24%	+30%	Non
	Formation d'ozone photochimique	kg éq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,17E+02	1,44E+02	-34%	+30%	Oui
Eau	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	1,75E+05	1,08E+05	-38%	+50%	Non
Déchets	Déchets dangereux	t	4,53E+00	4,15E+00	-8%	+20%	Non
	Déchets non dangereux	t	1,31E+01	7,22E+00	-45%	+20%	Oui
	Déchets inertes	t	1,63E+03	1,08E+03	-34%	+20%	Oui
	Déchets radioactifs	t	8,04E-02	6,37E-02	-21%	+20%	Oui

## 6.8.2 Mise en perspective des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux des bâtiments

### ► Comparaison du bâtiment mixte et du bâtiment béton

Tableau 67 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H1a)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Ressources	<b>Consommation de ressources énergétiques non renouvelables (Energie primaire non renouvelable) - kWh<sub>EP</sub></b>					
	Superstructure	2,47E+06	1%	2,47E+06	1%	0,1%
	Noyau	7,22E+05	0%	7,22E+05	0%	
	Fondations	1,25E+06	0%	1,25E+06	0%	
	Infrastructures	9,84E+05	0%	9,84E+05	0%	
	Enveloppe	2,82E+06	1%	2,82E+06	1%	
	Second Œuvre	2,57E+06	1%	2,57E+06	1%	
	Exploitation du bâtiment	1,31E+08	37%	1,31E+08	37%	
	Activité	1,13E+08	32%	1,13E+08	32%	
	Déplacement des usagers	1,03E+08	29%	1,03E+08	29%	
	<b>Total</b>	<b>3,58E+08</b>	<b>100%</b>	<b>3,58E+08</b>	<b>100%</b>	<b>0,0%</b>
	<b>Epuisement des ressources - kg éq Sb</b>					
	Superstructure	3,74E+03	2%	3,56E+03	2%	-5,0%
	Noyau	1,09E+03	0%	1,09E+03	0%	
	Fondations	2,04E+03	1%	2,04E+03	1%	
	Infrastructures	1,50E+03	1%	1,50E+03	1%	
	Enveloppe	4,06E+03	2%	4,06E+03	2%	
	Second Œuvre	2,70E+03	1%	2,70E+03	1%	
	Exploitation du bâtiment	1,98E+04	9%	1,98E+04	9%	
	Activité	4,87E+04	21%	4,87E+04	21%	
	Déplacement des usagers	1,49E+05	64%	1,49E+05	64%	
	<b>Total</b>	<b>2,33E+05</b>	<b>100%</b>	<b>2,33E+05</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Consommation d'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	2,84E+03	0%	4,13E+03	0%	45,4%
	Noyau	1,52E+03	0%	1,52E+03	0%	
	Fondations	2,87E+03	0%	2,87E+03	0%	
	Infrastructures	2,28E+03	0%	2,28E+03	0%	
	Enveloppe	1,54E+04	2%	1,54E+04	2%	
	Second Œuvre	4,27E+03	0%	4,27E+03	0%	
	Exploitation du bâtiment	2,98E+05	29%	2,98E+05	29%	
Activité	6,04E+05	59%	6,04E+05	59%		
Déplacement des usagers	9,14E+04	9%	9,14E+04	9%		
<b>Total</b>	<b>1,02E+06</b>	<b>100%</b>	<b>1,02E+06</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>	

Tableau 68 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H1a) (Suite I)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Air	<b>Pollution de l'air - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	8,74E+07	2%	6,58E+07	1%	-24,7%
	Noyau	2,23E+07	0%	2,23E+07	0%	
	Fondations	2,56E+07	1%	2,56E+07	1%	
	Infrastructures	3,26E+07	1%	3,26E+07	1%	
	Enveloppe	6,08E+07	1%	6,08E+07	1%	
	Second Œuvre	2,90E+07	1%	2,90E+07	1%	
	Exploitation du bâtiment	5,99E+08	12%	5,99E+08	12%	
	Activité	1,15E+09	23%	1,15E+09	23%	
	Déplacement des usagers	3,05E+09	60%	3,05E+09	61%	
	<b>Total</b>	<b>5,06E+09</b>	<b>100%</b>	<b>5,04E+09</b>	<b>100%</b>	<b>-0,4%</b>
	<b>Changement climatique - kg éq CO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	8,23E+05	3%	1,04E+06	3%	26,5%
	Noyau	3,30E+05	1%	3,30E+05	1%	
	Fondations	2,94E+05	1%	2,94E+05	1%	
	Infrastructures	4,30E+05	1%	4,30E+05	1%	
	Enveloppe	5,37E+05	2%	5,37E+05	2%	
	Second Œuvre	3,52E+05	1%	3,52E+05	1%	
	Exploitation du bâtiment	3,00E+06	9%	3,00E+06	9%	
	Activité	4,26E+06	13%	4,26E+06	13%	
	Déplacement des usagers	2,22E+07	69%	2,22E+07	68%	
	<b>Total</b>	<b>3,22E+07</b>	<b>100%</b>	<b>3,24E+07</b>	<b>100%</b>	<b>0,7%</b>
	<b>Acidification atmosphérique - kg éq SO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	2,56E+03	2%	3,68E+03	3%	43,8%
	Noyau	1,13E+03	1%	1,13E+03	1%	
	Fondations	1,87E+03	1%	1,87E+03	1%	
	Infrastructures	1,51E+03	1%	1,51E+03	1%	
	Enveloppe	3,72E+03	3%	3,72E+03	3%	
	Second Œuvre	2,90E+03	2%	2,90E+03	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,57E+04	11%	1,57E+04	11%	
	Activité	4,34E+04	30%	4,34E+04	30%	
	Déplacement des usagers	7,02E+04	49%	7,02E+04	49%	
	<b>Total</b>	<b>1,43E+05</b>	<b>100%</b>	<b>1,44E+05</b>	<b>100%</b>	<b>0,8%</b>
	<b>Formation d'ozone photochimique - kg éq C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>					
	Superstructure	1,32E+02	1%	3,01E+02	1%	128,5%
	Noyau	8,57E+01	0%	8,57E+01	0%	
	Fondations	1,56E+02	1%	1,56E+02	1%	
	Infrastructures	1,14E+02	1%	1,14E+02	1%	
	Enveloppe	3,63E+02	2%	3,63E+02	2%	
	Second Œuvre	1,35E+03	7%	1,35E+03	6%	
	Exploitation du bâtiment	4,15E+02	2%	4,15E+02	2%	
Activité	3,50E+03	17%	3,50E+03	17%		
Déplacement des usagers	1,46E+04	70%	1,46E+04	70%		
<b>Total</b>	<b>2,07E+04</b>	<b>100%</b>	<b>2,09E+04</b>	<b>100%</b>	<b>0,8%</b>	
Eau	<b>Pollution de l'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	9,97E+04	0%	3,20E+05	0%	221,0%
	Noyau	7,52E+04	0%	7,52E+04	0%	
	Fondations	1,11E+05	0%	1,11E+05	0%	
	Infrastructures	1,07E+05	0%	1,07E+05	0%	
	Enveloppe	3,30E+08	95%	3,30E+08	95%	
	Second Œuvre	6,32E+05	0%	6,32E+05	0%	
	Exploitation du bâtiment	7,29E+05	0%	7,29E+05	0%	
	Activité	7,91E+06	2%	7,91E+06	2%	
	Déplacement des usagers	7,95E+06	2%	7,95E+06	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,48E+08</b>	<b>100%</b>	<b>3,48E+08</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>

Tableau 69 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H1a) (Suite II)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Déchets	<b>Déchets dangereux - kg</b>					
	Superstructure	3,81E+00	1%	1,08E+00	0%	-71,6%
	Noyau	7,21E-01	0%	7,21E-01	0%	
	Fondations	3,72E-01	0%	3,72E-01	0%	
	Infrastructures	1,23E+00	0%	1,23E+00	0%	
	Enveloppe	4,00E+00	1%	4,00E+00	1%	
	Second Œuvre	7,95E+01	30%	7,95E+01	30%	
	Exploitation du bâtiment	1,66E+00	1%	1,66E+00	1%	
	Activité	1,72E+02	64%	1,72E+02	65%	
	Déplacement des usagers	5,66E+00	2%	5,66E+00	2%	
	<b>Total</b>	<b>2,69E+02</b>	<b>100%</b>	<b>2,67E+02</b>	<b>100%</b>	<b>-1,0%</b>
	<b>Déchets non dangereux - kg</b>					
	Superstructure	6,92E+00	0%	1,27E+01	0%	82,7%
	Noyau	6,22E+00	0%	6,22E+00	0%	
	Fondations	7,08E+00	0%	7,08E+00	0%	
	Infrastructures	1,11E+01	0%	1,11E+01	0%	
	Enveloppe	3,52E+01	0%	3,52E+01	0%	
	Second Œuvre	1,51E+02	2%	1,51E+02	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,21E+03	14%	1,21E+03	14%	
	Activité	5,68E+03	66%	5,68E+03	66%	
	Déplacement des usagers	1,47E+03	17%	1,47E+03	17%	
	<b>Total</b>	<b>8,57E+03</b>	<b>100%</b>	<b>8,58E+03</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>
	<b>Déchets inertes - kg</b>					
	Superstructure	1,01E+03	6%	4,21E+03	21%	316,4%
	Noyau	6,17E+02	4%	6,17E+02	3%	
	Fondations	1,23E+04	74%	1,23E+04	62%	
	Infrastructures	8,70E+02	5%	8,70E+02	4%	
	Enveloppe	1,52E+02	1%	1,52E+02	1%	
	Second Œuvre	8,75E+01	1%	8,75E+01	0%	
	Exploitation du bâtiment	2,00E+02	1%	2,00E+02	1%	
	Activité	4,59E+02	3%	4,59E+02	2%	
	Déplacement des usagers	8,10E+02	5%	8,10E+02	4%	
	<b>Total</b>	<b>1,65E+04</b>	<b>100%</b>	<b>1,97E+04</b>	<b>100%</b>	<b>19,4%</b>
	<b>Déchets radioactifs - kg</b>					
	Superstructure	5,99E-02	1%	6,65E-02	1%	10,9%
	Noyau	2,04E-02	0%	2,04E-02	0%	
	Fondations	9,34E-03	0%	9,34E-03	0%	
	Infrastructures	2,90E-02	0%	2,90E-02	0%	
	Enveloppe	2,94E-02	0%	2,94E-02	0%	
	Second Œuvre	5,30E-02	1%	5,30E-02	1%	
	Exploitation du bâtiment	5,72E+00	54%	5,72E+00	54%	
Activité	3,94E+00	37%	3,94E+00	37%		
Déplacement des usagers	6,64E-01	6%	6,64E-01	6%		
<b>Total</b>	<b>1,05E+01</b>	<b>100%</b>	<b>1,05E+01</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>	

► Comparaison du bâtiment mixte et du bâtiment mixte optimisé

Tableau 70 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H1a)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Ressources	<b>Consommation de ressources énergétiques non renouvelables (Energie primaire non renouvelable) - kWh<sub>EP</sub></b>					
	Superstructure	2,47E+06	1%	2,24E+06	1%	-9,3%
	Noyau	7,22E+05	0%	4,80E+05	0%	-33,6%
	Fondations	1,25E+06	0%	1,25E+06	0%	
	Infrastructures	9,84E+05	0%	9,84E+05	0%	
	Enveloppe	2,82E+06	1%	2,82E+06	1%	
	Second Œuvre	2,57E+06	1%	2,57E+06	1%	
	Exploitation du bâtiment	1,31E+08	37%	1,31E+08	37%	
	Activité	1,13E+08	32%	1,13E+08	32%	
	Déplacement des usagers	1,03E+08	29%	1,03E+08	29%	
	<b>Total</b>	<b>3,58E+08</b>	<b>100%</b>	<b>3,58E+08</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Epuisement des ressources - kg éq Sb</b>					
	Superstructure	3,74E+03	2%	3,41E+03	1%	-8,8%
	Noyau	1,09E+03	0%	6,98E+02	0%	-35,8%
	Fondations	2,04E+03	1%	2,04E+03	1%	
	Infrastructures	1,50E+03	1%	1,50E+03	1%	
	Enveloppe	4,06E+03	2%	4,06E+03	2%	
	Second Œuvre	2,70E+03	1%	2,70E+03	1%	
	Exploitation du bâtiment	1,98E+04	9%	1,98E+04	9%	
	Activité	4,87E+04	21%	4,87E+04	21%	
	Déplacement des usagers	1,49E+05	64%	1,49E+05	64%	
	<b>Total</b>	<b>2,33E+05</b>	<b>100%</b>	<b>2,32E+05</b>	<b>100%</b>	<b>-0,3%</b>
	<b>Consommation d'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	2,84E+03	0%	2,75E+03	0%	-3,0%
	Noyau	1,52E+03	0%	2,84E+02	0%	-81,3%
	Fondations	2,87E+03	0%	2,87E+03	0%	
	Infrastructures	2,28E+03	0%	2,28E+03	0%	
Enveloppe	1,54E+04	2%	1,54E+04	2%		
Second Œuvre	4,27E+03	0%	4,27E+03	0%		
Exploitation du bâtiment	2,98E+05	29%	2,98E+05	29%		
Activité	6,04E+05	59%	6,04E+05	59%		
Déplacement des usagers	9,14E+04	9%	9,14E+04	9%		
<b>Total</b>	<b>1,02E+06</b>	<b>100%</b>	<b>1,02E+06</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>	

Tableau 71 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H1a) (Suite I)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Air	<b>Pollution de l'air - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	8,74E+07	2%	7,98E+07	2%	-8,7%
	Noyau	2,23E+07	0%	1,59E+07	0%	-29,0%
	Fondations	2,56E+07	1%	2,56E+07	1%	
	Infrastructures	3,26E+07	1%	3,26E+07	1%	
	Enveloppe	6,08E+07	1%	6,08E+07	1%	
	Second Œuvre	2,90E+07	1%	2,90E+07	1%	
	Exploitation du bâtiment	5,99E+08	12%	5,99E+08	12%	
	Activité	1,15E+09	23%	1,15E+09	23%	
	Déplacement des usagers	3,05E+09	60%	3,05E+09	61%	
	<b>Total</b>	<b>5,06E+09</b>	<b>100%</b>	<b>5,05E+09</b>	<b>100%</b>	<b>-0,3%</b>
	<b>Changement climatique - kg éq CO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	8,23E+05	3%	7,63E+05	2%	-7,3%
	Noyau	3,30E+05	1%	1,40E+05	0%	-57,5%
	Fondations	2,94E+05	1%	2,94E+05	1%	
	Infrastructures	4,30E+05	1%	4,30E+05	1%	
	Enveloppe	5,37E+05	2%	5,37E+05	2%	
	Second Œuvre	3,52E+05	1%	3,52E+05	1%	
	Exploitation du bâtiment	3,00E+06	9%	3,00E+06	9%	
	Activité	4,26E+06	13%	4,26E+06	13%	
	Déplacement des usagers	2,22E+07	69%	2,22E+07	69%	
	<b>Total</b>	<b>3,22E+07</b>	<b>100%</b>	<b>3,19E+07</b>	<b>100%</b>	<b>-0,8%</b>
	<b>Acidification atmosphérique - kg éq SO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	2,56E+03	2%	2,39E+03	2%	-6,8%
	Noyau	1,13E+03	1%	4,26E+02	0%	-62,2%
	Fondations	1,87E+03	1%	1,87E+03	1%	
	Infrastructures	1,51E+03	1%	1,51E+03	1%	
	Enveloppe	3,72E+03	3%	3,72E+03	3%	
	Second Œuvre	2,90E+03	2%	2,90E+03	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,57E+04	11%	1,57E+04	11%	
	Activité	4,34E+04	30%	4,34E+04	31%	
	Déplacement des usagers	7,02E+04	49%	7,02E+04	49%	
	<b>Total</b>	<b>1,43E+05</b>	<b>100%</b>	<b>1,42E+05</b>	<b>100%</b>	<b>-0,6%</b>
	<b>Formation d'ozone photochimique - kg éq C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>					
	Superstructure	1,32E+02	1%	1,26E+02	1%	-4,0%
	Noyau	8,57E+01	0%	1,79E+01	0%	-79,1%
	Fondations	1,56E+02	1%	1,56E+02	1%	
	Infrastructures	1,14E+02	1%	1,14E+02	1%	
	Enveloppe	3,63E+02	2%	3,63E+02	2%	
	Second Œuvre	1,35E+03	7%	1,35E+03	7%	
	Exploitation du bâtiment	4,15E+02	2%	4,15E+02	2%	
	Activité	3,50E+03	17%	3,50E+03	17%	
	Déplacement des usagers	1,46E+04	70%	1,46E+04	71%	
<b>Total</b>	<b>2,07E+04</b>	<b>100%</b>	<b>2,06E+04</b>	<b>100%</b>	<b>-0,4%</b>	
Eau	<b>Pollution de l'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	9,97E+04	0%	9,71E+04	0%	-2,6%
	Noyau	7,52E+04	0%	1,13E+04	0%	-85,0%
	Fondations	1,11E+05	0%	1,11E+05	0%	
	Infrastructures	1,07E+05	0%	1,07E+05	0%	
	Enveloppe	3,30E+08	95%	3,30E+08	95%	
	Second Œuvre	6,32E+05	0%	6,32E+05	0%	
	Exploitation du bâtiment	7,29E+05	0%	7,29E+05	0%	
	Activité	7,91E+06	2%	7,91E+06	2%	
	Déplacement des usagers	7,95E+06	2%	7,95E+06	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,48E+08</b>	<b>100%</b>	<b>3,48E+08</b>	<b>100%</b>	<b>0,0%</b>

Tableau 72 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H1a)  
(Suite II)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Déchets	<b>Déchets dangereux - kg</b>					
	Superstructure	3,81E+00	1%	3,46E+00	1%	-9,3%
	Noyau	7,21E-01	0%	6,89E-01	0%	-4,5%
	Fondations	3,72E-01	0%	3,72E-01	0%	
	Infrastructures	1,23E+00	0%	1,23E+00	0%	
	Enveloppe	4,00E+00	1%	4,00E+00	1%	
	Second Œuvre	7,95E+01	30%	7,95E+01	30%	
	Exploitation du bâtiment	1,66E+00	1%	1,66E+00	1%	
	Activité	1,72E+02	64%	1,72E+02	64%	
	Déplacement des usagers	5,66E+00	2%	5,66E+00	2%	
	<b>Total</b>	<b>2,69E+02</b>	<b>100%</b>	<b>2,69E+02</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Déchets non dangereux - kg</b>					
	Superstructure	6,92E+00	0%	6,83E+00	0%	-1,4%
	Noyau	6,22E+00	0%	3,93E-01	0%	-93,7%
	Fondations	7,08E+00	0%	7,08E+00	0%	
	Infrastructures	1,11E+01	0%	1,11E+01	0%	
	Enveloppe	3,52E+01	0%	3,52E+01	0%	
	Second Œuvre	1,51E+02	2%	1,51E+02	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,21E+03	14%	1,21E+03	14%	
	Activité	5,68E+03	66%	5,68E+03	66%	
	Déplacement des usagers	1,47E+03	17%	1,47E+03	17%	
	<b>Total</b>	<b>8,57E+03</b>	<b>100%</b>	<b>8,57E+03</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Déchets inertes - kg</b>					
	Superstructure	1,01E+03	6%	1,01E+03	6%	0,0%
	Noyau	6,17E+02	4%	6,48E+01	0%	-89,5%
	Fondations	1,23E+04	74%	1,23E+04	77%	
	Infrastructures	8,70E+02	5%	8,70E+02	5%	
	Enveloppe	1,52E+02	1%	1,52E+02	1%	
	Second Œuvre	8,75E+01	1%	8,75E+01	1%	
	Exploitation du bâtiment	2,00E+02	1%	2,00E+02	1%	
	Activité	4,59E+02	3%	4,59E+02	3%	
	Déplacement des usagers	8,10E+02	5%	8,10E+02	5%	
	<b>Total</b>	<b>1,65E+04</b>	<b>100%</b>	<b>1,59E+04</b>	<b>100%</b>	<b>-3,3%</b>
	<b>Déchets radioactifs - kg</b>					
	Superstructure	5,99E-02	1%	5,84E-02	1%	-2,5%
	Noyau	2,04E-02	0%	5,23E-03	0%	-74,4%
	Fondations	9,34E-03	0%	9,34E-03	0%	
	Infrastructures	2,90E-02	0%	2,90E-02	0%	
	Enveloppe	2,94E-02	0%	2,94E-02	0%	
Second Œuvre	5,30E-02	1%	5,30E-02	1%		
Exploitation du bâtiment	5,72E+00	54%	5,72E+00	54%		
Activité	3,94E+00	37%	3,94E+00	38%		
Déplacement des usagers	6,64E-01	6%	6,64E-01	6%		
<b>Total</b>	<b>1,05E+01</b>	<b>100%</b>	<b>1,05E+01</b>	<b>100%</b>	<b>-0,2%</b>	

## 6.9 Annexe 9 : Résultats pour la zone climatique H3

### 6.9.1 Comparaison entre les superstructures et les noyaux

Ces résultats restent inchangés par rapport à la zone H1a.

### 6.9.2 Mise en perspective des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux des bâtiments – en m<sup>2</sup>/an

#### ► Comparaison du bâtiment mixte et du bâtiment béton

Tableau 73 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (sans prise en compte du module D, par m<sup>2</sup> et par an, zone H3)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Ressources	<b>Consommation de ressources énergétiques non renouvelables (Energie primaire non renouvelable) - kWh<sub>EP</sub></b>					
	Superstructure	2,83E+00	1%	2,84E+00	1%	0,1%
	Noyau	8,29E-01	0%	8,29E-01	0%	
	Fondations	1,44E+00	0%	1,44E+00	0%	
	Infrastructures	1,13E+00	0%	1,13E+00	0%	
	Enveloppe	3,23E+00	1%	3,23E+00	1%	
	Second Œuvre	2,95E+00	1%	2,95E+00	1%	
	Exploitation du bâtiment	1,62E+02	38%	1,62E+02	38%	
	Activité	1,30E+02	31%	1,30E+02	31%	
	Déplacement des usagers	1,18E+02	28%	1,18E+02	28%	
	<b>Total</b>	<b>4,22E+02</b>	<b>100%</b>	<b>4,22E+02</b>	<b>100%</b>	<b>0,0%</b>
	<b>Epuisement des ressources - kg éq Sb</b>					
	Superstructure	4,30E-03	2%	4,08E-03	2%	-5,0%
	Noyau	1,25E-03	0%	1,25E-03	0%	
	Fondations	2,34E-03	1%	2,34E-03	1%	
	Infrastructures	1,73E-03	1%	1,73E-03	1%	
	Enveloppe	4,66E-03	2%	4,66E-03	2%	
	Second Œuvre	3,10E-03	1%	3,10E-03	1%	
	Exploitation du bâtiment	2,44E-02	9%	2,44E-02	9%	
	Activité	5,59E-02	21%	5,59E-02	21%	
	Déplacement des usagers	1,71E-01	64%	1,71E-01	64%	
	<b>Total</b>	<b>2,69E-01</b>	<b>100%</b>	<b>2,69E-01</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Consommation d'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	3,26E-03	0%	4,74E-03	0%	45,4%
	Noyau	1,74E-03	0%	1,74E-03	0%	
	Fondations	3,29E-03	0%	3,29E-03	0%	
	Infrastructures	2,62E-03	0%	2,62E-03	0%	
	Enveloppe	1,76E-02	1%	1,76E-02	1%	
	Second Œuvre	4,90E-03	0%	4,90E-03	0%	
	Exploitation du bâtiment	3,67E-01	31%	3,67E-01	31%	
	Activité	6,93E-01	58%	6,93E-01	58%	
	Déplacement des usagers	1,05E-01	9%	1,05E-01	9%	
	<b>Total</b>	<b>1,20E+00</b>	<b>100%</b>	<b>1,20E+00</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>

Tableau 74 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (sans prise en compte du module D, par m<sup>2</sup> et par an, zone H3) (Suite I)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Air	<b>Pollution de l'air - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	1,00E+02	2%	7,55E+01	1%	-24,7%
	Noyau	2,57E+01	0%	2,57E+01	0%	
	Fondations	2,94E+01	1%	2,94E+01	1%	
	Infrastructures	3,74E+01	1%	3,74E+01	1%	
	Enveloppe	6,97E+01	1%	6,97E+01	1%	
	Second Œuvre	3,33E+01	1%	3,33E+01	1%	
	Exploitation du bâtiment	7,38E+02	13%	7,38E+02	13%	
	Activité	1,32E+03	23%	1,32E+03	23%	
	Déplacement des usagers	3,51E+03	60%	3,51E+03	60%	
	<b>Total</b>	<b>5,86E+03</b>	<b>100%</b>	<b>5,84E+03</b>	<b>100%</b>	<b>-0,4%</b>
	<b>Changement climatique - kg éq CO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	9,45E-01	3%	1,20E+00	3%	26,5%
	Noyau	3,79E-01	1%	3,79E-01	1%	
	Fondations	3,37E-01	1%	3,37E-01	1%	
	Infrastructures	4,94E-01	1%	4,94E-01	1%	
	Enveloppe	6,16E-01	2%	6,16E-01	2%	
	Second Œuvre	4,04E-01	1%	4,04E-01	1%	
	Exploitation du bâtiment	3,70E+00	10%	3,70E+00	10%	
	Activité	4,89E+00	13%	4,89E+00	13%	
	Déplacement des usagers	2,54E+01	68%	2,54E+01	68%	
	<b>Total</b>	<b>3,72E+01</b>	<b>100%</b>	<b>3,75E+01</b>	<b>100%</b>	<b>0,7%</b>
	<b>Acidification atmosphérique - kg éq SO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	2,94E-03	2%	4,23E-03	3%	43,8%
	Noyau	1,29E-03	1%	1,29E-03	1%	
	Fondations	2,15E-03	1%	2,15E-03	1%	
	Infrastructures	1,73E-03	1%	1,73E-03	1%	
	Enveloppe	4,27E-03	3%	4,27E-03	3%	
	Second Œuvre	3,33E-03	2%	3,33E-03	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,93E-02	12%	1,93E-02	12%	
	Activité	4,98E-02	30%	4,98E-02	30%	
	Déplacement des usagers	8,06E-02	49%	8,06E-02	48%	
	<b>Total</b>	<b>1,65E-01</b>	<b>100%</b>	<b>1,67E-01</b>	<b>100%</b>	<b>0,8%</b>
	<b>Formation d'ozone photochimique - kg éq C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>					
	Superstructure	1,51E-04	1%	3,45E-04	1%	128,5%
	Noyau	9,83E-05	0%	9,83E-05	0%	
	Fondations	1,79E-04	1%	1,79E-04	1%	
	Infrastructures	1,31E-04	1%	1,31E-04	1%	
	Enveloppe	4,17E-04	2%	4,17E-04	2%	
	Second Œuvre	1,55E-03	6%	1,55E-03	6%	
	Exploitation du bâtiment	5,12E-04	2%	5,12E-04	2%	
Activité	4,02E-03	17%	4,02E-03	17%		
Déplacement des usagers	1,68E-02	70%	1,68E-02	70%		
<b>Total</b>	<b>2,38E-02</b>	<b>100%</b>	<b>2,40E-02</b>	<b>100%</b>	<b>0,8%</b>	
Eau	<b>Pollution de l'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	1,14E-01	0%	3,68E-01	0%	221,0%
	Noyau	8,64E-02	0%	8,64E-02	0%	
	Fondations	1,27E-01	0%	1,27E-01	0%	
	Infrastructures	1,22E-01	0%	1,22E-01	0%	
	Enveloppe	3,79E+02	95%	3,79E+02	95%	
	Second Œuvre	7,25E-01	0%	7,25E-01	0%	
	Exploitation du bâtiment	8,98E-01	0%	8,98E-01	0%	
	Activité	9,08E+00	2%	9,08E+00	2%	
	Déplacement des usagers	9,12E+00	2%	9,12E+00	2%	
<b>Total</b>	<b>3,99E+02</b>	<b>100%</b>	<b>4,00E+02</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>	

Tableau 75 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (sans prise en compte du module D, par m<sup>2</sup> et par an, zone H3) (Suite II)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Déchets	<b>Déchets dangereux - kg</b>					
	Superstructure	4,37E-06	1%	1,24E-06	0%	-71,6%
	Noyau	8,28E-07	0%	8,28E-07	0%	
	Fondations	4,27E-07	0%	4,27E-07	0%	
	Infrastructures	1,42E-06	0%	1,42E-06	0%	
	Enveloppe	4,59E-06	1%	4,59E-06	1%	
	Second Œuvre	9,13E-05	30%	9,13E-05	30%	
	Exploitation du bâtiment	2,05E-06	1%	2,05E-06	1%	
	Activité	1,98E-04	64%	1,98E-04	65%	
	Déplacement des usagers	6,50E-06	2%	6,50E-06	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,09E-04</b>	<b>100%</b>	<b>3,06E-04</b>	<b>100%</b>	<b>-1,0%</b>
	<b>Déchets non dangereux - kg</b>					
	Superstructure	7,95E-06	0%	1,45E-05	0%	82,7%
	Noyau	7,14E-06	0%	7,14E-06	0%	
	Fondations	8,13E-06	0%	8,13E-06	0%	
	Infrastructures	1,27E-05	0%	1,27E-05	0%	
	Enveloppe	4,04E-05	0%	4,04E-05	0%	
	Second Œuvre	1,73E-04	2%	1,73E-04	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,49E-03	15%	1,49E-03	15%	
	Activité	6,52E-03	66%	6,52E-03	66%	
	Déplacement des usagers	1,69E-03	17%	1,69E-03	17%	
	<b>Total</b>	<b>9,94E-03</b>	<b>100%</b>	<b>9,95E-03</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>
	<b>Déchets inertes - kg</b>					
	Superstructure	1,16E-03	6%	4,83E-03	21%	316,4%
	Noyau	7,08E-04	4%	7,08E-04	3%	
	Fondations	1,41E-02	74%	1,41E-02	62%	
	Infrastructures	9,98E-04	5%	9,98E-04	4%	
	Enveloppe	1,74E-04	1%	1,74E-04	1%	
	Second Œuvre	1,00E-04	1%	1,00E-04	0%	
	Exploitation du bâtiment	2,46E-04	1%	2,46E-04	1%	
	Activité	5,27E-04	3%	5,27E-04	2%	
	Déplacement des usagers	9,29E-04	5%	9,29E-04	4%	
	<b>Total</b>	<b>1,89E-02</b>	<b>100%</b>	<b>2,26E-02</b>	<b>100%</b>	<b>19,4%</b>
	<b>Déchets radioactifs - kg</b>					
	Superstructure	6,88E-08	1%	7,63E-08	1%	10,9%
	Noyau	2,34E-08	0%	2,34E-08	0%	
	Fondations	1,07E-08	0%	1,07E-08	0%	
	Infrastructures	3,33E-08	0%	3,33E-08	0%	
	Enveloppe	3,38E-08	0%	3,38E-08	0%	
	Second Œuvre	6,08E-08	0%	6,08E-08	0%	
Exploitation du bâtiment	7,05E-06	56%	7,05E-06	56%		
Activité	4,53E-06	36%	4,53E-06	36%		
Déplacement des usagers	7,62E-07	6%	7,62E-07	6%		
<b>Total</b>	<b>1,26E-05</b>	<b>100%</b>	<b>1,26E-05</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>	

► Comparaison du bâtiment mixte et du bâtiment mixte optimisé

Tableau 76 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D, par m<sup>2</sup> et par an, zone H3)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Ressources	<b>Consommation de ressources énergétiques non renouvelables (Energie primaire non renouvelable) - kWh<sub>EP</sub></b>					
	Superstructure	2,83E+00	1%	2,57E+00	1%	-9,3%
	Noyau	8,29E-01	0%	5,50E-01	0%	-33,6%
	Fondations	1,44E+00	0%	1,44E+00	0%	
	Infrastructures	1,13E+00	0%	1,13E+00	0%	
	Enveloppe	3,23E+00	1%	3,23E+00	1%	
	Second Œuvre	2,95E+00	1%	2,95E+00	1%	
	Exploitation du bâtiment	1,62E+02	38%	1,62E+02	38%	
	Activité	1,30E+02	31%	1,30E+02	31%	
	Déplacement des usagers	1,18E+02	28%	1,18E+02	28%	
	<b>Total</b>	<b>4,22E+02</b>	<b>100%</b>	<b>4,22E+02</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Epuisement des ressources - kg éq Sb</b>					
	Superstructure	4,30E-03	2%	3,92E-03	1%	-8,8%
	Noyau	1,25E-03	0%	8,01E-04	0%	-35,8%
	Fondations	2,34E-03	1%	2,34E-03	1%	
	Infrastructures	1,73E-03	1%	1,73E-03	1%	
	Enveloppe	4,66E-03	2%	4,66E-03	2%	
	Second Œuvre	3,10E-03	1%	3,10E-03	1%	
	Exploitation du bâtiment	2,44E-02	9%	2,44E-02	9%	
	Activité	5,59E-02	21%	5,59E-02	21%	
	Déplacement des usagers	1,71E-01	64%	1,71E-01	64%	
	<b>Total</b>	<b>2,69E-01</b>	<b>100%</b>	<b>2,68E-01</b>	<b>100%</b>	<b>-0,3%</b>
	<b>Consommation d'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	3,26E-03	0%	3,16E-03	0%	-3,0%
	Noyau	1,74E-03	0%	3,26E-04	0%	-81,3%
	Fondations	3,29E-03	0%	3,29E-03	0%	
	Infrastructures	2,62E-03	0%	2,62E-03	0%	
Enveloppe	1,76E-02	1%	1,76E-02	1%		
Second Œuvre	4,90E-03	0%	4,90E-03	0%		
Exploitation du bâtiment	3,67E-01	31%	3,67E-01	31%		
Activité	6,93E-01	58%	6,93E-01	58%		
Déplacement des usagers	1,05E-01	9%	1,05E-01	9%		
<b>Total</b>	<b>1,20E+00</b>	<b>100%</b>	<b>1,20E+00</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>	

Tableau 77 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D, par m<sup>2</sup> et par an, zone H3) (Suite I)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Air	<b>Pollution de l'air - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	1,00E+02	2%	9,16E+01	2%	-8,7%
	Noyau	2,57E+01	0%	1,82E+01	0%	-29,0%
	Fondations	2,94E+01	1%	2,94E+01	1%	
	Infrastructures	3,74E+01	1%	3,74E+01	1%	
	Enveloppe	6,97E+01	1%	6,97E+01	1%	
	Second Œuvre	3,33E+01	1%	3,33E+01	1%	
	Exploitation du bâtiment	7,38E+02	13%	7,38E+02	13%	
	Activité	1,32E+03	23%	1,32E+03	23%	
	Déplacement des usagers	3,51E+03	60%	3,51E+03	60%	
	<b>Total</b>	<b>5,86E+03</b>	<b>100%</b>	<b>5,84E+03</b>	<b>100%</b>	<b>-0,3%</b>
	<b>Changement climatique - kg éq CO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	9,45E-01	3%	8,75E-01	2%	-7,3%
	Noyau	3,79E-01	1%	1,61E-01	0%	-57,5%
	Fondations	3,37E-01	1%	3,37E-01	1%	
	Infrastructures	4,94E-01	1%	4,94E-01	1%	
	Enveloppe	6,16E-01	2%	6,16E-01	2%	
	Second Œuvre	4,04E-01	1%	4,04E-01	1%	
	Exploitation du bâtiment	3,70E+00	10%	3,70E+00	10%	
	Activité	4,89E+00	13%	4,89E+00	13%	
	Déplacement des usagers	2,54E+01	68%	2,54E+01	69%	
	<b>Total</b>	<b>3,72E+01</b>	<b>100%</b>	<b>3,69E+01</b>	<b>100%</b>	<b>-0,8%</b>
	<b>Acidification atmosphérique - kg éq SO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	2,94E-03	2%	2,74E-03	2%	-6,8%
	Noyau	1,29E-03	1%	4,89E-04	0%	-62,2%
	Fondations	2,15E-03	1%	2,15E-03	1%	
	Infrastructures	1,73E-03	1%	1,73E-03	1%	
	Enveloppe	4,27E-03	3%	4,27E-03	3%	
	Second Œuvre	3,33E-03	2%	3,33E-03	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,93E-02	12%	1,93E-02	12%	
	Activité	4,98E-02	30%	4,98E-02	30%	
	Déplacement des usagers	8,06E-02	49%	8,06E-02	49%	
	<b>Total</b>	<b>1,65E-01</b>	<b>100%</b>	<b>1,64E-01</b>	<b>100%</b>	<b>-0,6%</b>
	<b>Formation d'ozone photochimique - kg éq C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>					
	Superstructure	1,51E-04	1%	1,45E-04	1%	-4,0%
	Noyau	9,83E-05	0%	2,06E-05	0%	-79,1%
	Fondations	1,79E-04	1%	1,79E-04	1%	
	Infrastructures	1,31E-04	1%	1,31E-04	1%	
	Enveloppe	4,17E-04	2%	4,17E-04	2%	
	Second Œuvre	1,55E-03	6%	1,55E-03	7%	
	Exploitation du bâtiment	5,12E-04	2%	5,12E-04	2%	
Activité	4,02E-03	17%	4,02E-03	17%		
Déplacement des usagers	1,68E-02	70%	1,68E-02	71%		
<b>Total</b>	<b>2,38E-02</b>	<b>100%</b>	<b>2,37E-02</b>	<b>100%</b>	<b>-0,4%</b>	
Eau	<b>Pollution de l'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	1,14E-01	0%	1,11E-01	0%	-2,6%
	Noyau	8,64E-02	0%	1,30E-02	0%	-85,0%
	Fondations	1,27E-01	0%	1,27E-01	0%	
	Infrastructures	1,22E-01	0%	1,22E-01	0%	
	Enveloppe	3,79E+02	95%	3,79E+02	95%	
	Second Œuvre	7,25E-01	0%	7,25E-01	0%	
	Exploitation du bâtiment	8,98E-01	0%	8,98E-01	0%	
	Activité	9,08E+00	2%	9,08E+00	2%	
	Déplacement des usagers	9,12E+00	2%	9,12E+00	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,99E+02</b>	<b>100%</b>	<b>3,99E+02</b>	<b>100%</b>	<b>0,0%</b>

Tableau 78 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D, par m<sup>2</sup> et par an, zone H3) (Suite II)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Déchets	<b>Déchets dangereux - kg</b>					
	Superstructure	4,37E-06	1%	3,97E-06	1%	-9,3%
	Noyau	8,28E-07	0%	7,90E-07	0%	-4,5%
	Fondations	4,27E-07	0%	4,27E-07	0%	
	Infrastructures	1,42E-06	0%	1,42E-06	0%	
	Enveloppe	4,59E-06	1%	4,59E-06	1%	
	Second Œuvre	9,13E-05	30%	9,13E-05	30%	
	Exploitation du bâtiment	2,05E-06	1%	2,05E-06	1%	
	Activité	1,98E-04	64%	1,98E-04	64%	
	Déplacement des usagers	6,50E-06	2%	6,50E-06	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,09E-04</b>	<b>100%</b>	<b>3,09E-04</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Déchets non dangereux - kg</b>					
	Superstructure	7,95E-06	0%	7,84E-06	0%	-1,4%
	Noyau	7,14E-06	0%	4,51E-07	0%	-93,7%
	Fondations	8,13E-06	0%	8,13E-06	0%	
	Infrastructures	1,27E-05	0%	1,27E-05	0%	
	Enveloppe	4,04E-05	0%	4,04E-05	0%	
	Second Œuvre	1,73E-04	2%	1,73E-04	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,49E-03	15%	1,49E-03	15%	
	Activité	6,52E-03	66%	6,52E-03	66%	
	Déplacement des usagers	1,69E-03	17%	1,69E-03	17%	
	<b>Total</b>	<b>9,94E-03</b>	<b>100%</b>	<b>9,94E-03</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Déchets inertes - kg</b>					
	Superstructure	1,16E-03	6%	1,16E-03	6%	0,0%
	Noyau	7,08E-04	4%	7,44E-05	0%	-89,5%
	Fondations	1,41E-02	74%	1,41E-02	77%	
	Infrastructures	9,98E-04	5%	9,98E-04	5%	
	Enveloppe	1,74E-04	1%	1,74E-04	1%	
	Second Œuvre	1,00E-04	1%	1,00E-04	1%	
	Exploitation du bâtiment	2,46E-04	1%	2,46E-04	1%	
	Activité	5,27E-04	3%	5,27E-04	3%	
	Déplacement des usagers	9,29E-04	5%	9,29E-04	5%	
	<b>Total</b>	<b>1,89E-02</b>	<b>100%</b>	<b>1,83E-02</b>	<b>100%</b>	<b>-3,3%</b>
	<b>Déchets radioactifs - kg</b>					
	Superstructure	6,88E-08	1%	6,71E-08	1%	-2,5%
	Noyau	2,34E-08	0%	6,00E-09	0%	-74,4%
	Fondations	1,07E-08	0%	1,07E-08	0%	
	Infrastructures	3,33E-08	0%	3,33E-08	0%	
	Enveloppe	3,38E-08	0%	3,38E-08	0%	
	Second Œuvre	6,08E-08	0%	6,08E-08	0%	
	Exploitation du bâtiment	7,05E-06	56%	7,05E-06	56%	
Activité	4,53E-06	36%	4,53E-06	36%		
Déplacement des usagers	7,62E-07	6%	7,62E-07	6%		
<b>Total</b>	<b>1,26E-05</b>	<b>100%</b>	<b>1,26E-05</b>	<b>100%</b>	<b>-0,2%</b>	

### 6.9.3 Mise en perspective des impacts environnementaux des superstructures et des noyaux avec les impacts environnementaux des bâtiments – pour la durée de vie totale et la surface totale du bâtiment en zone H3

► Comparaison du bâtiment mixte et du bâtiment béton

Tableau 79 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H3)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Ressources	<b>Consommation de ressources énergétiques non renouvelables (Energie primaire non renouvelable) - kWh<sub>EP</sub></b>					
	Superstructure	2,47E+06	1%	2,47E+06	1%	0,1%
	Noyau	7,22E+05	0%	7,22E+05	0%	
	Fondations	1,25E+06	0%	1,25E+06	0%	
	Infrastructures	9,84E+05	0%	9,84E+05	0%	
	Enveloppe	2,82E+06	1%	2,82E+06	1%	
	Second Œuvre	2,57E+06	1%	2,57E+06	1%	
	Exploitation du bâtiment	1,41E+08	38%	1,41E+08	38%	
	Activité	1,13E+08	31%	1,13E+08	31%	
	Déplacement des usagers	1,03E+08	28%	1,03E+08	28%	
	<b>Total</b>	<b>3,68E+08</b>	<b>100%</b>	<b>3,68E+08</b>	<b>100%</b>	<b>0,0%</b>
	<b>Epaissement des ressources - kg éq Sb</b>					
	Superstructure	3,74E+03	2%	3,56E+03	2%	-5,0%
	Noyau	1,09E+03	0%	1,09E+03	0%	
	Fondations	2,04E+03	1%	2,04E+03	1%	
	Infrastructures	1,50E+03	1%	1,50E+03	1%	
	Enveloppe	4,06E+03	2%	4,06E+03	2%	
	Second Œuvre	2,70E+03	1%	2,70E+03	1%	
	Exploitation du bâtiment	2,13E+04	9%	2,13E+04	9%	
	Activité	4,87E+04	21%	4,87E+04	21%	
	Déplacement des usagers	1,49E+05	64%	1,49E+05	64%	
	<b>Total</b>	<b>2,34E+05</b>	<b>100%</b>	<b>2,34E+05</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Consommation d'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	2,84E+03	0%	4,13E+03	0%	45,4%
	Noyau	1,52E+03	0%	1,52E+03	0%	
	Fondations	2,87E+03	0%	2,87E+03	0%	
	Infrastructures	2,28E+03	0%	2,28E+03	0%	
Enveloppe	1,54E+04	1%	1,54E+04	1%		
Second Œuvre	4,27E+03	0%	4,27E+03	0%		
Exploitation du bâtiment	3,20E+05	31%	3,20E+05	31%		
Activité	6,04E+05	58%	6,04E+05	58%		
Déplacement des usagers	9,14E+04	9%	9,14E+04	9%		
<b>Total</b>	<b>1,04E+06</b>	<b>100%</b>	<b>1,05E+06</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>	

Tableau 8o – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H3)  
(Suite I)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Air	<b>Pollution de l'air - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	8,74E+07	2%	6,58E+07	1%	-24,7%
	Noyau	2,23E+07	0%	2,23E+07	0%	
	Fondations	2,56E+07	1%	2,56E+07	1%	
	Infrastructures	3,26E+07	1%	3,26E+07	1%	
	Enveloppe	6,08E+07	1%	6,08E+07	1%	
	Second Œuvre	2,90E+07	1%	2,90E+07	1%	
	Exploitation du bâtiment	6,43E+08	13%	6,43E+08	13%	
	Activité	1,15E+09	23%	1,15E+09	23%	
	Déplacement des usagers	3,05E+09	60%	3,05E+09	60%	
	<b>Total</b>	<b>5,11E+09</b>	<b>100%</b>	<b>5,08E+09</b>	<b>100%</b>	<b>-0,4%</b>
	<b>Changement climatique - kg éq CO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	8,23E+05	3%	1,04E+06	3%	26,5%
	Noyau	3,30E+05	1%	3,30E+05	1%	
	Fondations	2,94E+05	1%	2,94E+05	1%	
	Infrastructures	4,30E+05	1%	4,30E+05	1%	
	Enveloppe	5,37E+05	2%	5,37E+05	2%	
	Second Œuvre	3,52E+05	1%	3,52E+05	1%	
	Exploitation du bâtiment	3,22E+06	10%	3,22E+06	10%	
	Activité	4,26E+06	13%	4,26E+06	13%	
	Déplacement des usagers	2,22E+07	68%	2,22E+07	68%	
	<b>Total</b>	<b>3,24E+07</b>	<b>100%</b>	<b>3,26E+07</b>	<b>100%</b>	<b>0,7%</b>
	<b>Acidification atmosphérique - kg éq SO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	2,56E+03	2%	3,68E+03	3%	43,8%
	Noyau	1,13E+03	1%	1,13E+03	1%	
	Fondations	1,87E+03	1%	1,87E+03	1%	
	Infrastructures	1,51E+03	1%	1,51E+03	1%	
	Enveloppe	3,72E+03	3%	3,72E+03	3%	
	Second Œuvre	2,90E+03	2%	2,90E+03	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,68E+04	12%	1,68E+04	12%	
	Activité	4,34E+04	30%	4,34E+04	30%	
	Déplacement des usagers	7,02E+04	49%	7,02E+04	48%	
	<b>Total</b>	<b>1,44E+05</b>	<b>100%</b>	<b>1,45E+05</b>	<b>100%</b>	<b>0,8%</b>
	<b>Formation d'ozone photochimique - kg éq C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>					
	Superstructure	1,32E+02	1%	3,01E+02	1%	128,5%
	Noyau	8,57E+01	0%	8,57E+01	0%	
	Fondations	1,56E+02	1%	1,56E+02	1%	
	Infrastructures	1,14E+02	1%	1,14E+02	1%	
	Enveloppe	3,63E+02	2%	3,63E+02	2%	
	Second Œuvre	1,35E+03	6%	1,35E+03	6%	
	Exploitation du bâtiment	4,46E+02	2%	4,46E+02	2%	
Activité	3,50E+03	17%	3,50E+03	17%		
Déplacement des usagers	1,46E+04	70%	1,46E+04	70%		
<b>Total</b>	<b>2,07E+04</b>	<b>100%</b>	<b>2,09E+04</b>	<b>100%</b>	<b>0,8%</b>	
Eau	<b>Pollution de l'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	9,97E+04	0%	3,20E+05	0%	221,0%
	Noyau	7,52E+04	0%	7,52E+04	0%	
	Fondations	1,11E+05	0%	1,11E+05	0%	
	Infrastructures	1,07E+05	0%	1,07E+05	0%	
	Enveloppe	3,30E+08	95%	3,30E+08	95%	
	Second Œuvre	6,32E+05	0%	6,32E+05	0%	
	Exploitation du bâtiment	7,82E+05	0%	7,82E+05	0%	
	Activité	7,91E+06	2%	7,91E+06	2%	
	Déplacement des usagers	7,95E+06	2%	7,95E+06	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,48E+08</b>	<b>100%</b>	<b>3,48E+08</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>

Tableau 81 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment béton (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H3)  
(Suite II)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment béton		Écart relatif %
Déchets	<b>Déchets dangereux - kg</b>					
	Superstructure	3,81E+00	1%	1,08E+00	0%	-71,6%
	Noyau	7,21E-01	0%	7,21E-01	0%	
	Fondations	3,72E-01	0%	3,72E-01	0%	
	Infrastructures	1,23E+00	0%	1,23E+00	0%	
	Enveloppe	4,00E+00	1%	4,00E+00	1%	
	Second Œuvre	7,95E+01	30%	7,95E+01	30%	
	Exploitation du bâtiment	1,79E+00	1%	1,79E+00	1%	
	Activité	1,72E+02	64%	1,72E+02	65%	
	Déplacement des usagers	5,66E+00	2%	5,66E+00	2%	
	<b>Total</b>	<b>2,70E+02</b>	<b>100%</b>	<b>2,67E+02</b>	<b>100%</b>	<b>-1,0%</b>
	<b>Déchets non dangereux - kg</b>					
	Superstructure	6,92E+00	0%	1,27E+01	0%	82,7%
	Noyau	6,22E+00	0%	6,22E+00	0%	
	Fondations	7,08E+00	0%	7,08E+00	0%	
	Infrastructures	1,11E+01	0%	1,11E+01	0%	
	Enveloppe	3,52E+01	0%	3,52E+01	0%	
	Second Œuvre	1,51E+02	2%	1,51E+02	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,30E+03	15%	1,30E+03	15%	
	Activité	5,68E+03	66%	5,68E+03	66%	
	Déplacement des usagers	1,47E+03	17%	1,47E+03	17%	
	<b>Total</b>	<b>8,66E+03</b>	<b>100%</b>	<b>8,67E+03</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>
	<b>Déchets inertes - kg</b>					
	Superstructure	1,01E+03	6%	4,21E+03	21%	316,4%
	Noyau	6,17E+02	4%	6,17E+02	3%	
	Fondations	1,23E+04	74%	1,23E+04	62%	
	Infrastructures	8,70E+02	5%	8,70E+02	4%	
	Enveloppe	1,52E+02	1%	1,52E+02	1%	
	Second Œuvre	8,75E+01	1%	8,75E+01	0%	
	Exploitation du bâtiment	2,14E+02	1%	2,14E+02	1%	
	Activité	4,59E+02	3%	4,59E+02	2%	
	Déplacement des usagers	8,10E+02	5%	8,10E+02	4%	
	<b>Total</b>	<b>1,65E+04</b>	<b>100%</b>	<b>1,97E+04</b>	<b>100%</b>	<b>19,4%</b>
	<b>Déchets radioactifs - kg</b>					
	Superstructure	5,99E-02	1%	6,65E-02	1%	10,9%
	Noyau	2,04E-02	0%	2,04E-02	0%	
	Fondations	9,34E-03	0%	9,34E-03	0%	
	Infrastructures	2,90E-02	0%	2,90E-02	0%	
	Enveloppe	2,94E-02	0%	2,94E-02	0%	
	Second Œuvre	5,30E-02	0%	5,30E-02	0%	
Exploitation du bâtiment	6,14E+00	56%	6,14E+00	56%		
Activité	3,94E+00	36%	3,94E+00	36%		
Déplacement des usagers	6,64E-01	6%	6,64E-01	6%		
<b>Total</b>	<b>1,10E+01</b>	<b>100%</b>	<b>1,10E+01</b>	<b>100%</b>	<b>0,1%</b>	

► Comparaison bâtiment mixte et bâtiment mixte optimisée

Tableau 82 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H3)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Ressources	<b>Consommation de ressources énergétiques non renouvelables (Energie primaire non renouvelable) - kWh<sub>EP</sub></b>					
	Superstructure	2,47E+06	1%	2,24E+06	1%	-9,3%
	Noyau	7,22E+05	0%	4,80E+05	0%	-33,6%
	Fondations	1,25E+06	0%	1,25E+06	0%	
	Infrastructures	9,84E+05	0%	9,84E+05	0%	
	Enveloppe	2,82E+06	1%	2,82E+06	1%	
	Second Œuvre	2,57E+06	1%	2,57E+06	1%	
	Exploitation du bâtiment	1,41E+08	38%	1,41E+08	38%	
	Activité	1,13E+08	31%	1,13E+08	31%	
	Déplacement des usagers	1,03E+08	28%	1,03E+08	28%	
	<b>Total</b>	<b>3,68E+08</b>	<b>100%</b>	<b>3,67E+08</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Epuisement des ressources - kg éq Sb</b>					
	Superstructure	3,74E+03	2%	3,41E+03	1%	-8,8%
	Noyau	1,09E+03	0%	6,98E+02	0%	-35,8%
	Fondations	2,04E+03	1%	2,04E+03	1%	
	Infrastructures	1,50E+03	1%	1,50E+03	1%	
	Enveloppe	4,06E+03	2%	4,06E+03	2%	
	Second Œuvre	2,70E+03	1%	2,70E+03	1%	
	Exploitation du bâtiment	2,13E+04	9%	2,13E+04	9%	
	Activité	4,87E+04	21%	4,87E+04	21%	
	Déplacement des usagers	1,49E+05	64%	1,49E+05	64%	
	<b>Total</b>	<b>2,34E+05</b>	<b>100%</b>	<b>2,34E+05</b>	<b>100%</b>	<b>-0,3%</b>
	<b>Consommation d'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	2,84E+03	0%	2,75E+03	0%	-3,0%
	Noyau	1,52E+03	0%	2,84E+02	0%	-81,3%
	Fondations	2,87E+03	0%	2,87E+03	0%	
	Infrastructures	2,28E+03	0%	2,28E+03	0%	
	Enveloppe	1,54E+04	1%	1,54E+04	1%	
	Second Œuvre	4,27E+03	0%	4,27E+03	0%	
	Exploitation du bâtiment	3,20E+05	31%	3,20E+05	31%	
Activité	6,04E+05	58%	6,04E+05	58%		
Déplacement des usagers	9,14E+04	9%	9,14E+04	9%		
<b>Total</b>	<b>1,04E+06</b>	<b>100%</b>	<b>1,04E+06</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>	

Tableau 83 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H3) (Suite I)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Air	<b>Pollution de l'air - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	8,74E+07	2%	7,98E+07	2%	-8,7%
	Noyau	2,23E+07	0%	1,59E+07	0%	-29,0%
	Fondations	2,56E+07	1%	2,56E+07	1%	
	Infrastructures	3,26E+07	1%	3,26E+07	1%	
	Enveloppe	6,08E+07	1%	6,08E+07	1%	
	Second Œuvre	2,90E+07	1%	2,90E+07	1%	
	Exploitation du bâtiment	6,43E+08	13%	6,43E+08	13%	
	Activité	1,15E+09	23%	1,15E+09	23%	
	Déplacement des usagers	3,05E+09	60%	3,05E+09	60%	
	<b>Total</b>	<b>5,11E+09</b>	<b>100%</b>	<b>5,09E+09</b>	<b>100%</b>	<b>-0,3%</b>
	<b>Changement climatique - kg éq CO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	8,23E+05	3%	7,63E+05	2%	-7,3%
	Noyau	3,30E+05	1%	1,40E+05	0%	-57,5%
	Fondations	2,94E+05	1%	2,94E+05	1%	
	Infrastructures	4,30E+05	1%	4,30E+05	1%	
	Enveloppe	5,37E+05	2%	5,37E+05	2%	
	Second Œuvre	3,52E+05	1%	3,52E+05	1%	
	Exploitation du bâtiment	3,22E+06	10%	3,22E+06	10%	
	Activité	4,26E+06	13%	4,26E+06	13%	
	Déplacement des usagers	2,22E+07	68%	2,22E+07	69%	
	<b>Total</b>	<b>3,24E+07</b>	<b>100%</b>	<b>3,22E+07</b>	<b>100%</b>	<b>-0,8%</b>
	<b>Acidification atmosphérique - kg éq SO<sub>2</sub></b>					
	Superstructure	2,56E+03	2%	2,39E+03	2%	-6,8%
	Noyau	1,13E+03	1%	4,26E+02	0%	-62,2%
	Fondations	1,87E+03	1%	1,87E+03	1%	
	Infrastructures	1,51E+03	1%	1,51E+03	1%	
	Enveloppe	3,72E+03	3%	3,72E+03	3%	
	Second Œuvre	2,90E+03	2%	2,90E+03	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,68E+04	12%	1,68E+04	12%	
	Activité	4,34E+04	30%	4,34E+04	30%	
	Déplacement des usagers	7,02E+04	49%	7,02E+04	49%	
	<b>Total</b>	<b>1,44E+05</b>	<b>100%</b>	<b>1,43E+05</b>	<b>100%</b>	<b>-0,6%</b>
	<b>Formation d'ozone photochimique - kg éq C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>					
	Superstructure	1,32E+02	1%	1,26E+02	1%	-4,0%
	Noyau	8,57E+01	0%	1,79E+01	0%	-79,1%
Fondations	1,56E+02	1%	1,56E+02	1%		
Infrastructures	1,14E+02	1%	1,14E+02	1%		
Enveloppe	3,63E+02	2%	3,63E+02	2%		
Second Œuvre	1,35E+03	6%	1,35E+03	7%		
Exploitation du bâtiment	4,46E+02	2%	4,46E+02	2%		
Activité	3,50E+03	17%	3,50E+03	17%		
Déplacement des usagers	1,46E+04	70%	1,46E+04	71%		
<b>Total</b>	<b>2,07E+04</b>	<b>100%</b>	<b>2,07E+04</b>	<b>100%</b>	<b>-0,4%</b>	
Eau	<b>Pollution de l'eau - m<sup>3</sup></b>					
	Superstructure	9,97E+04	0%	9,71E+04	0%	-2,6%
	Noyau	7,52E+04	0%	1,13E+04	0%	-85,0%
	Fondations	1,11E+05	0%	1,11E+05	0%	
	Infrastructures	1,07E+05	0%	1,07E+05	0%	
	Enveloppe	3,30E+08	95%	3,30E+08	95%	
	Second Œuvre	6,32E+05	0%	6,32E+05	0%	
	Exploitation du bâtiment	7,82E+05	0%	7,82E+05	0%	
	Activité	7,91E+06	2%	7,91E+06	2%	
	Déplacement des usagers	7,95E+06	2%	7,95E+06	2%	
	<b>Total</b>	<b>3,48E+08</b>	<b>100%</b>	<b>3,48E+08</b>	<b>100%</b>	<b>0,0%</b>

Tableau 84 – Comparaison des impacts environnementaux du bâtiment mixte avec ceux du bâtiment mixte optimisé (sans prise en compte du module D, pour l'ensemble du bâtiment et pour toute la DVT, zone H3) (Suite II)

Categorie	Poste	Bâtiment mixte		Bâtiment mixte optimisé		Écart relatif %
Déchets	<b>Déchets dangereux - kg</b>					
	Superstructure	3,81E+00	1%	3,46E+00	1%	-9,3%
	Noyau	7,21E-01	0%	6,89E-01	0%	-4,5%
	Fondations	3,72E-01	0%	3,72E-01	0%	
	Infrastructures	1,23E+00	0%	1,23E+00	0%	
	Enveloppe	4,00E+00	1%	4,00E+00	1%	
	Second Œuvre	7,95E+01	30%	7,95E+01	30%	
	Exploitation du bâtiment	1,79E+00	1%	1,79E+00	1%	
	Activité	1,72E+02	64%	1,72E+02	64%	
	Déplacement des usagers	5,66E+00	2%	5,66E+00	2%	
	<b>Total</b>	<b>2,70E+02</b>	<b>100%</b>	<b>2,69E+02</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Déchets non dangereux - kg</b>					
	Superstructure	6,92E+00	0%	6,83E+00	0%	-1,4%
	Noyau	6,22E+00	0%	3,93E-01	0%	-93,7%
	Fondations	7,08E+00	0%	7,08E+00	0%	
	Infrastructures	1,11E+01	0%	1,11E+01	0%	
	Enveloppe	3,52E+01	0%	3,52E+01	0%	
	Second Œuvre	1,51E+02	2%	1,51E+02	2%	
	Exploitation du bâtiment	1,30E+03	15%	1,30E+03	15%	
	Activité	5,68E+03	66%	5,68E+03	66%	
	Déplacement des usagers	1,47E+03	17%	1,47E+03	17%	
	<b>Total</b>	<b>8,66E+03</b>	<b>100%</b>	<b>8,66E+03</b>	<b>100%</b>	<b>-0,1%</b>
	<b>Déchets inertes - kg</b>					
	Superstructure	1,01E+03	6%	1,01E+03	6%	0,0%
	Noyau	6,17E+02	4%	6,48E+01	0%	-89,5%
	Fondations	1,23E+04	74%	1,23E+04	77%	
	Infrastructures	8,70E+02	5%	8,70E+02	5%	
	Enveloppe	1,52E+02	1%	1,52E+02	1%	
	Second Œuvre	8,75E+01	1%	8,75E+01	1%	
	Exploitation du bâtiment	2,14E+02	1%	2,14E+02	1%	
	Activité	4,59E+02	3%	4,59E+02	3%	
	Déplacement des usagers	8,10E+02	5%	8,10E+02	5%	
	<b>Total</b>	<b>1,65E+04</b>	<b>100%</b>	<b>1,59E+04</b>	<b>100%</b>	<b>-3,3%</b>
	<b>Déchets radioactifs - kg</b>					
	Superstructure	5,99E-02	1%	5,84E-02	1%	-2,5%
	Noyau	2,04E-02	0%	5,23E-03	0%	-74,4%
	Fondations	9,34E-03	0%	9,34E-03	0%	
	Infrastructures	2,90E-02	0%	2,90E-02	0%	
	Enveloppe	2,94E-02	0%	2,94E-02	0%	
Second Œuvre	5,30E-02	0%	5,30E-02	0%		
Exploitation du bâtiment	6,14E+00	56%	6,14E+00	56%		
Activité	3,94E+00	36%	3,94E+00	36%		
Déplacement des usagers	6,64E-01	6%	6,64E-01	6%		
<b>Total</b>	<b>1,10E+01</b>	<b>100%</b>	<b>1,09E+01</b>	<b>100%</b>	<b>-0,2%</b>	

## 6.10 Annexe 10 : Calcul des indicateurs « Biodiversité » et « Consommation de foncier »

### 6.10.1 Biodiversité

L'indicateur « Biodiversité » traduit, selon la norme XP P 01-020-3, l'évolution de la part végétalisée de la parcelle sur laquelle est implantée le bâtiment. Toujours selon cette norme, cet indicateur se calcule avec la formule suivante :  $I = (S_2 - S_1) / S$

Avec  $S_1$  : Surface végétalisée initiale de la parcelle où sont implantés le bâtiment et ses accès

$S_2$  : Surface végétalisée du projet final (par exemple, jardin, toiture, ou façade végétalisée)

$S$  = Surface totale de la parcelle

Dans notre cas, la surface au sol du bâtiment est de 1035 m<sup>2</sup> (42,4 m \* 24,4 m). On considère par ailleurs que la surface totale de la parcelle équivaut à deux fois la surface au sol du bâtiment et que la totalité de la surface est végétalisée avant implantation du bâtiment et de ses accès (hypothèses BIO IS). On a donc :  $S_1 = S$ .

De plus, faute de détails sur les accès du bâtiment, on les néglige pour le calcul de cet indicateur (hypothèse BIO IS). On a donc  $S_2 = S_1 - \text{Surface au sol du bâtiment}$ .

On obtient donc les paramètres suivants pour le calcul de l'indicateur :

Tableau 85 – Paramètres retenus pour le calcul de l'indicateur « Biodiversité »

Paramètre	Valeur	Unité
$S_1$	2069	m <sup>2</sup>
$S_2$	1035	m <sup>2</sup>
$S$	2069	m <sup>2</sup>

L'indicateur de Biodiversité possède donc une valeur de :  $I = (1035-2069)/2069 = -0,5$

### 6.10.2 Consommation de foncier

Selon la norme XP P 01-020-3, l'indicateur « Consommation de foncier » doit rendre de la typologie des surfaces utilisées pour l'implantation du bâtiment. On distingue ainsi :

- les territoires artificialisés : espaces urbains, réseaux de transport et globalement l'ensemble des espaces minéralisés,
- les territoires agricoles : terres arables, prairies, vergers, etc
- un groupe hybride comprenant les forêts et milieux semi-naturels, les zones humides et les surfaces en eau que l'on regroupe sous le nom « espaces naturels ».

Les zones climatiques retenues pour l'implantation des bâtiments sont, de manière générale, des territoires artificialisés (en particulier pour la zone climatique H3). On considère donc que l'intégralité de la parcelle est prise sur des territoires artificialisés. Les résultats de l'indicateur « Consommation de foncier » sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 86 – Résultats de l'indicateur « Consommation de foncier »

Paramètre	Valeur	Unité
Territoires artificialisés	206g	m <sup>2</sup>
Territoires agricoles	0	m <sup>2</sup>
Espaces naturels	0	m <sup>2</sup>

## 6.11 Annexe 11 : Présentation de la modélisation dans le logiciel OPERA

### 6.11.1 Modélisation générale du bâtiment



Figure 27 – Modélisation du bâtiment à partir des différents postes

### 6.11.2 Modélisation d'un module et valeurs renseignées

La figure ci-dessous montre la modélisation du module <sup>53</sup>« Béton C16 Xo – Béton de propreté » dans les fondations, ainsi que les valeurs renseignées. Comme le montre cette figure, un seul modèle de bâtiment a été défini pour étudier l'ensemble des alternatives étudiées. La différence entre les alternatives est réalisée via une approche par scénario. Ainsi, des questions permettent de paramétrer les valeurs respectives à chaque scénario comme le montre cette figure.

Les figures présentées par la suite montrent comment les différents scénarios sont définis dans le logiciel OPERA.

Enfin, l'ensemble des valeurs utilisées dans les différents scénarios de l'étude (hors analyses de sensibilité) est présenté à la fin de cette partie (6.11.4). Il est important de noter que les valeurs présentées dans ces tableaux sont les valeurs directement extraites du logiciel OPERA (extraction réalisée le 26/02/2013).

---

<sup>53</sup> Les modules sont appelés « Modules Objets » dans le logiciel.

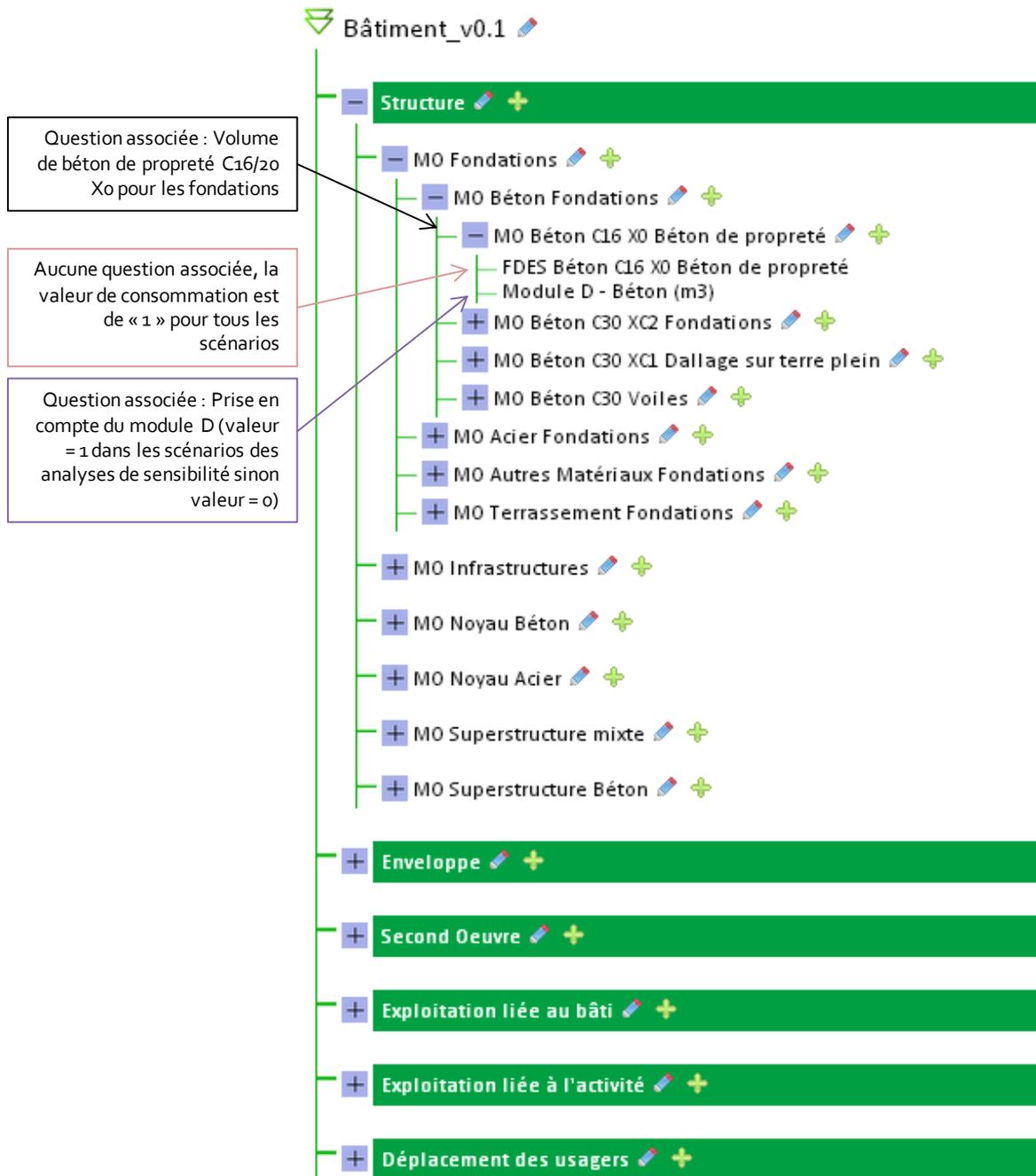


Figure 28 – Exemple de modélisation d'un module objet dans le logiciel OPERA

### 6.11.3 Captures d'écran des valeurs renseignées pour le scénario : Bâtiment mixte acier-béton en zone H1a

Produit : Bâtiment\_v0.1

Fiche descriptive    Arbre    Valeurs    Résultats

Mixte H1a    Enregistrer

Global    Structure    Enveloppe    Second Oeuvre    Exploitation liée au bâti    Exploitation liée à l'activité    Déplacement des usagers

Bâtiment\_v0.1

DVT    100    -

Figure 29 – Capture d'écran d'OPERA : valeur pour la DVT

Produit : Bâtiment\_v0.1

Fiche descriptive    Arbre    Valeurs    Résultats

Mixte H1a    Enregistrer

Global    Structure    Enveloppe    Second Oeuvre    Exploitation liée au bâti    Exploitation liée à l'activité    Déplacement des usagers

Structure

Prise en compte du module D    0    - (0 = non; 1 =oui)

MO Béton Fondations

Volume de béton de propreté C16/20 X0 pour les FONDATIONS	42.3	m3
Volume de béton C30/37 XC1 pour les FONDATIONS (massifs, semelles filantes, liaisons sismiques)	220.7	m3
Volume de béton C30/37 XC1 pour les FONDATIONS (dalles et radiers)	57.8	m3
Volume de béton C30/37 XC2 pour les FONDATIONS (parois des cuvettes d'ascenseur)	4.7	m3

MO Acier Fondations

Masse d'acier à béton dans les FONDATIONS	22289.0	kg
---	---------	----

MO Autres Matériaux Fondations

Surface de cuvelage FONDATIONS	72	m2
--------------------------------	----	----

MO Terrassement Fondations

Masse de terre manipulée (déblais et remblais)	18144.0	t
Masse de terre évacuée (déblais uniquement)	12035.0	t

MO Béton Infrastructures

Volume de béton C30/37 XC1 pour le dallage sur terre-plein (R-2) INFRASTRUCTURES	124.3	m³
Volume de béton C30/37 XC1 pour les poutres INFRASTRUCTURES	28.8	m³
Volume de béton C30/37 pour les voiles intérieurs et extérieurs et poteaux en sailli de voile INFRASTRUCTURES	496.8	m³
Volume de béton C30/37 XC1 pour les planchers INFRASTRUCTURES	425.1	m³
Volume de béton C40/50 XC1 pour les poteaux INFRASTRUCTURES	16.1	m³
Volume de béton C30/37 XC1 pour les escaliers INFRASTRUCTURES	14.0	m3

MO Acier Infrastructures

Masse d'acier à béton pour les armatures INFRASTRUCTURES	78890.5	kg
--	---------	----

Figure 30 – Capture d'écran d'OPERA : valeurs renseignées pour la structure mixte

MO Acier Infrastructures		
Masse d'acier à béton pour les armatures INFRASTRUCTURES	78890.5	kg
MO Autres Infrastructures		
Masse de granulats massifs (couche drainante)	535.4	t
Masse de granulats meubles (réglage en sable)	35.4	t
Masse de granulats divers (hérissos)	215.1	t
MO Béton Noyau - Noyau Béton		
Volume de béton C30/37 XC1 pour les voiles NOYAU BETON	675.7	m3
Volume de béton C30/37 XC1 pour les dalles NOYAU BETON	100.8	m3
MO Acier à béton - Noyau Béton		
Masse d'acier à béton utilisé pour les armatures NOYAU BETON	44157.6	kg
MO Escalier - Noyau Béton		
Volume de béton C30 XC1 pour les escaliers NOYAU BETON	56.0	m3
MO Noyau Acier		
Masse d'acier pour les poutres et poteaux NOYAU ACIER	0	kg
Masse d'acier pour les diagonales NOYAU ACIER	0	kg
Masse d'acier d'assemblage dans NOYAU ACIER	0	kg
Surface de bacs collaborants pour le NOYAU ACIER	0	m2
MO Escalier - Noyau Acier		
Volume de béton C30 XC1 pour les escaliers NOYAU ACIER	0	m3
MO Superstructure mixte		
Masse de poteaux et poutres en acier pour la superstructure MIXTE	239907.4	kg
Surface de bacs collaborants pour la superstructure MIXTE	8280	m2
Masse d'acier d'assemblage pour la superstructure MIXTE	14994.0	kg
MO Superstructure Béton		
Volume de béton C40/50 pour les poteaux de la superstructure BETON	0	m3
Volume de béton C30/37 pour les poutres de la superstructure BETON	0	m3
Surface de DAP 24 7 de la superstructure BETON	0	m2
Surface de DAP 28 7 de la superstructure BETON	0	m2
Masse d'acier à béton de la superstructure BETON	0	kg

Figure 31 – Capture d'écran d'OPERA : valeurs renseignées pour la structure mixte (Suite)

Produit : Bâtiment\_v0.1

Fiche descriptive    Arbre    Valeurs    Résultats

Mixte H1a    Enregistrer

Global    Structure    **Enveloppe**    Second Oeuvre    Exploitation liée au bâti    Exploitation liée à l'activité    Déplacement des usagers

MO Facade partie vitrée 50%		
Surface de facade 50% transparente	11202.0	m2
MO Facade partie vitrée 75%		
Surface facade vitrée 75%	312.0	m2
MO Facade partie opaque		
Surface isolant polystyrène opaque facade	3174.6	m2
MO Facade stores		
Surface de stores pour la facade	12803.0	m2

Figure 32 – Capture d'écran d'OPERA : valeurs renseignées pour l'enveloppe du bâtiment mixte

Produit : Bâtiment\_v0.1

Fiche descriptive    Arbre    Valeurs    Résultats

Mixte H1a    Enregistrer

Global    Structure    Enveloppe    **Second Oeuvre**    Exploitation liée au bâti    Exploitation liée à l'activité    Déplacement des usagers

MO Isolation Murs intérieurs sur locaux non chauffés		
Surface d'isolant Laine de verre e=10 cm (calibel)	288	m2
MO Isolation Planchers Hauts		
Surface d'isolant PSE (e=180mm) (epsitoit)	1932	m2
MO Isolation rapportée sous dalle		
Surface isolant PSE e = 125 mm (fibrastyroc)	1656	m2
MO Fx plafond - Bureau et salle de réu		
Surface de dalles suspendues (bureaux et salles de réu) (Ecophon)	8378	m2
MO Fx plafond - Circulations et sanitaires		
Surface Plafond Laine minérale (circulations et sanitaires) (Sahara)	3032	m2
MO Parois intérieures		
Surface de cloison vitrée (parois intérieures)	5362	m2
MO Portes intérieures - Sanitaires		
Nombre de portes pour les sanitaires	32	u
MO Portes intérieures - Ascenseurs		
Nombre de portes coupe feu (ascenseurs)	16	u

Figure 33 – Capture d'écran d'OPERA : valeurs renseignées pour le second œuvre du bâtiment mixte

Produit : Bâtiment\_v0.1

Fiche descriptive    Arbre    Valeurs    Résultats

Mixte H1a    Enregistrer

Global    Structure    Enveloppe    Second Oeuvre    **Exploitation liée au bâti**    Exploitation liée à l'activité    Déplacement des usagers

MO Energie liée à la RT 2012		
Consommation d'énergie RT (choisir la zone géographique)	H1a	kWh
MO Energie non liée à la RT 2012		
Consommation d'énergie liée au bâti NON RT	1883300.0	kWh

Figure 34 – Capture d'écran d'OPERA : valeurs renseignées pour l'exploitation liée au bâti

**Produit : Bâtiment\_v0.1** Fiche descriptive | Arbre | Valeurs | Résultats

Mixte H1a

Global | Structure | Enveloppe | Second Oeuvre | Exploitation liée au bâti | **Exploitation liée à l'activité** | Déplacement des usagers

**MO Energie liée à l'activité**

Consommation d'énergie d'activité (parc informatique)	<input type="text" value="26136000.0"/>	kWh
---	---	-----

**MO Matière liée à l'activité**

Consommation de papier liée à l'activité	<input type="text" value="4245000"/>	kg
--	--------------------------------------	----

**MO Eau liée à l'activité**

Consommation d'eau liée à l'activité	<input type="text" value="1199920"/>	m3
--------------------------------------	--------------------------------------	----

Figure 35 – Capture d'écran d'OPERA : valeurs renseignées pour l'exploitation liée à l'activité

**Produit : Bâtiment\_v0.1** Fiche descriptive | Arbre | Valeurs | Résultats

Mixte H1a

Global | Structure | Enveloppe | Second Oeuvre | Exploitation liée au bâti | Exploitation liée à l'activité | **Déplacement des usagers**

**MO Déplacement des usagers**

Personne.km par train	<input type="text" value="8940633.6"/>	personkm
Personne.km par voiture	<input type="text" value="123298140.0"/>	personkm

**MO Transport pour le chantier du bâtiment Acier**

Personne.km par train	<input type="text" value="0"/>	personkm
Personne.km par voiture	<input type="text" value="0"/>	personkm
Personne.km par avion	<input type="text" value="0"/>	personkm

**MO Transport pour le chantier du bâtiment Béton**

Personne.km par train	<input type="text" value="0"/>	personkm
Personne.km par voiture	<input type="text" value="0"/>	personkm

Figure 36 – Capture d'écran d'OPERA : valeurs renseignées pour le déplacement des usagers

## 6.11.4 Export des valeurs renseignées dans OPERA

Tableau 87 – Valeurs renseignées dans la modélisation telles qu'exportées par Opera

Nom de la question	Unité	Mixte H1a	Béton H1a	Mixte optimisé H1a
DVT	années	1,00E+02	1,00E+02	1,00E+02
Prise en compte du module D	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Volume de béton de propreté C16/20 Xo pour les FONDATIONS	m3	4,23E+01	4,23E+01	4,23E+01
Volume de béton C30/37 XC1 pour les FONDATIONS (massifs, semelles filantes, liaisons sismiques)	m3	2,21E+02	2,21E+02	2,21E+02
Volume de béton C30/37 XC1 pour les FONDATIONS (dalles et radiers)	m3	5,78E+01	5,78E+01	5,78E+01
Volume de béton C30/37 XC2 pour les FONDATIONS (parois des cuvettes d'ascenseur)	m3	4,70E+00	4,70E+00	4,70E+00
Masse d'acier à béton dans les FONDATIONS	kg	2,23E+04	2,23E+04	2,23E+04
Masse de terre manipulée (déblais et remblais)	t	1,81E+04	1,81E+04	1,81E+04
Masse de terre évacuée (déblais uniquement)	t	1,20E+04	1,20E+04	1,20E+04
Surface de coulage FONDATIONS	m2	7,20E+01	7,20E+01	7,20E+01
Masse d'acier à béton pour les armatures INFRASTRUCTURES	kg	7,89E+04	7,89E+04	7,89E+04
Volume de béton C30/37 XC1 pour le dallage sur terre-plein (R-2) INFRASTRUCTURES	m3	1,24E+02	1,24E+02	1,24E+02
Volume de béton C30/37 XC1 pour les poutres INFRASTRUCTURES	m3	2,88E+01	2,88E+01	2,88E+01
Volume de béton C30/37 pour les voiles intérieurs et poteaux en sailli de voile INFRASTRUCTURES	m3	2,48E+02	2,48E+02	2,48E+02
Volume de béton C30/37 XC1 pour les planchers INFRASTRUCTURES	m3	4,25E+02	4,25E+02	4,25E+02
Volume de béton C40/50 XC1 pour les poteaux INFRASTRUCTURES	m3	1,61E+01	1,61E+01	1,61E+01
Volume de béton C30/37 pour les voiles extérieurs INFRASTRUCTURES	m3	2,49E+02	2,49E+02	2,49E+02
Masse de granulats massifs (couche drainante)	t	5,35E+02	5,35E+02	5,35E+02
Masse de granulats meubles (réglage en sable)	t	3,54E+01	3,54E+01	3,54E+01
Masse de granulats divers (hérissons)	t	2,15E+02	2,15E+02	2,15E+02
Volume de béton C30/37 XC1 pour les escaliers INFRASTRUCTURES	m3	1,40E+01	1,40E+01	1,40E+01
Volume de béton C30/37 XC1 pour les voiles NOYAU BETON	m3	6,76E+02	6,76E+02	0,00E+00
Volume de béton C30/37 XC1 pour les dalles NOYAU BETON	m3	1,01E+02	1,01E+02	0,00E+00
Masse d'acier à béton utilisé pour les armatures NOYAU BETON	kg	4,42E+04	4,42E+04	0,00E+00
Volume de béton C30 XC1 pour les escaliers NOYAU BETON	m3	5,60E+01	5,60E+01	0,00E+00
Masse d'acier pour les poutres et poteaux NOYAU ACIER	kg	0,00E+00	0,00E+00	5,74E+04
Masse d'acier pour les diagonales NOYAU ACIER	kg	0,00E+00	0,00E+00	1,80E+04
Masse d'acier d'assemblage dans NOYAU ACIER	kg	0,00E+00	0,00E+00	6,04E+03
Volume de béton C30 XC1 pour les escaliers NOYAU ACIER	m3	0,00E+00	0,00E+00	5,60E+01
Surface de bacs collaborants pour le NOYAU ACIER	m2	0,00E+00	0,00E+00	2,52E+02
Masse de poteaux et poutres en acier pour la superstructure MIXTE	kg	2,40E+05	0,00E+00	1,97E+05
Surface de bacs collaborants pour la superstructure MIXTE	m2	8,28E+03	0,00E+00	8,28E+03
Masse d'acier d'assemblage pour la superstructure MIXTE	kg	1,50E+04	0,00E+00	1,18E+04
Volume de béton C40/50 pour les poteaux de la superstructure BETON	m3	0,00E+00	1,36E+02	0,00E+00

Tableau 88 – valeurs renseignées dans la modélisation telles qu'exportées par Opera (Suite)

Nom de la question	Unité	Mixte H1a	Béton H1a	Mixte optimisé H1a
Volume de béton C30/37 pour les poutres de la superstructure BETON	m3	0,00E+00	3,44E+02	0,00E+00
Surface de DAP 24 7 de la superstructure BETON	m2	0,00E+00	3,43E+03	0,00E+00
Surface de DAP 28 7 de la superstructure BETON	m2	0,00E+00	4,86E+03	0,00E+00
Masse d'acier à béton de la superstructure BETON	kg	0,00E+00	5,91E+04	0,00E+00
Surface de facade 50% transparente	m2	1,12E+04	1,12E+04	1,12E+04
Surface facade vitrée 75%	m2	3,12E+02	3,12E+02	3,12E+02
Surface isolant polystyrène partie opaque facade	m2	3,17E+03	3,17E+03	3,17E+03
Surface de stores pour la facade	m2	1,28E+04	1,28E+04	1,28E+04
Surface d'isolant Laine de verre e=10 cm (calibel)	m2	2,88E+02	2,88E+02	2,88E+02
Surface d'isolant PSE (e=180mm) (epsitoit)	m2	1,93E+03	1,93E+03	1,93E+03
Surface isolant PSE e = 125 mm (fibrastyroc)	m2	1,66E+03	1,66E+03	1,66E+03
Surface de dalles suspendues (bureaux et salles de réu) (Ecophon)	m2	8,38E+03	8,38E+03	8,38E+03
Surface Plafond Laine minérale (circulations et sanitaires) (Sahara)	m2	3,03E+03	3,03E+03	3,03E+03
Surface de cloison vitrée (parois intérieures)	m2	5,36E+03	5,36E+03	5,36E+03
Nombre de portes pour les sanitaires	unité	3,20E+01	3,20E+01	3,20E+01
Nombre de portes coupe feu (ascenseurs)	unité	1,60E+01	1,60E+01	1,60E+01
Déplacement des usagers - Personne.km par train	pkm	8,94E+06	8,94E+06	8,94E+06
Déplacement des usagers - Personne.km par voiture	pkm	1,23E+08	1,23E+08	1,23E+08
Transport pour le chantier du bâtiment Mixte - Personne.km par train	pkm	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Transport pour le chantier du bâtiment Mixte - Personne.km par voiture	pkm	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Transport pour le chantier du bâtiment Béton - Personne.km par train	pkm	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Transport pour le chantier du bâtiment Béton - Personne.km par voiture	pkm	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Transport pour le chantier du bâtiment Mixte - Personne.km par avion	pkm	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Consommation d'énergie RT (choisir la zone géographique)	-	H1a	H1a	H1a
Consommation d'énergie liée au bâti NON RT	kWh	1,88E+06	1,88E+06	1,88E+06
Consommation d'énergie d'activité (parc informatique)	kWh	2,61E+07	2,61E+07	2,61E+07
Consommation d'eau liée à l'activité	m3	1,38E+05	1,38E+05	1,38E+05
Consommation de papier liée à l'activité	kg	4,25E+06	4,25E+06	4,25E+06

## 6.12 Annexe 12 : Rapport de revue critique

*Revue Critique du rapport  
“Évaluation de la Qualité Environnementale  
de Bâtiments Tertiaires – Aspects  
environnementaux  
Avril 2013”*

selon  
ISO 14040 & ISO 14044  
et XP P 01-020-3

---

SOL 12-033.2

5 juillet 2013

pour

**ArcelorMittal**

## 1. Introduction

« BIO Intelligence Service » (nommée BIO IS dans le reste du document) a réalisé une analyse du cycle de vie comparative de trois structures destinées à un bâtiment de bureau – structure mixte béton-acier, structure béton seul et une variante optimisée de la structure mixte béton-acier. Cette étude, menée pour ArcelorMittal, avec la participation de « E2C Atlantique » et de « TRIBU Énergie », poursuit l'objectif de « comparer la qualité environnementale de bâtiments de bureaux construits avec différents types de structures ».

Cette étude comparative a été réalisée dans le cadre des normes ISO 14040 et ISO 14044, ainsi que de la norme XP P 01-020-3. Cette étude est destinée à être communiquée au public, notamment des acteurs de la construction, au travers d'un « rapport pour tierce partie ».

De ce fait, ArcelorMittal a souhaité faire réaliser une revue critique par un panel du rapport d'ACV de BIO IS.

Le présent rapport est le rapport final de revue critique, préparé par le panel de revue critique. Ce rapport, comprenant ses annexes, est destiné à être intégré au rapport final de BIO IS.

## 2. Composition du panel

Le panel était composé des membres suivants :

- Philippe OSSET, ingénieur de la société Solinnen (société spécialisée dans les applications de l'Analyse du Cycle de Vie), qui a assuré la présidence du comité,
- Emmanuel JAYR, ingénieur de recherche, division Environnement et Ingénierie du Cycle de Vie, CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment),
- Gérard SENIOR, architecte DPLG,
- Stéphane HERBIN, architecte en charge du développement durable au CTICM (Centre Technique Industriel de la Construction Métallique),
- Dr. Adélaïde FERAILLE, chercheur au laboratoire Navier (École Nationale des Ponts et Chaussées, IFSTTAR, CNRS).

Les membres du panel ont travaillé de la façon la plus indépendante possible vis à vis des praticiens et du commanditaire.

L'intention lors de la formation du panel était de mettre à disposition à la fois des compétences méthodologiques en ACV et des compétences techniques concernant les procédés constructifs appliqués aux bâtiments étudiés.

## 3. Nature du travail de Revue Critique, processus et limitations

Le panel a travaillé conformément aux exigences des normes mentionnées en référence. Le panel a pris de plus en compte le travail en cours concernant ISO TS 14071. Conformément à ISO 14044, le panel a notamment travaillé afin de vérifier les points suivants :

- les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV sont cohérentes avec les exigences de la norme ISO 14044,
- les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV sont valables d'un point de vue scientifique et technique,
- les données utilisées sont appropriées et raisonnables par rapport aux objectifs de l'étude,
- les interprétations reflètent les limitations identifiées et les objectifs de l'étude,
- le rapport d'étude est transparent et cohérent.

Le premier objectif du panel a été de fournir à *BIO IS* des commentaires détaillés afin que BIO IS améliore son travail. Ces commentaires ont couvert les choix méthodologiques et le mode de restitution des résultats. Le panel a vérifié la plausibilité des données utilisées au travers de tests aléatoires. Enfin, le présent rapport final de revue critique fournit *au futur lecteur du rapport* de BIO IS des informations qui lui permettront de mieux comprendre le rapport final de BIO IS pour ArcelorMittal.

Le travail de revue critique a été mené au fur et à mesure du travail de BIO IS. Ce travail, commencé après la genèse d'un premier rapport par BIO IS, s'est achevé au vu du rapport final de BIO IS. Pendant la période de revue critique, des échanges oraux et écrits ont eu lieu entre les membres du panel et BIO IS, incluant des clarifications concernant

les commentaires produits, et la production de plusieurs versions successives du rapport par BIO IS. BIO IS a pris en compte la majeure partie des commentaires du panel et significativement modifié et amélioré son rapport.

Le présent rapport de revue critique est la synthèse finale des commentaires par les membres du panel. Quelques commentaires détaillés clefs sont fournis au sein du présent rapport de revue critique, ainsi que l'ensemble des échanges en annexe.

Le présent rapport est livré par le panel à ArcelorMittal et à BIO IS. Le panel ne peut pas être tenu pour responsable de l'usage de son travail par des tiers. Les conclusions du panel couvrent *l'ensemble du rapport de BIO IS* mentionné plus haut et aucun autre rapport, extrait, publication ou généralisation de tout type qui pourrait être fait. Les conclusions du panel ont été données dans le cadre de l'état de l'art courant, et de l'information qu'il a reçu au cours de son travail. Ces conclusions auraient pu être différentes dans un contexte différent.

## 4. Conclusions de la revue

Les 140 commentaires détaillés couvrent les points suivants :

- méthodologie (ISO) : 7 commentaires,
- méthodologie (science) : 15 commentaires,
- données et calculs : 34 commentaires,
- analyse et interprétations : 24 commentaires,
- rapport, éditorial et autres commentaires : 60 commentaires.

Un travail important a été réalisé par BIO IS pour répondre aux commentaires de façon détaillée, et les prendre en compte au sein de son rapport final. La pertinence des modifications proposées a été discutée en réunion, et la réalisation effective des modifications vérifiée au vu du rapport final. La revue critique note la globale bonne volonté de BIO IS qui a apporté très souvent des modifications en directe adéquation avec les commentaires de la revue.

Au vu du rapport final, le panel considère que les conclusions apportées répondent de façon adéquate et crédible aux objectifs mentionnés, et qu'elles ont été établies dans le respect des normes mentionnées. Ces conclusions sont mesurées et prennent en compte les incertitudes associées aux différents impacts étudiés, dans un cadre explicitement mentionné au chapitre 4.6.5 du rapport de BIO IS. Ces conclusions s'inscrivent dans le cadre des limitations mentionnées au sein des commentaires détaillés précisés au chapitre suivant. Le rapport de BIO IS s'inscrit ainsi bien dans le cadre général des exigences d'ISO 14044 concernant les rapports d'ACV communiqués à des tiers.

## 5. Commentaires détaillés

Les lignes suivantes apportent des éclairages spécifiques qu'un lecteur du rapport final de BIO IS pourra utiliser pour l'assister dans sa lecture et sa compréhension du rapport. Ces lignes récapitulent des commentaires essentiels qui n'ont pas été traités de façon appropriée selon les exigences des normes, en mentionnant les raisons apportées et l'implication sur les résultats que ces écarts peuvent avoir. La lecture des commentaires détaillés et des réponses détaillées fournis au sein de l'annexe est recommandée pour mieux comprendre les points suivants.

### 5.1 Adéquation des méthodes avec les exigences des normes de référence

Le contenu final du rapport de BIO IS reprend une partie des exigences du chapitre 5.2 de la norme ISO 14044, en les organisant selon un plan différent de celui proposé au sein de ce chapitre 5.2. Au-delà de ce point, dans la mesure où les impacts fournis dans les FDES ont été utilisés directement pour les calculs à l'aide de l'outil « Opéra » de BIO IS, les inventaires du cycle de vie n'étaient pas disponibles pour le panel de revue critique. Au final, le rapport de BIO IS est donc moins transparent que ce qui est attendu par les normes.

Cette limitation est inhérente à l'usage direct des impacts des FDES sans repasser par les inventaires du cycle de vie présents dans les FDES. Néanmoins, des travaux de revue associés aux données utilisées (par exemple, vérification des FDES), et notamment les modèles concernant la production de l'acier et du béton, ont été réalisés par les organismes qui ont mis à disposition les données.

### **5.2 Validité technique et scientifique**

Les structures comparées, ainsi que leur mode de fonctionnement pendant leur vie en œuvre, ont été clairement documentés par les praticiens, et s'inscrivent dans le cadre des objectifs de l'étude. Cette documentation a permis aux experts du panel de s'assurer de la pertinence de ces structures.

Le panel attire à nouveau l'attention du lecteur du rapport de BIO IS sur le fait qu'il ne faut pas généraliser les résultats obtenus, notamment dans la mesure où l'objet de cette étude est de conduire la comparaison de différentes dispositions constructives pour un bâtiment type de bureaux et en aucune manière d'étendre ses conclusions à d'autres dispositions ou à d'autres usages.

### **5.3 Adéquation des données utilisées en relation avec les objectifs de l'étude**

Le panel a pu avoir accès aux données et au mode de calcul au travers d'une revue ponctuelle de l'outil de calcul utilisé par BIO IS pour son travail. Cette revue n'a pas permis d'identifier de problème significatif au sein de l'outil de BIO IS. Elle ne constitue toutefois pas une « vérification » de l'outil « Opéra » de BIO IS.

L'usage des FDES selon NF P01 010 est adapté au projet, dans le cadre des limitations explicitement mentionnées au sein du chapitre 4.6.4.

### **5.4 Validité des interprétations dans le cadre des limitations de l'étude**

Les limitations à l'étude mentionnées au sein du chapitre 4.6 du rapport de BIO IS sont complètes et répondent aux attentes exprimées par le panel de revue critique. Les interprétations présentées dans le rapport de BIO IS sont cohérentes dans le cadre des limitations présentées au sein du rapport de BIO IS.

### **5.5 Transparence et consistance**

La transparence du rapport est forte, dans le cadre de la limitation mentionnée plus haut de l'usage direct des impacts des FDES. Cet usage ne permet pas (notamment) de calculer de bilans massiques.

Les annexes présentent de nombreux points demandés par le panel, et notamment les sources des données utilisées, les modes de calcul (notamment Eurocodes), ainsi que les métrés, et la façon dont ils ont été utilisés dans le logiciel « Opéra » de BIO IS. Ces annexes contribuent significativement à la transparence du rapport, et permettraient à un tiers de réaliser un travail similaire.

La consistance de traitement des différents cas étudiés est forte dans la mesure où notamment :

- le même outil et les mêmes données amont ont été utilisés,
- les bâtiments ont été calculés de façon similaire, afin de remplir des fonctionnalités similaires,
- les critères de coupure sont similaires.

## **6. Annexes**

Le tableau de commentaires détaillés échangés au cours du travail de revue critique, ainsi que les réponses des praticiens, est une annexe du présent rapport de revue critique.

