

## QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE DES BÂTIMENTS DE BUREAUX

ISO 14040 – 14044

ET NF P 01-010 – NF P 01-020 – XP P 01-020-3

Recherche des paramètres influençant  
la qualité environnementale des bureaux  
à basse consommation énergétique  
Comparaison des impacts environnementaux



# **QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE DES BÂTIMENTS DE BUREAUX**

ISO 14040 – 14044

ET NF P 01-010 – NF P 01-020 – XP P 01-020-3

Recherche des paramètres influençant  
la qualité environnementale des bureaux  
à basse consommation énergétique  
Comparaison des impacts environnementaux

## AVERTISSEMENT AUX LECTEURS

CIMbéton a demandé à PwC<sup>1</sup>-Ecobilan de l'assister dans la réalisation de bilans environnementaux de bâtiments dans le cadre d'une commande passée en 2009.

PwC et CIMbéton n'acceptent aucune responsabilité vis-à-vis de tout tiers à qui les résultats de l'étude auront été communiqués ou aux mains desquels ils seraient parvenus, l'utilisation des résultats par leurs soins relevant de leur propre responsabilité.

PwC et CIMbéton rappellent que les résultats de l'étude sont seulement fondés sur des faits, circonstances et hypothèses qui ont été communiqués au cours de l'étude. Si ces faits, circonstances et hypothèses diffèrent, les résultats sont susceptibles de changer.

De plus, il convient de considérer les résultats de l'étude dans leur ensemble, au regard des hypothèses, et non pas pris isolément.

---

1. PwC désigne dans ce rapport PricewaterhouseCoopers Advisory, entité membre du réseau international PwC qui délivre des prestations de conseil en organisation et management.

# Sommaire

---

● <b>1. Objectifs, périmètre et limites de l'étude</b>	<b>9</b>
--	----------

---

● <b>2. Présentation synthétique des résultats</b>	<b>13</b>
--	-----------

---

● <b>3. Objectifs et champ de l'évaluation</b>	<b>17</b>
--	-----------

<b>3.1 Contexte</b>	<b>18</b>
---------------------	-----------

<b>3.2 Objectifs de l'évaluation</b>	<b>19</b>
--------------------------------------	-----------

<b>3.3 Cadre méthodologique de l'étude</b>	<b>19</b>
--	-----------

3.3.1 - Intervenants	19
----------------------	----

3.3.2 - Méthodologie utilisée	20
-------------------------------	----

3.3.3 - Unité fonctionnelle	21
-----------------------------	----

<b>3.4 Définition des frontières de l'étude</b>	<b>22</b>
---	-----------

3.4.1 - Frontière temporelle de l'évaluation	22
--	----

3.4.2 - Champ de l'évaluation	23
-------------------------------	----

3.4.2.1 - 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	23
--	----

3.4.2.2 - Autres consommations d'énergie liées au bâti	24
--	----

3.4.2.3 - Consommations d'énergie liées à l'activité (restauration, équipements bureautiques, laverie, etc.)	24
---	----

3.4.2.4 - Consommations de produits et matériaux de construction	24
---	----

3.4.2.5 - Consommation d'eau, production et gestion des déchets d'activité, rejets liquides, consommations de matières liées à l'activité, transports des usagers	25
---	----

3.4.2.6 - Processus inclus par convention dans l'étude	25
--	----

3.4.2.7 - Frontières du système pour les produits de construction	27
--	----

<b>3.5 Présentation et d'analyse des résultats</b>	<b>28</b>
--	-----------

3.5.1 - Présentation des résultats	28
------------------------------------	----

3.5.2 - Incertitude et interprétation des résultats	29
---	----

---

---

● <b>4. Hypothèses et données pour le calcul des impacts environnementaux des bâtiments de bureaux</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Définition architecturale et structurelle des bâtiments</b>	<b>32</b>
4.1.1 - Hypothèses	32
4.1.1.1 - Dispositions géométriques	33
4.1.1.2 - Typologies d'édifices étudiés	35
4.1.1.3 - Charges d'exploitation	35
4.1.1.4 - Stabilité au feu	35
4.1.2 - Éléments communs aux bâtiments béton et acier	36
4.1.3 - Description de la structure du bâtiment béton	37
4.1.4 - Description de la structure du bâtiment acier	39
4.1.5 - Type de bétons utilisés	41
4.1.6 - Éléments du bâtiment se rapportant à l'unité fonctionnelle	41
<b>4.2 Calculs thermiques</b>	<b>43</b>
4.2.1 - Détails des paramètres pour les solutions béton et acier	43
4.2.2 - Hypothèses et scénarios utilisés pour les calculs thermiques	44
4.2.2.1 - Scénarios relatifs aux données climatiques nécessaires au calcul des consommations d'énergie	44
4.2.2.2 - Prise en compte des zones sismiques	45
<b>4.3 Hypothèses et scénarios pour le calcul des impacts environnementaux</b>	<b>46</b>
4.3.1 - Durée de vie	46
4.3.1.1 - Durée de vie des bâtiments	46
4.3.1.2 - Durées de vie des produits de construction	47
4.3.2 - Cycle de vie du bâtiment	47
4.3.2.1 - Vie en œuvre	48
4.3.2.2 - Fin de vie	51
4.3.3 - Informations relatives à la disponibilité et la qualité des données	52
4.3.3.1 - Données publiquement disponibles	53
4.3.3.2 - Données obtenues à partir de FDES communiquées par les fabricants ou les syndicats professionnels	53
4.3.3.3 - Données estimées à partir de modélisations <i>ad hoc</i>	53
4.3.3.4 - Qualité des données	53
4.3.3.5 - Représentativités temporelles, technologique et géographique	54
4.3.3.6 - Cohérence des données	54
<b>4.4 Modélisation des solutions constructives sous TEAM™ Bâtiment</b>	<b>55</b>
<b>4.5 Calcul des impacts environnementaux des solutions constructives</b>	<b>56</b>

---

---

<b>● 5. Résultats de l'évaluation</b>	<b>57</b>
<b>5.1 Sélection des indicateurs</b>	<b>58</b>
<b>5.2 Principales hypothèses méthodologiques</b>	<b>60</b>
<b>5.3 Impacts environnementaux des bâtiments</b>	<b>61</b>
5.3.1 - Énergie Primaire Totale	61
5.3.1.1 - Périmètre matériaux	62
5.3.1.2 - Périmètre global	63
5.3.2 - Energie non renouvelable	64
5.3.2.1 - Périmètre matériaux	65
5.3.2.2 - Périmètre global	66
5.3.3 - Changement climatique	67
5.3.3.1 - Périmètre matériaux	68
5.3.3.2 - Périmètre global	69
5.3.4 - Épuisement des ressources	70
5.3.4.1 - Périmètre matériaux	71
5.3.4.2 - Périmètre global	72
5.3.5 - Déchets valorisés	73
5.3.5.1 - Périmètre matériaux	74
5.3.5.2 - Périmètre global	75
5.3.6 - Production totale de déchets éliminés	76
5.3.6.1 - Périmètre matériaux	77
5.3.6.2 - Périmètre global	78
5.3.7 - Acidification atmosphérique	79
5.3.7.1 - Périmètre matériaux	80
5.3.7.2 - Périmètre global	81
5.3.8 - Détails par matériau et par sous-ensemble	82
5.3.9 - Présentation sous forme de radar des 11 indicateurs	85
5.3.9.1 - Périmètre matériaux	86
5.3.9.2 - Périmètre global	87

---

<b>● 6. Analyses complémentaires</b>	<b>90</b>
<b>6.1 Analyse de sensibilité sur la durée de vie de l'ouvrage</b>	<b>90</b>
<b>6.2 Contributions des matériaux par lots</b>	<b>94</b>
6.2.1 - Découpage par lots des résultats de l'étude	94
6.2.2 - Résultats complémentaires de HQE Performance	95
<b>6.3 Influence d'une optimisation des structures</b>	<b>95</b>
<b>6.4 Optimisation des infrastructures du bâtiment acier</b>	<b>97</b>

---

---

**● 7. Conclusion 99**

---

**● 8. Rapport de revue critique 105**

**8.1 Présentation de la revue critique 106**

8.1.1 - Objectif de la revue critique 106

8.1.2 - Comité de revue critique 106

8.1.3 - Périmètre de la revue critique 107

8.1.4 - Déroulement de la revue critique 107

**8.2 Synthèse de la revue critique 108**

8.2.1 - Méthodologie et conformité aux normes 108

8.2.2 - Validité des méthodes d'un point de vue technique  
et scientifique 109

8.2.3 - Données utilisées et cohérence par rapport  
aux objectifs de l'étude 109

8.2.4 - Interprétations et conclusions 110

8.2.5 - Structure et transparence du rapport 110

**8.3 Conclusion de la revue critique 111**

**8.4 Annexes: principales observations du comité de revue 112**

8.4.1 - Contexte et Objectifs de l'étude 112

8.4.2 - Champ de l'étude 114

8.4.3 - Hypothèses et données utilisées pour l'établissement  
de l'inventaire 116

8.4.4 - Évaluations des impacts environnementaux 123

8.4.5 - Résultats de l'étude 124

8.4.6 - Conclusions de l'étude 126

8.4.7 - Remarques éditoriales 126

---

**● 9. Remerciements 127**

---

**● 10. Annexes 131**

**10.1 Annexe A – Détails des FDES et des modélisations utilisées  
pour évaluer les impacts environnementaux des bâtiments  
étudiés 132**

**10.2 Annexe B – Détail des hypothèses des produits  
de construction acier 134**

<b>10.3 Annexe C – Métrés utilisés pour la modélisation du bâtiment</b>	<b>137</b>
<b>10.4 Annexe D – Métrés du bureau d'étude</b>	<b>139</b>
<b>10.5 Annexe E – Impacts détaillés des différents cas de figure</b>	<b>152</b>
<b>10.6 Annexe F – Exigences relatives à la qualité des données sur les produits de construction</b>	<b>157</b>
<b>10.7 Annexe G – Calcul de l'inventaire: hypothèses et modes de calcul, recueil des données</b>	<b>158</b>

---



Chapitre

1

# Objectifs, périmètre et limites de l'étude

Ce chapitre est un résumé des points importants nécessaires à la bonne compréhension de l'étude.

La présente étude a pour objectif la comparaison des aspects environnementaux de la qualité environnementale de bâtiments de bureaux théoriques de structure acier ou de structure béton répondant au label BBC 2005 en considérant deux périmètres: le premier sur les matériaux de construction et le second intégrant l'énergie d'usage conventionnel et l'énergie d'activité. Cette étude présente uniquement les résultats des impacts environnementaux et n'a pas pour objectif de proposer des leviers d'action visant à réduire l'impact environnemental de ce type de bâtiment.

Cette étude est basée sur le principe de l'Analyse de Cycle de Vie régie par les normes ISO 14040 et 14044 et sur celui des normes françaises encadrant la qualité environnementale des bâtiments (NF P 01-010, NF P 01-020 et XP 01-020-3).

Cette étude vise à établir la qualité environnementale des bâtiments (QEB) décrite dans la norme NF P 01-020. Les contributions sanitaires et de confort, parties intégrantes de la qualité environnementale des bâtiments ne sont pas prises en compte dans ce présent rapport car les bâtiments étudiés sont théoriques et n'ont pas été réalisés. Les mesures ne sont donc pas effectuelles.

Ces bâtiments théoriques représentent des pratiques courantes en France ou qui vont le devenir (BBC) et ne portent pas sur des pratiques innovantes en matière de réduction d'impacts environnementaux. Les choix de structure, de dimensions et d'implantation du bâtiment permettent de créer un terrain propice à la comparaison des bâtiments acier et béton. Le choix d'autres pratiques courantes de construction est cependant possible. Ces choix constructifs différents peuvent mener à des résultats différents de ceux affichés dans cette étude.

Tous les contributeurs proposés par la norme XP 01-020-3 n'ont pas été pris en compte. Sont inclus dans le champ de l'étude :

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.

Consommations d'énergie liées à l'activité (restauration, équipements bureautiques, laverie, etc.)

Consommations de produits et matériaux de construction à l'exception des lots suivants: réseaux divers, aménagement extérieur et voirie, équipements de production de chaleur, de froid et de ventilation, équipements sanitaires, solutions pour installations électriques et domotiques et équipements de transports internes.

La validation des FDES disponibles publiquement n'était pas dans les objectifs de l'étude. PwC a donc utilisé les données des FDES telles qu'elles sont disponibles sur la base INIES ou auprès des producteurs de matériaux. Les auteurs de l'étude ne peuvent donc être tenus responsables pour des erreurs dues à l'utilisation de FDES comportant éventuellement des erreurs.

Cette étude a utilisé les FDES et les cadres méthodologiques telles qu'ils étaient disponibles entre le début de l'étude et la clôture des calculs c'est-à-dire entre janvier 2010 et août 2010. Les FDES et cadres méthodologiques rendus publics après mai 2010 n'ont donc pas été pris en compte dans l'étude.

L'étude utilise des FDES comme sources de données. Ainsi, en ce qui concerne le recyclage, elle utilise donc des données obtenues à partir de la méthode recommandée dans la norme NF P 01-010, à savoir la méthode des stocks. Compte tenu du caractère figé de ces sources de données, il n'a pas été possible de réaliser d'analyses de sensibilité sur la méthode de prise en compte du recyclage et il n'a donc pas été possible d'évaluer l'influence de ce choix méthodologique sur les résultats. De plus, les différentes FDES utilisées ont parfois des approches méthodologiques différentes qui ne sont pas en totale cohérence. Par exemple, dans les données utilisées pour l'acier, le laitier est considéré comme un co-produit de l'acier et les impacts du laitier sont donc déduits de ceux de l'acier. À l'inverse, dans les données utilisées pour le béton, le laitier est considéré comme un déchet des aciéries et aucun impact ne lui est attribué. L'incohérence de ces deux approches conduit à la non prise en compte des impacts du laitier.

Les bilans environnementaux des produits étudiés ne sont pas tous disponibles sous forme complète et détaillée. C'est pourquoi les seuls résultats utilisables dans les inventaires finaux de TEAM™ Bâtiment sont ceux portant sur l'ensemble de la durée de vie et sur les indicateurs de la norme NF P 01-010.

En l'absence de FDES disponibles et récentes pour couvrir l'ensemble des matériaux de construction utilisés dans l'étude, un arbitrage a été réalisé en faveur de l'utilisation et de l'adaptation de FDES « anciennes » mais conformes à la norme XP 01-010 et NF P 01-010 (par exemple réalisées en 1999). PwC a considéré que les procédés utilisés pour la fabrication de ces produits n'avaient pas significativement évolué en 10 ans.

La durée de vie des bâtiments a été fixée à 100 ans à partir de la durée de vie des éléments de structure. Les éventuelles évolutions des impacts environnementaux des éléments qui caractérisent le système (remplacement des matériaux par des matériaux plus performants, non-maintien des performances énergétiques du bâtiment, évolution du mix énergétique français) n'ont pas été prises en compte dans cette étude.

Au moment du lancement de l'étude, le calcul thermique réglementaire s'effectue sous le moteur RT2005. Dans le cadre de cette étude, il est souhaité que les bâtiments répondent à un critère de performance énergétique performant

(correspondant au label BBC2005). Cependant, le contexte réglementaire étant en cours d'évolution, il a été décidé au cours de l'étude que les consommations RT2005 calculées et utilisées pour le calcul ACV ne reflétaient pas assez la réalité. Il a donc été décidé d'utiliser un calcul de type RT2012 pour la consommation d'énergie servant de base aux calculs des impacts environnementaux.

Les résultats de cette ACV sont des expressions relatives. Ils ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques.

Les résultats d'ACV sont toujours à considérer avec une incertitude qui provient de différents éléments (incertitudes sur les bases de données, les hypothèses considérées, la durée de vie, etc.) Étant donné la difficulté de propager ces incertitudes dans les calculs dans le cas de cette étude, il a été décidé de considérer une incertitude de 20 % au minimum sur les résultats. Il est donc nécessaire de considérer les conclusions de l'étude avec une grande prudence si l'on veut comparer des solutions constructives entre elles et de bien avoir ce seuil de signification à l'esprit.

Des analyses de sensibilité ont été menées sur la durée de vie du bâtiment, sur l'optimisation des structures et sur le choix des infrastructures afin d'évaluer la sensibilité de ces aspects et de mieux appréhender l'incertitude sur les résultats.



Chapitre

# 2

# Présentation synthétique des résultats

Conformément à la norme XP P01-020-3, les résultats sont présentés de façon synthétique avant le rapport d'évaluation détaillé.

Les bâtiments étudiés dans la présente étude ont les caractéristiques suivantes.

- Type et usage des bâtiments : bâtiments tertiaires de bureaux.
- Étape de la vie des bâtiments à laquelle ont été réalisées les évaluations : conception (le bâtiment est théorique et n'a pas été construit).
- Durée de vie programmée des bâtiments : 100 ans.
- Unité de référence : Immeuble de bureau.
- Surface du bâtiment en plan : 42 x 24 m.
- SHON : 9 270 m<sup>2</sup>.
- Nombre de niveaux en superstructure (hors rez-de-chaussée) : 8 niveaux.
- Nombre de niveaux en infrastructure : 2 niveaux.
- Hauteur entre niveaux de dalle à dalle en étage : 3,4 m.
- Hauteur de dalle à dalle au niveau du rez-de-chaussée : 4,0 m.
- Hauteur entre niveaux de dalle à dalle en infrastructure : 3,2 m.
- Informations additionnelles utiles :
  - les bâtiments étudiés sont implantés en France, dans les zones climatiques H1a ou H3 ;
  - deux types de bâtiments sont étudiés : la solution béton et la solution acier ;
  - un seul niveau de performance a été étudié : BBC 2005.
- Date de finalisation de l'évaluation : septembre 2011.

Les résultats sont présentés pour les 11 indicateurs décrits au paragraphe 3.1. Comme indiqué dans le tableau du paragraphe 3.1, on rappelle que les 4 indicateurs pollution de l'eau, pollution de l'air, eau consommée et ozone photochimique ont été jugés moins pertinents que les autres dans le cadre de cette étude. De ce fait, les résultats pour ces indicateurs sont donnés à titre d'information. Plus encore que pour les autres indicateurs, l'analyse des résultats obtenus pour ces 4 indicateurs doit être faite avec prudence et en tenant compte des limites de l'étude.

Les principales conclusions de l'étude sont les suivantes.

- Sur le périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre) ainsi que sur le périmètre global, il n'y a pas de différences significatives entre le bâtiment béton et le bâtiment acier sur l'ensemble des indicateurs ;
- La répartition des impacts sur le périmètre global montre la prépondérance des consommations d'énergie de vie en œuvre et ceci même dans un cadre BBC : plus de 80 % de la consommation d'énergie primaire totale en moyenne (40 % pour l'énergie d'usage et 40 % pour la consommation d'énergie d'activité).

**Tableau 1 : résultats de l'étude au format de la norme XP P01-020-3 pour le périmètre global pour 100 ans sur l'ensemble du bâtiment (9 270 m<sup>2</sup>)**

Catégorie d'indicateurs		Unité	Total périmètre global pour 100 ans							
			Béton H1a PAC	Acier H1a PAC	Béton H1a gaz	Acier H1a gaz	Béton H3 PAC	Acier H3 PAC	Béton H3 gaz	Acier H3 gaz
<b>Ressources</b>	Consommation d'énergie primaire totale	kWh <sub>ep</sub>	2,5E+08	2,6E+08	2,4E+08	2,5E+08	2,7E+08	2,8E+08	2,6E+08	2,7E+08
	Consommation de ressources énergétiques non renouvelables	kWh <sub>ep</sub>	2,4E+08	2,5E+08	2,3E+08	2,4E+08	2,5E+08	2,6E+08	2,5E+08	2,6E+08
	Épuisement des ressources naturelles	kg eq Sb	7,8E+04	8,2E+04	9,2E+04	9,8E+04	8,1E+04	8,6E+04	8,7E+04	9,1E+04
	Consommation totale d'eau	m <sup>3</sup>	1,9E+05	2,0E+05	1,8E+05	1,8E+05	2,0E+05	2,1E+05	1,9E+05	2,0E+05
<b>Air</b>	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	1,2E+09	1,3E+09	1,2E+09	1,3E+09	1,2E+09	1,4E+09	1,2E+09	1,3E+09
	Changement climatique	kg eq CO <sub>2</sub>	1,2E+07	1,2E+07	1,3E+07	1,4E+07	1,2E+07	1,3E+07	1,3E+07	1,4E+07
	Acidification atmosphérique	kg eq SO <sub>2</sub>	7,1E+04	7,3E+04	7,0E+04	7,2E+04	7,4E+04	7,6E+04	7,3E+04	7,5E+04
	Formation d'ozone photochimique	kg eq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7,0E+03	6,9E+03	7,0E+03	6,9E+03	7,2E+03	7,2E+03	7,2E+03	7,1E+03
<b>Eau</b>	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	7,2E+06	7,2E+06	7,2E+06	7,3E+06	7,3E+06	7,3E+06	7,3E+06	7,3E+06
<b>Déchets éliminés</b>	Dangereux	t	1,1E+02	1,2E+02	1,1E+02	1,1E+02	1,2E+02	1,3E+02	1,2E+02	1,3E+02
	Non Dangereux	t	1,4E+03	1,6E+03	1,4E+03	1,6E+03	1,4E+03	1,6E+03	1,4E+03	1,6E+03
	Inertes	t	3,1E+04	2,9E+04	3,1E+04	2,9E+04	3,1E+04	2,9E+04	3,1E+04	2,9E+04
	Radioactifs	kg	8,7E+00	8,9E+00	8,1E+00	8,3E+00	9,3E+00	9,6E+00	9,0E+00	9,1E+00
<b>Déchets valorisés</b>	Déchets valorisés	t	5,5E+03	4,7E+03	5,5E+03	4,7E+03	5,5E+03	4,7E+03	5,5E+03	4,7E+03

Remarque : les indicateurs foncier, biodiversité et eutrophisation exigés par la norme XP 01-020-3 ne sont pas renseignés faute de données disponibles.

**Tableau 2 : résultats de l'étude par m<sup>2</sup> SHON au format de la norme XP P01-020-3 pour le périmètre global pour 100 ans**

Catégorie d'indicateurs		Unité	Total périmètre global pour 100 ans, par m <sup>2</sup> SHON							
			Béton H1a PAC	Acier H1a PAC	Béton H1a gaz	Acier H1a gaz	Béton H3 PAC	Acier H3 PAC	Béton H3 gaz	Acier H3 gaz
<b>Ressources</b>	Consommation d'énergie primaire totale	kWh <sub>ep</sub>	2,7E+04	2,8E+04	2,6E+04	2,7E+04	2,9E+04	3,0E+04	2,8E+04	2,9E+04
	Consommation de ressources énergétiques non renouvelables	KWh <sub>ep</sub>	2,6E+04	2,6E+04	2,5E+04	2,6E+04	2,7E+04	2,8E+04	2,7E+04	2,8E+04
	Épuisement des ressources naturelles	kg eq Sb	8,4E+00	8,8E+00	1,0E+01	1,1E+01	8,8E+00	9,2E+00	9,4E+00	9,9E+00
	Consommation totale d'eau	m <sup>3</sup>	2,1E+01	2,1E+01	1,9E+01	2,0E+01	2,2E+01	2,2E+01	2,1E+01	2,2E+01
<b>Air</b>	Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	1,3E+05	1,4E+05	1,3E+05	1,4E+05	1,3E+05	1,5E+05	1,3E+05	1,5E+05
	Changement climatique	kg eq CO <sub>2</sub>	1,3E+03	1,3E+03	1,4E+03	1,5E+03	1,3E+03	1,4E+03	1,4E+03	1,5E+03
	Acidification atmosphérique	kg eq SO <sub>2</sub>	7,6E+00	7,9E+00	7,5E+00	7,7E+00	8,0E+00	8,2E+00	7,9E+00	8,1E+00
	Formation d'ozone photochimique	kg eq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7,5E-01	7,5E-01	7,5E-01	7,4E-01	7,8E-01	7,7E-01	7,7E-01	7,6E-01
<b>Eau</b>	Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	7,8E+02	7,8E+02	7,8E+02	7,8E+02	7,9E+02	7,9E+02	7,9E+02	7,9E+02
<b>Déchets</b>	Dangereux	t	1,2E-02	1,3E-02	1,2E-02	1,2E-02	1,3E-02	1,4E-02	1,3E-02	1,4E-02
	Non Dangereux	t	1,5E-01	1,7E-01	1,5E-01	1,7E-01	1,5E-01	1,7E-01	1,5E-01	1,7E-01
	Inertes	t	3,3E+00	3,1E+00	3,3E+00	3,1E+00	3,3E+00	3,1E+00	3,3E+00	3,1E+00
	Radioactifs	kg	9,4E-04	9,6E-04	8,7E-04	8,9E-04	1,0E-03	1,0E-03	9,7E-04	9,9E-04
<b>Déchets valorisés</b>	Déchets valorisés	t	5,9E-01	5,1E-01	5,9E-01	5,1E-01	5,9E-01	5,1E-01	5,9E-01	5,1E-01

Remarque: les indicateurs foncier, biodiversité et eutrophisation exigés par la norme XP 01-020-3 ne sont pas renseignés faute de données disponibles.



Chapitre

# 3

## Objectifs et champ de l'évaluation

## 3.1 Contexte

Sous l'impulsion des Pouvoirs Publics et notamment des préconisations du Grenelle de l'environnement, les filières industrielles représentant les matériaux et systèmes constructifs employés dans le bâtiment doivent prendre en compte la qualité environnementale des produits de construction et des bâtiments. En effet, aux critères d'évaluation traditionnels des ouvrages (mécanique, sismique, feu...) se rajoutent désormais de plus en plus systématiquement des critères d'évaluation de performance environnementale multicritères encadrés par des normes telles que la NF P 01-010 et la XP 01-020-3 (énergie, déchets, eaux...).

La filière béton souhaite ainsi apporter des contributions solides à ce domaine en pleine évolution. La filière a publié en 2009 une étude présentant la qualité environnementale de différents logements et elle souhaite avec cette seconde étude poursuivre cette évaluation de la qualité environnementale des bâtiments au niveau des bureaux :

- en modélisant et en calculant un bâtiment « type » théorique utilisant des procédés de construction courants, représentatif du marché et sans parti pris bioclimatique, et de conception permettant l'usage du béton ou de l'acier pour un même service rendu, le but étant de pouvoir couvrir un large ensemble d'immeuble de bureaux avec les résultats ;
- en s'assurant qu'il répondrait bien aux exigences de niveau performance BBC 2005, tant dans une conception béton que dans une conception acier, puisque ce matériau est le plus souvent comparé au béton dans ce type d'ouvrage ;
- en évaluant les impacts environnementaux de ces bâtiments béton et acier en suivant les normes françaises régissant actuellement les aspects environnementaux de la qualité environnementale des bâtiments. Cette démarche méthodologique normée a été contrôlée par tierce partie indépendante au travers d'une revue critique suivant les normes ISO 14040 et 14044, tant du point de vue méthodologique que des résultats obtenus.

## 3.2 Objectifs de l'évaluation

Cette évaluation a deux objectifs.

- Comparer à l'aide d'une analyse de cycle de vie, les impacts environnementaux de deux immeubles de bureaux climatisés selon deux systèmes constructifs béton et acier, avec une performance énergétique au niveau du Label BBC 2005, en région parisienne (H1a), zone géographique climatiquement « médiane » et en zone méditerranéenne (H3). Le périmètre est celui du bâtiment complet livré partiellement cloisonné mais excluant les réseaux, voirie et équipements divers du bâtiment<sup>2</sup>, sur la durée de vie totale du bâtiment.
- Analyser la contribution relative des impacts liés aux matériaux, en distinguant gros œuvre et second œuvre, et des impacts liés aux usages.

## 3.3 Cadre méthodologique de l'étude

### 3.3.1 - Intervenants

---

Les différentes étapes de l'étude ont été réalisées par les bureaux d'étude suivants :

- C&E Ingénierie (structures) ;
- Tribu Energie (études thermiques) ;
- Gamba Acoustique (études acoustiques) ;
- Cabinet Z2C (métrés et quantitatifs) ;
- PwC (Ecobilan) (études environnementales).

Les bureaux d'étude missionnés sont indépendants. CIMbéton, commanditaire de l'étude, a assuré la coordination des travaux et la transmission des éléments entre les bureaux d'études. Les hypothèses de travail, les méthodologies appliquées et les résultats obtenus sont ceux couramment utilisés dans les différents domaines d'expertises.

---

2. Le périmètre étudié est détaillé dans la partie 1.4.2.

### **3.3.2 - Méthodologie utilisée**

---

Ce rapport comporte une affirmation comparative<sup>3</sup> destinée à être divulguée au public. Par conséquent, il a été rédigé en conformité avec les exigences de transparence des normes internationales :

- ISO 14040 « Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Principes et cadres » ;
- ISO 14044 « Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Exigences et lignes directrices ».

Cette étude sur les aspects environnementaux de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires s'appuie sur les normes suivantes :

- NF P 01-010, « Qualité environnementale des produits de construction – Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction » ;
- NF P 01-020-1, « Bâtiment – Qualité environnementale des produits de construction et des bâtiments – Partie 1 : Cadre pour la description et la caractérisation des performances environnementales et sanitaires des bâtiments et partie 2 : Méthodologie d'évaluation des performances environnementales et sanitaires des bâtiments » ;
- XP 01-020-3, « Bâtiment – Qualité environnementale des produits de construction et des bâtiments – Partie 3 : évaluation des performances environnementales d'un bâtiment ».

Cette étude a été réalisée à partir de :

- Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire établies suivant la norme NF P 01-010,
- Modélisations établies par PwC suivant la norme NF P 01-010.

La présentation des résultats est celle préconisée par la norme XP P 01-020-3.

Les principes de calcul et les hypothèses méthodologiques sont présentés dans les parties 1 et 2 de ce rapport.

Cette étude a fait l'objet d'une revue critique par un comité de parties intéressées de juin à octobre 2011. Conformément à la norme ISO 14044, un panel d'experts a donc été constitué pour renforcer la crédibilité des résultats et assurer la conformité avec les normes de la série ISO 14040.

---

3. La norme ISO 14044 définit l'affirmation comparative comme une déclaration relative à la supériorité ou à l'équivalence en matière d'environnement d'un produit par rapport à un produit concurrent qui remplit la même fonction.

Le comité est composé de :

- Yannick Le Guern, de la société BIO IS, qui assure la présidence du comité ;
- Charlotte Petiot, de la société BIO IS ;
- Alexandra Lebert, du CSTB ;
- Julie Delcroix, du WWF ;
- Jean-Sébastien Thomas, de la société Arcelor Mittal ;
- Stéphane Herbin, du CTICM ;
- Michel Delort, de l'ATILH.

CIMbéton communiquera les résultats auprès de sa filière et de ses partenaires de la profession en utilisant différents médias. À ce stade, le grand public n'est pas visé par la communication. Ce rapport sera mis en ligne avec le rapport de revue critique et fera l'objet d'une synthèse pour la communication.

### 3.3.3 - Unité fonctionnelle

---

Deux bâtiments ont été considérés pour cette étude :

- un bâtiment tertiaire avec une structure béton dénommé « **bâtiment béton** » ;
- un bâtiment tertiaire avec une structure acier dénommé « **bâtiment acier** ».

Pour chacun des 2 bâtiments, l'unité de référence est « **d'assurer la fonction de bâtiment tertiaire sur une SHON de 9 270 m<sup>2</sup> pendant une durée de vie de 100 ans, avec une consommation d'énergie au niveau BBC 2005 dans une zone climatique donnée** ». Le bâtiment est livré partiellement cloisonné avec plateau pour une capacité de 306 personnes. Les résultats sont également présentés pour une unité de référence de 1 m<sup>2</sup> par an.

Les consommations d'énergie prennent en compte les postes suivants :

- chauffage ;
- ECS ;
- ventilation ;
- refroidissement ;
- auxiliaires ;
- éclairage ;
- consommation d'énergie due aux équipements informatiques du bâtiment, autres que les équipements inclus dans les objectifs BBC 2005.

Ces consommations sont calculées pour deux types d'équipement :

- chaudière gaz à condensation et groupe froid
- pompe à chaleur réversible

L'analyse est effectuée dans deux zones géographiques :

- en région parisienne (H1a), zone climatiquement « médiane »,
- en zone méditerranéenne (H3).

Ceci donne un total de 8 cas de figure étudiés et décrits dans les tableaux ci-dessous.

**Tableau 3 : principales caractéristiques des bâtiments en béton**

<b>Cas</b>	<b>Nom</b>	<b>Zone climatique</b>	<b>Équipement pour le chauffage</b>
<b>1</b>	Béton H1a PAC	H1a	Pompe à chaleur
<b>2</b>	Béton H1a Gaz	H1a	Chaudière gaz
<b>3</b>	Béton H3 PAC	H3	Pompe à chaleur
<b>4</b>	Béton H3 Gaz	H3	Chaudière gaz

**Tableau 4 : principales caractéristiques des bâtiments en acier**

<b>Cas</b>	<b>Nom</b>	<b>Zone climatique</b>	<b>Équipement pour le chauffage</b>
<b>5</b>	Acier H1a PAC	H1a	Pompe à chaleur
<b>6</b>	Acier H1a Gaz	H1a	Chaudière gaz
<b>7</b>	Acier H3 PAC	H3	Pompe à chaleur
<b>8</b>	Acier H3 Gaz	H3	Chaudière gaz

## 3.4 Définition des frontières de l'étude

### 3.4.1 - Frontière temporelle de l'évaluation

---

La présente évaluation correspond au cas 1 défini par la norme XP P01-020-3 : le programme prévoit une destination unique avec une durée de vie fixée.

En effet, on considère ici que les bâtiments tertiaires ont pour unique fonction celle de bureaux et qu'ils seront détruits au bout d'une durée de vie de 100 ans.

## 3.4.2 - Champ de l'évaluation

Conformément à la norme XP 01-020-03, le tableau suivant récapitule les contributeurs inclus dans le champ de l'évaluation<sup>4</sup>.

<b>Tableau 5 : contributeurs aux impacts environnementaux d'un bâtiment selon la norme XP P01 020-3</b>					
<b>Contributeur</b> (une ligne par flux)	<b>Inclus dans le champ de l'évaluation</b>		<b>Quantification du contributeur</b>		<b>Quantification des impacts environnementaux</b> (préciser la source des données environnementales utilisées)
	<b>Oui</b>	<b>Non</b>	<b>Oui</b>	<b>Non</b>	
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		Hypothèses d'isolation selon le niveau BBC dans les deux zones climatiques considérées
Autres consommations d'énergie liées au bâti		x		x	NA
Consommations d'énergie liées à l'activité (restauration, équipements bureautiques, laverie, etc.)	x		x		La consommation liée aux équipements bureautiques a été prise en compte. Source : Livre Blanc du GIE Enjeu bâtiment positif et modélisation des impacts par PwC Ecobilan
Consommations de produits et matériaux de construction	x		x		PwC - Ecobilan (distinction gros œuvre-second œuvre)
Consommation d'eau en vie en œuvre		x		x	NA
Production et gestion des déchets d'activité		x		x	NA
Rejets liquides		x		x	NA
Consommations de matière liées à l'activité		x		x	NA
Transports des usagers		x		x	NA

Les raisons de ces choix sont décrites ci-après.

### **3.4.2.1 - 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**

Ces consommations, par la suite dénommées « Consommations d'énergie d'usage », sont de niveau BBC 2005 et définissent l'unité fonctionnelle de l'étude.

4. Tableau des contributeurs aux impacts environnementaux d'un bâtiment selon la norme XP P01 020-3.

Elles sont donc prises en compte dans le périmètre de l'étude. Le calcul des consommations et des impacts environnementaux correspondants sont détaillés dans les parties 4.2 et 4.3.2.1.2.

### **3.4.2.2 - Autres consommations d'énergie liées au bâti**

Les autres consommations d'énergie liées au bâti (domotique, équipements de transport interne tels que les ascenseurs) n'ont pas été prises en compte, faute de données précises disponibles.

### **3.4.2.3 - Consommations d'énergie liées à l'activité (restauration, équipements bureautiques, laverie, etc.)**

Pour refléter l'activité tertiaire pour laquelle le bâtiment est conçu, la consommation d'électricité liée aux équipements bureautiques a été prise en compte. Elle provient du Livre Blanc du GIE « Enjeu Energie positive » (octobre 2009)<sup>5</sup>. Les impacts environnementaux correspondants ont été modélisés par PwC.

### **3.4.2.4 - Consommations de produits et matériaux de construction**

Les produits de construction pris en compte sont décrits dans le chapitre 4.

Les lots suivants, qui sont logiquement inclus dans le contributeur « Consommation de produits et de matériaux de construction », ont été exclus faute de données précises disponibles au moment de l'étude :

- réseaux divers ;
- équipements de production de chaleur, de froid et de ventilation,
- équipements sanitaires ;
- solutions pour installations électriques et domotiques,
- équipements de transport internes.

En effet ces lots ne faisaient pas l'objet de FDES au moment de l'étude. Ils auraient pu être approximés avec des ordres de grandeur, cependant nous avons considéré que l'incertitude aurait été plus élevée que celles des produits de constructions faisant l'objet de FDES ou de modélisations similaires. Leur prise en compte aurait augmenté l'incertitude de l'étude et nuï à la cohérence des données<sup>6</sup>. Ces éléments sont de plus identiques entre les deux bâtiments acier et béton.

Le lot « aménagement extérieur et voirie » pour lequel davantage de données sont disponibles sous forme de FDES ou de résultat d'ACV, n'a également pas été pris en compte. En effet, les bâtiments considérés sont implantés dans une parcelle

5. <http://www.enjeu-energie-positive.com/>

6. Voir le paragraphe 3.4.4 pour plus d'informations sur l'incertitude des résultats de cette étude.

pour laquelle aucune autre hypothèse n'a été faite à l'exception des 4 façades libres. Aucun choix de voirie n'a été considéré afin d'étudier un bâtiment neutre. Le choix d'un type de voirie aurait demandé de nouveaux arbitrages qui auraient perturbé l'objectif initial de l'étude.

### **3.4.2.5 - Consommation d'eau, production et gestion des déchets d'activité, rejets liquides, consommations de matières liées à l'activité, transports des usagers**

Les raisons de l'exclusion de ces contributeurs proposés par la norme XP 01-20-3 sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

<b>Tableau 6 : raisons de l'exclusion de certains contributeurs selon la norme XP 01-20-3</b>	
<b>Contributeur</b>	<b>Raison de l'exclusion</b>
Consommation d'eau lors de la vie en œuvre	Bien que la consommation d'eau en vie en œuvre soit importante au niveau des bâtiments tertiaires, il a été considéré que les données disponibles varient de façon importante avec le type d'activité. Nous avons donc exclu ce poste pour ne pas rajouter d'incertitude, mais nous l'avons cité en tant qu'ordre de grandeur en annexe E.
Production et gestion des déchets d'activités	Il a été considéré que la production et la gestion des déchets d'activités ne sont pas une priorité environnementale de l'activité tertiaire.
Rejets liquides	Il a été considéré que les rejets liquides ne sont pas une priorité environnementale de l'activité tertiaire.
Consommation de matière due à l'activité	Le type de matières consommées varie beaucoup en fonction de l'activité et on ne dispose pas de données précises.
Transport des usagers	Ce contributeur dépend de l'installation du bâtiment et de sa localisation.

### **3.4.2.6 - Processus inclus par convention dans l'étude**

La norme XP 01-20-3 demande de décrire les processus. Ceux-ci permettent de compléter le périmètre d'étude défini ci-dessus.

#### **3.4.2.6.1 - Processus liés à la mise à disposition du bâti (construction/réhabilitation)**

Les processus suivants sont inclus :

- les processus de préparation du site avant construction ;
- les processus liés à la mise à disposition des produits et matériaux de construction (production et transport) ; seules les étapes de transport et de mise à disposition des matériaux qui sont incluses dans les FDES sont prises en compte, ainsi la consommation énergétique des grues spécifiques à ce chantier n'est pas prise en compte ;
- les processus propres de construction, réhabilitation, déconstruction et démolition des bâtiments ; cependant seules les étapes de démolition et démontage qui sont incluses dans les FDES sont prises en compte ;
- les processus de transport et traitement des déchets résultant des processus précédents.

### 3.4.2.6.2 - Processus liés aux flux de fonctionnement du bâtiment

Les processus permettant d'assurer le fonctionnement des bâtiments sont partiellement inclus dans l'évaluation. Il s'agit des processus de chauffage, ventilation, climatisation, éclairage, eau chaude sanitaire et consommation des équipements bureautiques. Sont exclues les consommations électriques de la domotique et des équipements de transports internes. L'entretien et la maintenance des produits de construction considérés dans l'étude sont également pris en compte.

Les flux liés à ces processus :

- ont été estimés à partir du niveau de performance BBC 2005 visé pour l'énergie d'usage,
- sont inclus dans les FDES des produits de construction pour l'entretien et la maintenance.

Il faut noter que les consommations des équipements mentionnés ci-dessus sont prises en compte mais que la production et la fin de vie des équipements ne sont pas considérées par manque de données.

### 3.4.2.6.3 - Processus liés à l'activité dont le bâtiment est le support

Les bâtiments considérés sont des immeubles de bureaux. Aussi, pour tenir compte de l'activité des utilisateurs, la consommation d'électricité liée à l'activité a été prise en compte partiellement. En effet comme détaillé dans la partie 1.4.2, la domotique et les énergies de transport interne n'ont pas été prises en compte.

### 3.4.2.6.4 - Processus liés aux déplacements des usagers

Le transport des usagers n'a pas été pris en compte.

### 3.4.2.6.5 - Règles d'affectation/d'allocation pour le bâtiment

L'adaptabilité des bâtiments n'étant pas prévue par le programme, l'étape de fin de vie correspond à une démolition complète du bâtiment.

Aucune allocation n'a donc été réalisée pour cette évaluation. En particulier, l'évaluation n'a pas utilisé de règles d'affectation :

- à co-fonctions simultanées ;
- des processus de recyclage/valorisation.

### **3.4.2.7 - Frontières du système pour les produits de construction**

#### **3.4.2.7.1 - Règles de délimitation**

Pour la modélisation des produits de construction disponibles sous forme de FDES publiques et non publiques, selon la norme NF P 01-010 relative aux déclarations environnementales et sanitaires des produits de construction :

- la part de la masse des produits entrants non remontés (c'est-à-dire pour lesquels la production n'a pas été comptabilisée) doit être inférieure à 2 % de la masse totale des entrants ;
- les flux non intégrés dans les frontières du système ne correspondent pas à des substances classées T+, T, Xn ou N selon l'arrêté du 20 avril 1994 (relatif à la déclaration, la classification, l'emballage, et l'étiquetage des substances).

Les FDES utilisées pour la modélisation des solutions constructives indiquent respecter ces deux prescriptions.

Dans le cas de bilans environnementaux calculés pour le projet à partir de modélisations ad hoc, nous avons essayé dans la limite des informations disponibles de respecter ces règles de délimitation.

#### **3.4.2.7.2 - Règles de coupure spécifiques aux matériaux/produits/équipements**

La présente évaluation prend en compte 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 en termes de :

- résistance mécanique et stabilité ;
- sécurité en cas d'incendie ;
- hygiène, santé et environnement (hors ventilation et équipements sanitaires) ;
- sécurité d'utilisation ;
- protection contre le bruit ;
- économies d'énergie et isolation thermique.

#### **3.4.2.7.3 - Règles d'affectation/d'allocation pour les produits de construction**

Les produits de construction considérés dans cette étude font l'objet d'affectation et d'allocation pour leur analyse de cycle de vie.

Le but de ce paragraphe n'est pas de rendre compte de toutes les règles d'allocation qui ont été considérées pour l'établissement des inventaires de cycle de vie de chaque produit de construction. Cependant les principales hypothèses de chacune des FDES des produits de construction sont rappelées dans l'annexe A.

## 3.5 Présentation et d'analyse des résultats

### 3.5.1 - Présentation des résultats

---

Les résultats sont présentés dans le chapitre 5 par indicateur. Pour chaque indicateur un tableau reprend les résultats pour les quatre postes du périmètre global en donnant les valeurs pour l'ensemble du bâtiment sur la durée de vie de 100 ans, ainsi que les résultats par m<sup>2</sup> et par an. Deux graphiques reprennent les résultats par m<sup>2</sup> et par an pour chacun des périmètres.

Conformément aux objectifs, deux périmètres sont étudiés.

- Le premier périmètre représente les impacts du cycle de vie du bâtiment sans prendre en compte les étapes de vie en œuvre (énergie d'usage et énergie d'activité). Dans la suite, ce périmètre sera appelé « périmètre matériaux ». Ce périmètre prend en compte l'ensemble des matériaux de construction (lors de la mise en œuvre initiale mais également lors de l'entretien, la maintenance et le remplacement). Ce périmètre est indépendant des zones climatiques et des équipements de chauffage et de refroidissement choisis. Il n'y a donc que deux cas : bâtiment béton et bâtiment acier. Dans ce périmètre matériaux, on distingue :
  - le cycle de vie des matériaux de construction du gros œuvre ;
  - le cycle de vie des matériaux de construction du second œuvre.
- Le second périmètre prend en compte non seulement les matériaux de construction (gros œuvre et second œuvre) mais également les étapes de vie en œuvre (énergie d'usage et énergie d'activité) selon les hypothèses présentées dans la section 3.4.2. Dans la suite, ce périmètre sera appelé « périmètre global ». Ce périmètre n'inclut donc que des consommations d'énergie comme processus supplémentaires. Au sein de ce périmètre global, on distingue :
  - la vie en œuvre liée à l'activité (énergie d'activité) ;
  - la vie en œuvre d'usage (énergie d'usage) ;
  - le cycle de vie des matériaux de construction du gros œuvre ;
  - le cycle de vie des matériaux de construction du second œuvre.

Les résultats du périmètre matériaux sont également présentés pour l'indicateur du changement climatique et l'indicateur de consommation d'énergie primaire

totale par matériau et par sous-ensemble du bâtiment (infrastructure, superstructure, noyau, façade et second œuvre).

Enfin, une présentation « radar » permet d'avoir une représentation visuelle des impacts comparés sur l'ensemble des 11 indicateurs pour les deux périmètres.

### **3.5.2 - Incertitude et interprétation des résultats**

---

L'incertitude est entendue comme l'écart entre l'information idéalement recherchée permettant de répondre aux objectifs et l'information obtenue. Elle dépend à la fois du choix des hypothèses définissant le périmètre du système et de la modélisation de ce système permettant le calcul des résultats.

Cette étude porte sur des bâtiments de bureaux théoriques, représentatifs des pratiques de construction les plus répandues actuellement. Ces bâtiments présentent des écarts par rapport à des bâtiments réellement construits et en fonctionnement sur toute la durée de vie.

L'objectif de l'étude étant d'estimer la qualité environnementale des systèmes constructifs actuels, l'étude ne prend pas en compte les évolutions potentielles qui pourraient avoir lieu pendant la durée de vie de l'ouvrage, à savoir notamment l'évolution des filières de production d'énergie (mix électrique en particulier), l'évolution de la performance environnementale des équipements ou matériaux qui seront renouvelés pendant la durée de vie de l'ouvrage ou encore l'évolution des filières de traitement des déchets vers lesquelles seront dirigés les matériaux de construction en fin de vie. Ces évolutions peuvent être significatives, surtout lorsque l'on considère une durée de vie de 100 ans, mais sont difficilement quantifiables.

Il est donc entendu par « incertitude » dans la suite de cette étude celle uniquement liée :

- à la modélisation du bâti ;
- au calcul des simulations thermiques ;
- à la modélisation du bâti pour le calcul des impacts environnementaux liés aux matériaux ;
- aux données environnementales sources.

Le calcul de l'incertitude cumulée demanderait de propager ces incertitudes dans les différentes étapes du calcul. Ceci n'est cependant pas facilement réalisable étant donné les différentes étapes de calcul et les itérations entre les différents bureaux d'études missionnés par CIMbéton.

Il a donc été décidé de retenir pour l'étude une incertitude de 20 % correspondant à l'incertitude minimale des études d'ACV. Ainsi, au regard des contributions des

différents postes (matériaux de construction, consommations d'énergie d'usage et d'activité), il est estimé que les résultats obtenus pour chaque indicateur se situent dans un intervalle de confiance de 20 %, dans le cadre des hypothèses. Pour un indicateur donné, il n'est donc pas possible d'affirmer une différence entre les cas étudiés si la différence relative est inférieure à 20 %.



Chapitre

# 4

# Hypothèses et données

pour le calcul des impacts  
environnementaux des bâtiments  
de bureaux

# 4.1 Définition architecturale et structurelle des bâtiments

Cette partie reprend les éléments de conception théorique des bâtiments par CIMbéton et C&E Ingénierie nécessaires à la compréhension de l'étude QEB. Les descriptions des bâtiments de cette partie sont extraites des rapports du bureau d'étude indépendant C&E Ingénierie.

Tous les détails de l'étude réalisée par le bureau d'étude C&E Ingénierie sont disponibles dans le rapport « CIMbéton Immeubles tertiaires Analyse comparative de trois typologies d'ossature - Rapport final » qui est disponible sur demande auprès de CIMbéton.

## 4.1.1 - Hypothèses

---

Ces bâtiments sont théoriques et n'ont pas été construits. Ils correspondent à des bâtiments représentatifs de modes de construction courants en France actuellement atteignant le niveau BBC 2005 tout en respectant une faisabilité économique (pas d'optimisation de la conception, absence de conception bioclimatique, matériaux courants, etc.). Cependant ce ne sont pas les seuls modes de construction possibles, d'autres solutions auraient pu être adoptées.

Le bâtiment présente une hauteur inférieure à 28 m pour ne pas être soumis à la réglementation spécifique des Immeubles Grande Hauteur (IGH). Il est de faible complexité technique et est à plateau libre, ce qui en fait un immeuble de bureaux représentatif des bâtiments actuellement construits.

Il a été choisi de le réaliser avec 4 façades libres correspondant à un emplacement sur une parcelle dans une zone nouvellement aménagée. Si on veut généraliser les résultats de l'étude à un immeuble de bureaux aligné sur une rue et donc avec 2 façades libres, les 2 façades latérales sont remplacées à l'identique sur les bâtiments acier et béton ce qui fait que les résultats sont transposables en valeurs relatives.

La surface en plan du plateau, et la position des contreventements en particulier, permet de travailler des portées qui correspondent à la mise en œuvre de poutrelles métalliques et bac collaborant connectés ou dalles alvéolaires précontraintes sans être dans les extrêmes possibles pour ces deux solutions techniques.

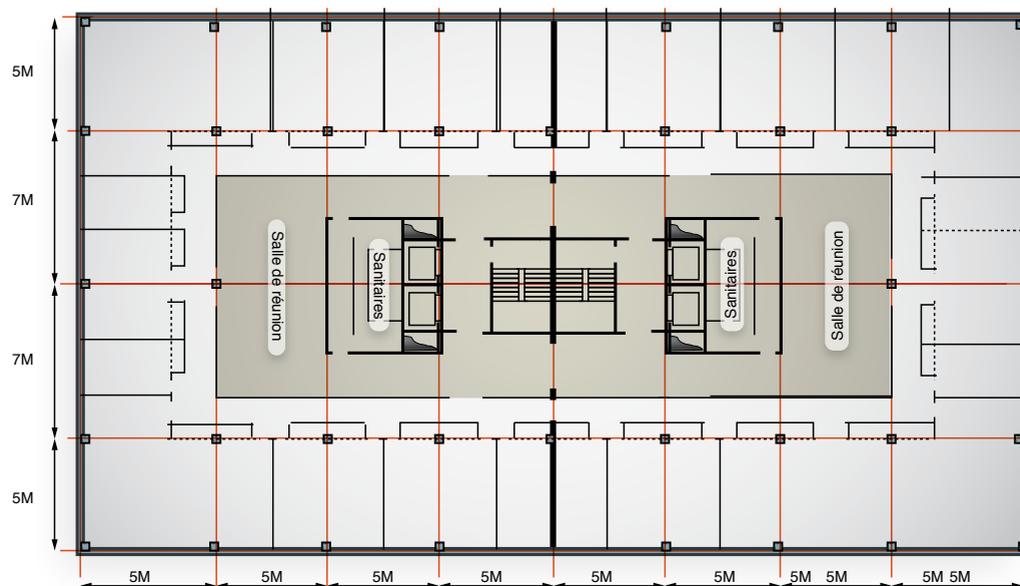
Il a été considéré une infrastructure strictement identique aux deux bâtiments, malgré la différence de masse entre les deux superstructures. Une analyse de sensibilité en paragraphe 4.4 montre l'impact de ce choix sur les résultats. Les fonctions des deux bâtiments sont identiques à savoir le volume disponible est le même pour le bâtiment acier et pour le bâtiment béton.

Le choix de prestations d'isolation thermique communes aux différentes configurations étudiées permet de définir des types et volumes de matériaux identiques pour les deux solutions. Il est ainsi plus aisé de dégager les différences inhérentes à chaque système constructif. Cette démarche neutralise la partie purement thermique de l'enveloppe et engendre des consommations énergétiques toutes conformes au label BBC 2005. Ces consommations sont cependant légèrement différentes mais les écarts ne sont pas significatifs.

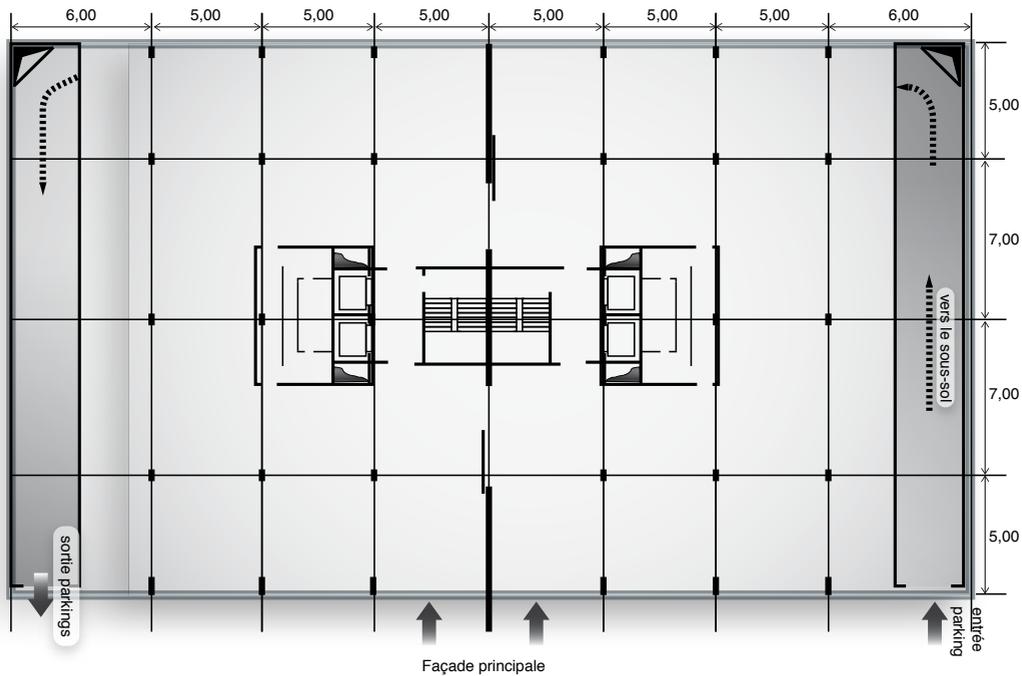
#### 4.1.1.1 - Dispositions géométriques

Les dispositions géométriques principales sont les suivantes :

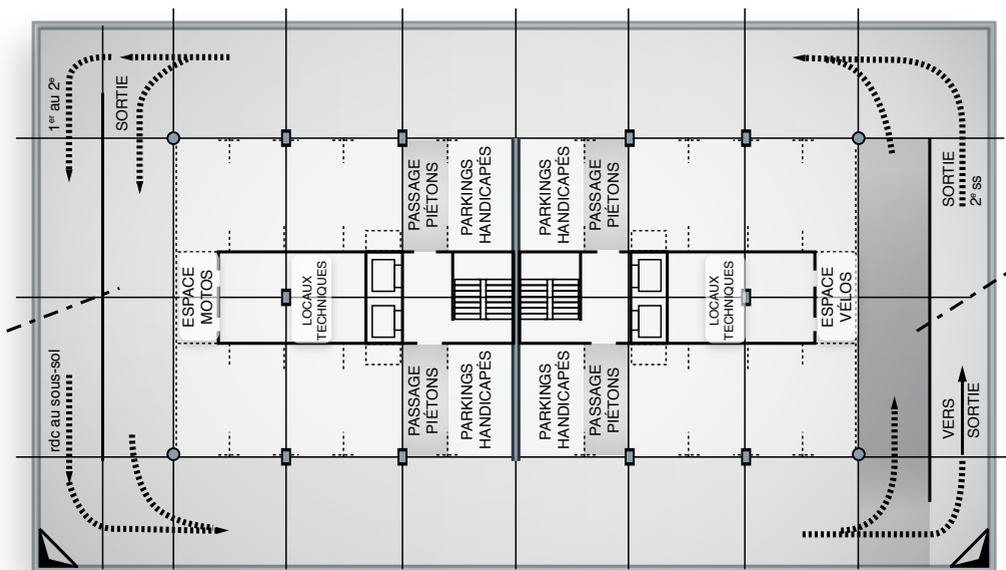
- surface du bâtiment en plan : 42 x 24 m ;
- nombre de niveaux en superstructure (hors rez-de-chaussée) : 8 niveaux ;
- nombre de niveaux en infrastructure : 2 niveaux ;
- hauteur entre niveaux de dalle à dalle en étage : 3,4 m ;
- hauteur de dalle à dalle au niveau du rez-de-chaussée : 4,0 m ;
- hauteur entre niveaux de dalle à dalle en infrastructure : 3,2 m.



**Figure 1 : plan schématique d'étage courant**



**Figure 2 : plan schématique du rez-de-chaussée**



**Figure 3 : plan schématique du sous-sol**

#### 4.1.1.2 - Typologies d'édifices étudiés

Concernant le rez-de-chaussée et les étages courants, les éléments de structures qui varient selon les typologies d'ossature étudiées sont les suivants :

- la section des poteaux ;
- la section des poutres ;
- l'épaisseur et la constitution des dalles de plancher à chaque niveau.

Les éléments de structures invariants selon les typologies d'ossature étudiées sont les suivants :

- épaisseur des murs constituant les noyaux de contreventement ;
- épaisseur des voiles au droit des joints de dilatation ;
- épaisseur des voiles localisés entre les rampes d'accès au parking et le niveau du rez-de-chaussée.

#### 4.1.1.3 - Charges d'exploitation

Les charges d'exploitation selon la norme NF P06-111-2/A1 (EC1) sont les suivantes.

<b>Tableau 7 : charges d'exploitation selon la norme NF P06-111-2/A1 (EC1)</b>		
<b>Ensembles</b>	<b>Sous-ensembles</b>	<b>Charges d'exploitation</b>
Sous-sol	Zones de parking	250 daN/m <sup>2</sup>
	Locaux techniques (charges forfaitaires)	500 daN/m <sup>2</sup>
Rez-de-chaussée	Hall d'entrée	400 daN/m <sup>2</sup>
Niveaux de bureaux	Circulations verticales et horizontales	250 daN/m <sup>2</sup>
	Bureaux paysagers	350 daN/m <sup>2</sup>
	Bureaux individuels	250 + 100 (cloison) daN/m <sup>2</sup>
Toitures terrasses	Toitures terrasses inaccessibles (entretien)	150 daN/m <sup>2</sup>
	Zones techniques (charges forfaitaires)	500 daN/m <sup>2</sup>

#### 4.1.1.4 - Stabilité au feu

Les exigences en matière de stabilité au feu pour les immeubles de bureau sont définies par le code du travail (article R. 235-4), arrêté du 5 août 1992.

La résistance au feu des structures et planchers pour un immeuble de bureau dont la hauteur du dernier plancher est comprise entre 8 et 28 mètres correspond à :

- structure-SF1h
- plancher-CF1h

Les hypothèses générales retenues pour la stabilité au feu sont détaillées ci-après.

- Pour les **2<sup>e</sup> et 1<sup>er</sup> sous-sol**, l'ensemble des éléments porteurs (poteaux, voiles, poutres, dalles) respecteront les dispositions suivantes:
  - structure (poteaux, voiles, poutres, dalles) stabilité au feu SF = 2 heures
  - plancher haut (dalles) degré coupe-feu CF = 2 heures
  
- Pour le **rez-de-chaussée**, l'ensemble des éléments porteurs (poteaux, voiles, poutres, dalles) respecteront les dispositions suivantes:
  - structure (poteaux, voiles, poutres, dalles) stabilité au feu SF = 1 heure
  - plancher haut (dalles) degré coupe-feu CF = 1 heure
  
- Du **1<sup>er</sup> au 8<sup>e</sup> étage** : l'ensemble des éléments porteurs (poteaux, voiles, poutres, dalles) respecteront les dispositions suivantes:
  - structure (poteaux, voiles, poutres, dalles) stabilité au feu SF = 1 heure
  - plancher haut (dalles) degré coupe-feu CF = 1 heure

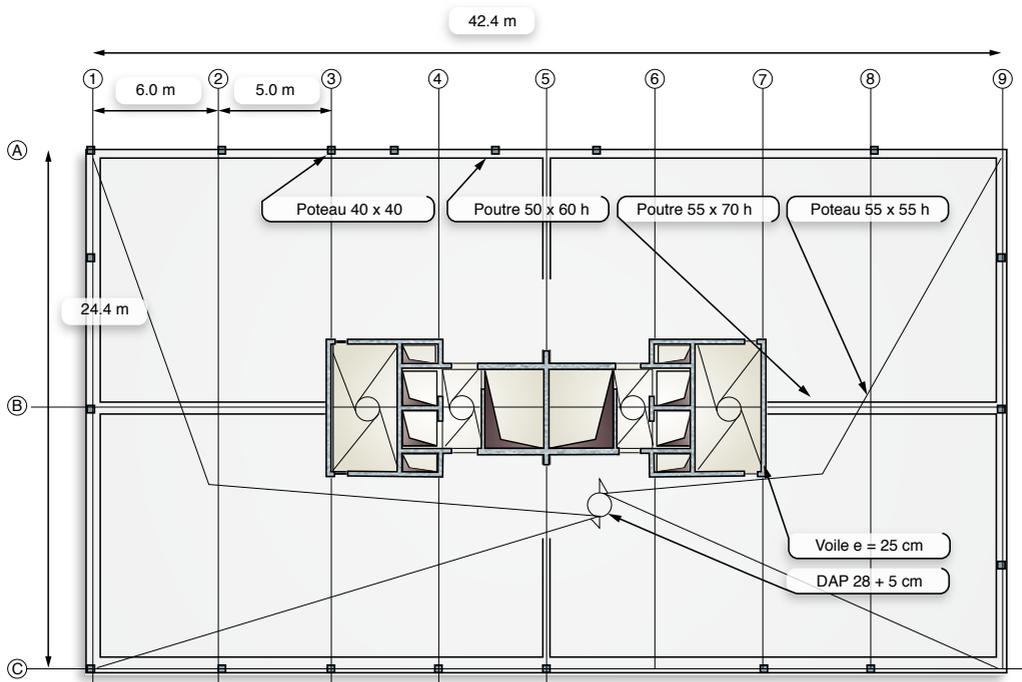
### **4.1.2 - Éléments communs aux bâtiments béton et acier**

---

Le bâtiment étudié est un bâtiment de bureaux dont les caractéristiques sont les suivantes.

- SHON : 9 270 m<sup>2</sup>.
- Surface utile : 9 150 m<sup>2</sup>.
- Niveaux : R+8.
- Détails des locaux :
  - bureaux : 5 127 m<sup>2</sup> ; 306 personnes ;
  - salle de réunion : 848 m<sup>2</sup> ;
  - hall : 65 5 m<sup>2</sup> ;
  - sanitaire : 360 m<sup>2</sup> ; 72 personnes ;
  - circulation : 2 160 m<sup>2</sup>.

### 4.1.3 - Description de la structure du bâtiment béton



Typologie de structure	Éléments	Matériaux	Commentaires
<b>Superstructure en béton armé et dalle alvéolaire en béton précontraint (DAP)</b>	Poteaux	BA	
	Poutres	BA	
	Dalles	BP	Dalle Alvéolaire précontrainte et dalle de compression 28+5
	Voiles	BA	
<b>Infrastructure en béton armé</b>	Poteaux	BA	
	Poutres	BA	
	Dalles	BA	
	Voiles	BA	
	Fondation	BA	

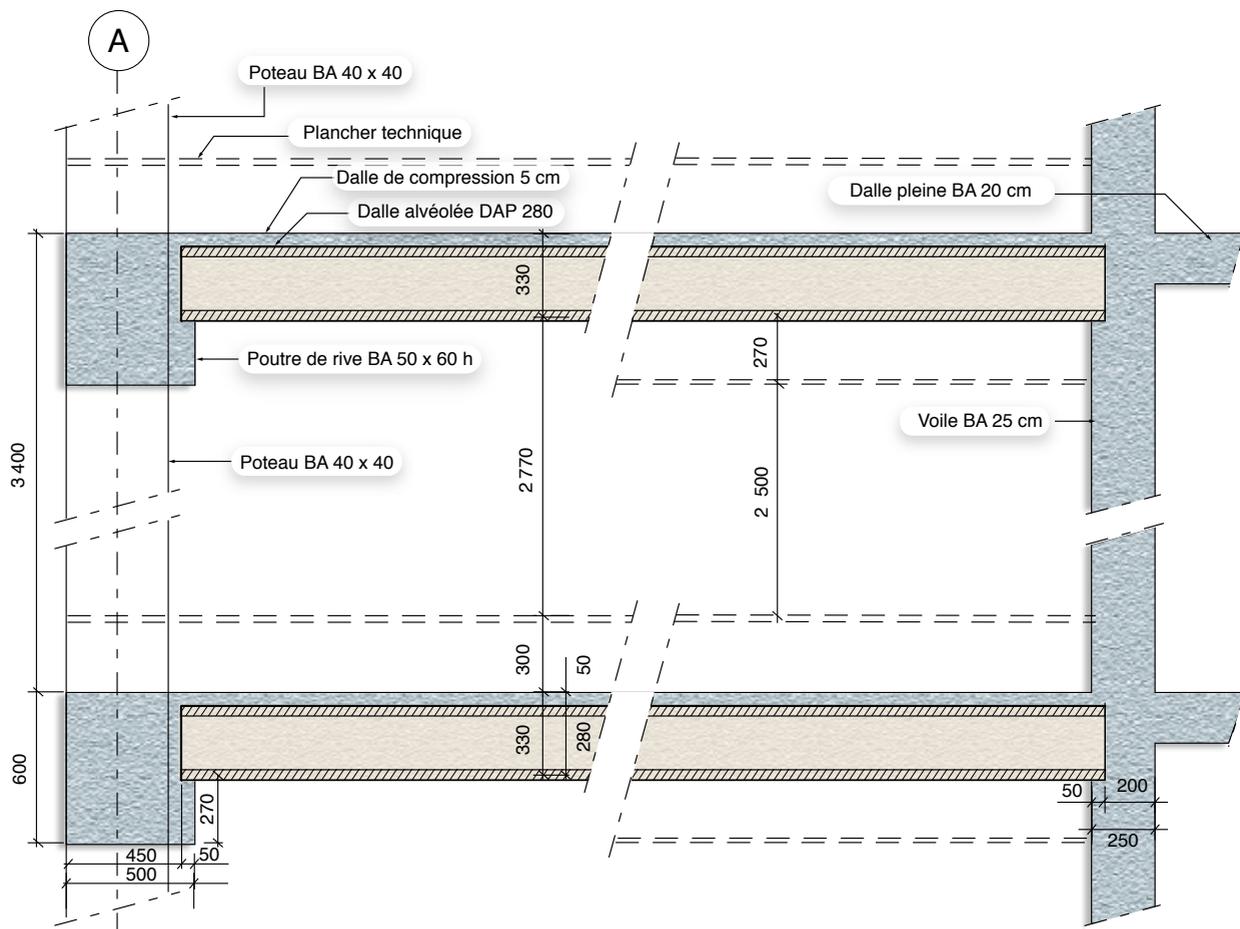
BA : Béton armé

BP : Béton précontraint

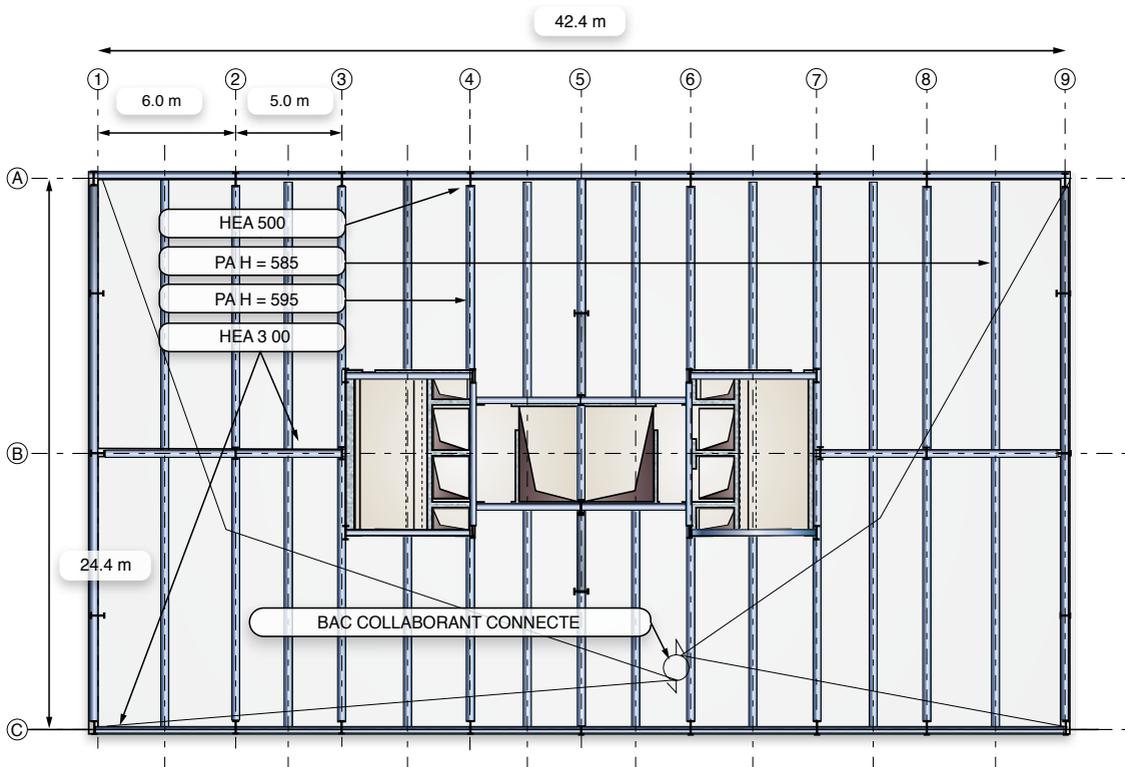
CM : Charpente Métallique

BA+CM : Béton armé + Charpente Métallique

**Figure 4 : plan d'étage du bâtiment béton**



## 4.1.4 - Description de la structure du bâtiment acier



Typologie de structure	Éléments	Matériaux	Commentaires
<b>Superstructure en béton armé et charpente métallique en poutres alvéolaires + dalles collaborantes</b>	Poteaux	CM	
	Poutres	CM	Poutrelles alvéolaires en charpente métallique
	Dalles	BA+CM	Bac collaborant
	Voiles	CM	Voiles bétons remplacés par des treillis verticaux
<b>Infrastructure en béton armé</b>	Poteaux	BA	
	Poutres	BA	
	Dalles	BA	
	Voiles	BA	
	Fondation	BA	

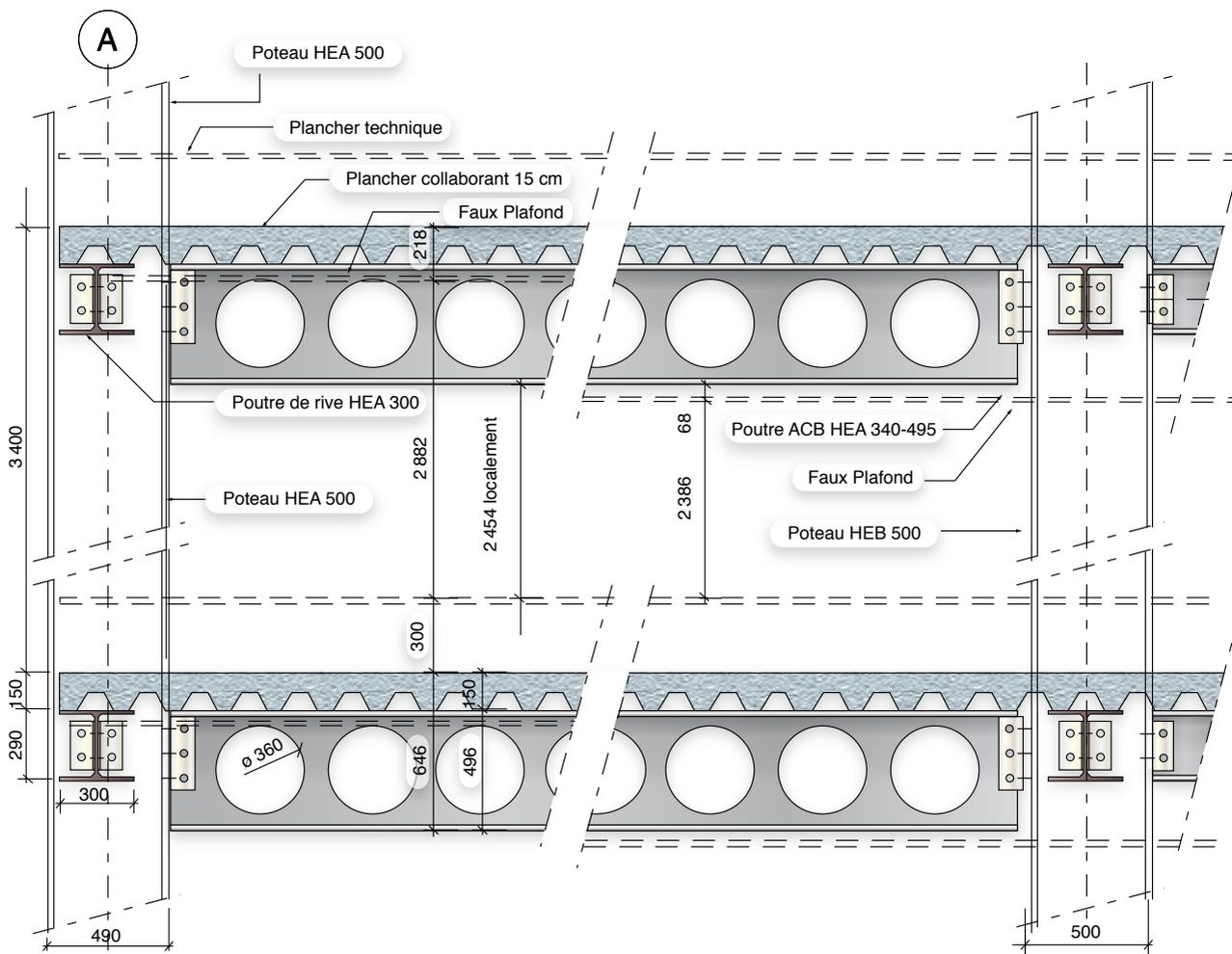
BA : Béton armé

BP : Béton précontraint

CM : Charpente Métallique

BA+CM : Béton armé + Charpente Métallique

**Figure 6 : plan d'étage du bâtiment acier**



**Figure 7 : schéma en coupe des planchers du bâtiment acier**

## 4.1.5 - Type de bétons utilisés

---

Ce tableau donne les types de béton utilisés, lorsque les bâtiments en comportent.

<b>Tableau 8 : types de béton utilisés dans les bâtiments</b>		
<b>Fondations</b>	<b>Radier</b>	<b>CEM III C35/45</b>
<b>Infrastructure</b>	Poteaux	CEM I C40/50
	Poutres	CEM I + Cv C30/37
	Planchers	CEM I + Cv C30/37
	Voiles périmétriques	CEM III C25/30
	Plancher de reprise	CEM I + Cv C35/45
<b>Superstructure</b>	Poteaux	CEM I + Cv C30/37
	Poutres	CEM I C30/37
	Planchers	CEM I C30/37
	Voiles façades	CEM I + Cv C25/30
	Voiles noyaux	CEM I + Cv C30/37

## 4.1.6 - Éléments du bâtiment se rapportant à l'unité fonctionnelle

---

Les solutions constructives ont été décomposées en cinq parties :

- infrastructure ;
- superstructure ;
- noyau ;
- façade ;
- second œuvre.

Le tableau 9 détaille les éléments par partie.

**Tableau 9 : les différents éléments entrant dans la composition d'un bâtiment**

<b>Sous ensemble</b>	<b>Éléments</b>	<b>Bâtiment béton</b>	<b>Bâtiment acier</b>
<b>Infrastructure</b>	Fouille en déblais pour plateforme (les terres sont laissées sur place)	X	X
	Fouille pour fondations (déblais enlevés)	X	X
	Apport de remblais compactés	X	X
	Radier de fondation	X	X
	Poteaux béton en hauteur des sous-sols	X	X
	Voiles béton intérieurs et contre terre	X	X
	Poutres béton	X	X
	Dalle de béton	X	X
	Isolant	X	X
	Maçonnerie	X	X
	Escalier béton	X	X
<b>Superstructure</b>	Poteaux béton	X	
	Voiles béton	X	X (Rdc uniquement)
	Poutres béton	X	
	Plancher alvéolaire préfabriqué	X	
	Poteaux acier		X
	Poutre acier		X
	Plancher collaborant		X
	Dalle béton	X	X
	Isolation de toiture	X	X
	Acrotère	X	X
	Étanchéité multicouche	X	X
<b>Noyau</b>	Voiles béton	X	
	Maçonnerie de blocs béton		X
	Escaliers béton	X	X
<b>Façade</b>	Murs rideaux parties vitrées 50 % et parties pleines 50 %	X	X
<b>Second œuvre</b>	Plaques de plâtre pour la tenue au feu des poteaux		X
	Cloisons coupe-feu	X	X
	Cloisons isophoniques	X	X
	Faux plafond circulation	X	X
	Enduit plâtre au plafond	X	X
	Portes intérieures ordinaires	X	X
	Portes intérieures isolantes	X	X
	Faux plancher technique	X	X
	Portes coupe-feu, isophoniques et ordinaires	X	X
	Placards de rangement	X	X
	Revêtement de sol	X	X

Les métrés agrégés relatifs aux éléments constructifs sont présentés en annexe C.

## 4.2 Calculs thermiques

Tous les détails de l'étude réalisée par le bureau d'étude thermique Tribu Energie sont accessibles dans le rapport « Etude QEB Bureaux CIMbéton - Rapport final » qui est disponible sur demande auprès de CIMbéton.

### 4.2.1 - Détails des paramètres pour les solutions béton et acier

---

Pour les bâtiments béton et acier, chaque cas est une combinaison des différents paramètres suivants :

- le type d'équipement : chaudière gaz ou pompe à chaleur (PAC) ;
- la zone climatique : H1a ou H3 ;
- l'enveloppe du bâtiment et les fondations sont communes aux deux bâtiments.

Les tableaux ci-dessous explicitent les principales caractéristiques des 8 cas de figure étudiés. Ces cas ont été regroupés en fonction du type de solution (béton et acier). Le nom générique qui figure en colonne 2 est repris par la suite sur les graphiques présentés en section 3.

**Tableau 10 : principales caractéristiques des bâtiments en béton**

<b>Cas</b>	<b>Nom</b>	<b>Zone climatique</b>	<b>Équipement pour le chauffage</b>
<b>1</b>	Béton H1a PAC	H1a	Pompe à chaleur
<b>2</b>	Béton H1a Gaz	H1a	Chaudière gaz
<b>3</b>	Béton H3 PAC	H3	Pompe à chaleur
<b>4</b>	Béton H3 Gaz	H3	Chaudière gaz

**Tableau 11 : principales caractéristiques des bâtiments en acier**

<b>Cas</b>	<b>Nom</b>	<b>Zone climatique</b>	<b>Équipement pour le chauffage</b>
<b>5</b>	Acier H1a PAC	H1a	Pompe à chaleur
<b>6</b>	Acier H1a Gaz	H1a	Chaudière gaz
<b>7</b>	Acier H3 PAC	H3	Pompe à chaleur
<b>8</b>	Acier H3 Gaz	H3	Chaudière gaz

## 4.2.2 - Hypothèses et scénarios utilisés pour les calculs thermiques

### 4.2.2.1 - Scénarios relatifs aux données climatiques nécessaires au calcul des consommations d'énergie

Le calage du niveau BBC doit se faire dans le cadre du calcul réglementaire. La France métropolitaine est segmentée en 8 zones climatiques. Pour ne pas alourdir l'étude, le choix a été réduit à 2 zones contrastées : nord (zone H1a) et zone méditerranéenne (H3). Ces zones sont présentées sur la carte ci-dessous.

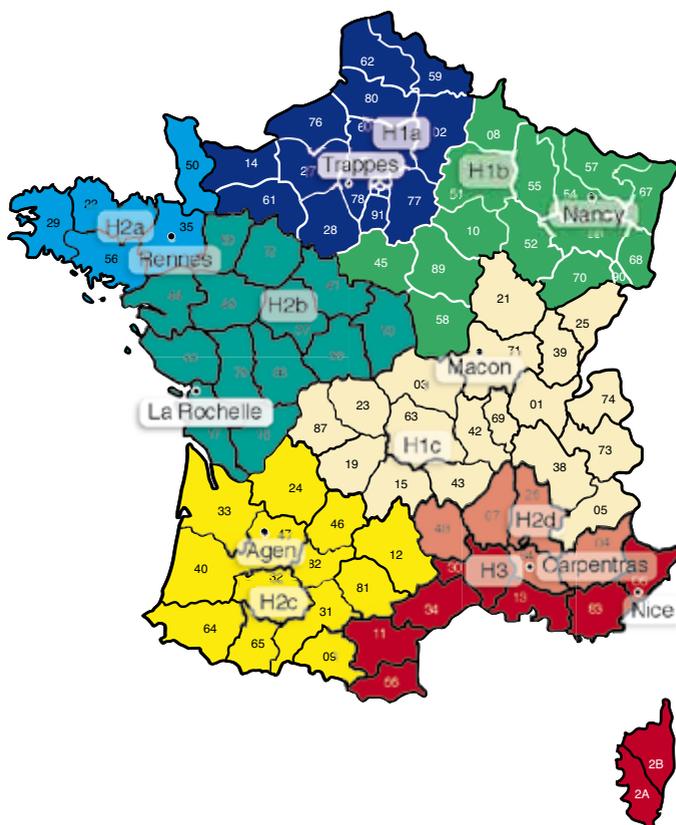


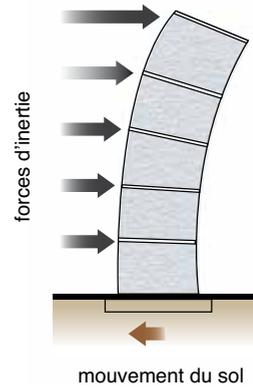
Figure 8 : carte des zones climatiques en France

#### Note importante

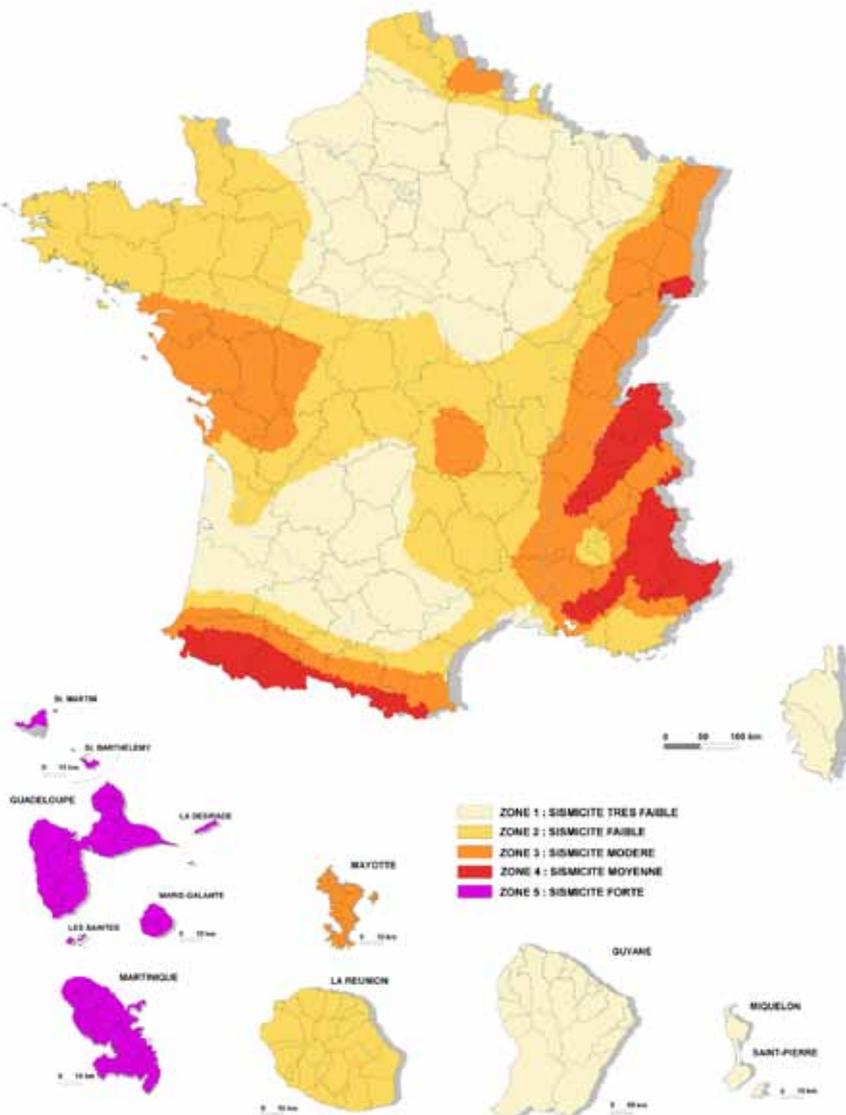
Les consommations maximales d'énergie primaire dépendent de la zone climatique considérée. Un coefficient est en effet appliqué à la valeur du niveau BBC, suivant la zone : 1,3 pour la zone climatique H1a et 0,8 pour la zone climatique H3.

#### 4.2.2.2 - Prise en compte des zones sismiques

Quel que soit le système constructif du bâtiment, il est fortement influencé par la zone sismique dans lequel il est construit. Le bureau d'études C&E Ingénierie a pris en compte pour les calculs de structure une accélération de  $1,1 \text{ m/s}^2$  qui correspond à l'interface d'une zone faible et modérée (max zone faible H1a – min zone modérée H3).



**Figure 9 : prise en compte d'une accélération due au risque sismique**



**Figure 10 : carte des aléas sismiques en France**

En superposant la carte « zone sismique » à la carte « zone climatique » de la réglementation thermique, il s'avère que le calcul peut donc être effectué sur deux zones climatiques: H1a (scénario climatique continental) et H3 (scénario climatique méridional) avec une accélération identique.

Tribu Energie a donc calculé les consommations énergétiques dues aux 5 postes de la RT 2012. Les résultats de ce calcul sont détaillés dans la partie 4.3.2.1 ainsi que le mode de calcul des impacts environnementaux de ces consommations.

## 4.3 Hypothèses et scénarios pour le calcul des impacts environnementaux

### 4.3.1 - Durée de vie

---

#### 4.3.1.1 - Durée de vie des bâtiments

Il a été considéré que les éléments de structure béton et acier conditionnent la durée de vie du bâtiment. La pratique montre en effet que les bâtiments de bureaux font l'objet de rénovations au niveau des façades, des isolants, des plateaux et des cloisons mais pas au niveau structurel. Ceci est pris en compte par la durée de vie inférieure à 100 ans de ces différents éléments non structurels et donc par leur renouvellement au cours du cycle de vie du bâtiment.

La durée de vie communément acceptée et utilisée dans les FDES pour ces matériaux de structure est 100 ans. Une durée de vie de 100 ans a donc été considérée pour cette étude.

Il est hautement probable qu'au cours de la durée de vie de 100 ans des bâtiments étudiés, les différents éléments qui permettent de réaliser l'analyse de cycle de vie vont évoluer. Ainsi les matériaux de constructions, les consommations énergétiques, les sources d'énergie disponibles et le mix énergétique français n'auront

pas les mêmes impacts environnementaux tout au long de la durée de vie du bâtiment. Ces évolutions n'ont pas été considérées dans l'étude. Cependant ces évolutions auront certainement des conséquences sur la contribution relative de la structure et des matériaux par rapport à l'impact global du bâtiment sur sa durée de vie.

Bien qu'on ait considéré un usage unique dans cette étude, l'usage du bâtiment pour des bureaux tels que nous l'entendons actuellement n'est pas garanti sur 100 ans. Les possibles évolutions des aménagements, des agencements découlant de cet éventuel changement de la conception d'un immeuble de bureaux ne sont pas prises en compte. Les résultats de l'étude sont donc à considérer avec ces limites.

Une analyse de sensibilité a été réalisée (cf. chapitre 6.1) afin d'évaluer les parts relatives des différents contributeurs selon une durée de vie du bâtiment de 50 et 100 ans.

#### **4.3.1.2 - Durées de vie des produits de construction**

Les durées de vie considérées dans cette évaluation pour les produits de construction correspondent aux durées de vie typiques des produits déclarées par les fabricants dans les FDES.

### **4.3.2 - Cycle de vie du bâtiment**

---

La modélisation du cycle de vie des solutions constructives étudiées est basée sur les étapes du cycle de vie décrites dans la norme XP 01-020-3. Ainsi, cinq étapes sont distinguées.

- **Fabrication des matériaux et produits :** de l'extraction des matières premières jusqu'à la sortie du site de fabrication du produit manufacturé ; puis de la sortie du site de fabrication à l'arrivée sur le chantier de construction.
- **Construction du bâtiment :** de l'arrivée des matériaux de construction sur le chantier de construction à la réception de l'ouvrage ; la mise en œuvre comptabilise les impacts engendrés par la construction du bâtiment. Sont donc par exemple inclus la fin de vie des emballages des produits, tous les éléments nécessaires à la mise en place des matériaux lors de la construction du bâtiment. En particulier, l'énergie utilisée pour le terrassement a été prise en compte sous la forme d'une consommation de carburant par m<sup>3</sup> de terre excavé et transporté par les engins de chantier. Ces chiffres ont été extraits d'un précédent projet utilisant de tels engins.
- **Vie en œuvre, y compris entretien, maintenance, renouvellement :** de l'occupation de l'ouvrage par les occupants jusqu'au départ des derniers occupants, ainsi

que l'énergie nécessaire (chauffage, refroidissement, production d'eau chaude sanitaire, éclairage et ventilation). Lorsqu'un entretien ou un renouvellement des produits de construction est nécessaire, ses impacts sont considérés à cette étape de son cycle de vie. La présente étude prend en compte également la consommation d'énergie due à l'activité bureautique mais non celle de la domotique et des équipements de transport interne. Les autres consommations et productions (eau, déchets) n'ont pas été prises en compte.

- **Adaptation, transformation :** non pris en compte

- **Fin de vie :** de la destruction de l'ouvrage au traitement de fin de vie. L'étape de fin de vie comptabilise, quand ils sont disponibles, les impacts liés à la déconstruction, au transport des déchets du site de vie en œuvre jusqu'à leurs centres de traitement et aux traitements des déchets (valorisation/mise en décharge...). Les données prises en compte sont celles issues des FDES relatives aux matériaux de construction. Les autres impacts liés au chantier de démolition ne sont pas inclus dans l'étude.

#### **4.3.2.1 - Vie en œuvre**

##### **4.3.2.1.1 - Scénarios relatifs aux consommations d'énergie d'usage du bâtiment**

L'étude a pour objectif de déterminer les impacts environnementaux de l'ensemble du cycle de vie du bâtiment. Les FDES et modélisations de produits ne prenant pas en compte les impacts liés à la consommation d'énergie du bâtiment (énergie d'usage), il a été nécessaire de les faire calculer par le bureau d'études thermiques Tribu Energie avec un logiciel de calcul réglementaire (moteur de calcul BBC 2005) puis d'adapter ces résultats avec un moteur de type RT 2012 pour mieux refléter la réalité des consommations.

- Le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont fournis par une chaudière gaz à condensation ou par une pompe à chaleur.
- La climatisation est fournie par un groupe froid couplé à la chaudière ou par la pompe à chaleur réversible.
- La source d'énergie pour les usages autres que le chauffage et l'eau chaude sanitaire est supposée électrique exclusivement.
- Les impacts ont été calculés pour une durée de vie des bâtiments de 100 ans.
- PwC a réalisé la modélisation des impacts dus aux consommations énergétiques

à partir des sources de données du logiciel TEAM™ qui donne les correspondances en énergie primaire suivantes :

- consommation d'énergie primaire pour produire 1 MJ d'électricité : 3,13 MJ (source : module TEAM™ de production d'électricité) ;
- consommation d'énergie primaire pour produire 1 MJ de gaz naturel destiné à la combustion en chaudière : 1,3 MJ (source : modules TEAM™ de production et de combustion de gaz naturel).

Ces coefficients sont différents de ceux de la Réglementation Thermique 2012 utilisée pour le calcul thermique. Un modèle de production prenant en compte ces hypothèses a été construit sous TEAM™. Les impacts environnementaux correspondant à la consommation d'énergie primaire du niveau BBC 2005 ont été calculés avec les coefficients du logiciel TEAM™ pour pouvoir être ajoutés au bilan environnemental des bâtiments.

#### **4.3.2.1.2 - Scénarios relatifs aux consommations d'énergie d'activité**

Les cinq postes pris en compte dans la réglementation thermique pour la consommation d'énergie primaire du bâtiment sont le chauffage, la ventilation, la climatisation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux.

Afin d'obtenir une vision plus globale de la consommation énergétique du bâtiment, il convient de prendre en compte l'énergie spécifique du bâtiment (énergie d'activité). Il a été estimé que par son activité tertiaire, celle-ci est entièrement due aux équipements informatiques.

Cette énergie a été estimée à 40 kWh élec/m<sup>2</sup>/an<sup>7</sup>, correspondant de cette façon à 370800 kWh/an. Cette valeur a été supposée indépendante de la solution constructive et de la zone climatique considérées, et donc identique pour les deux structures étudiées.

#### **4.3.2.1.3 - Résultats de l'étude thermique**

L'étude thermique de Tribu Energie donne les principaux résultats suivants :

- les métrés des bâtiments béton sont indépendants de la zone climatique et des équipements de chauffage et de refroidissement choisis, seules varient les consommations d'énergie d'usage ;
- de même, les métrés des bâtiments acier sont indépendants de la zone climatique et des équipements de chauffage et de refroidissement choisis, seules varient les consommations d'énergie d'usage.

L'étude thermique réalisée par Tribu Energie donne les consommations suivantes pour l'énergie d'usage pour l'ensemble du bâtiment pour 100 ans<sup>8</sup>. Pour rappel, ces consommations correspondent au calcul réalisé suivant le projet de RT 2012 et respectent le niveau BBC 2005.

7. Source : Livre blanc du GIE « Enjeu Energie positive » (octobre 2009).

8. Ces informations sont disponibles dans les tableaux 8 et 9 en page 16 et 17 (Cef électrique et gaz en kWh/an) du rapport final de Tribu Energie du 14 avril 2011.

**Tableau 12 - Détail des consommations d'énergie d'usage conventionnel et d'activité**

	<b>Béton H1a PAC</b>	<b>Béton H3 PAC</b>	<b>Acier H1a PAC</b>	<b>Acier H3 PAC</b>	<b>Béton H1a gaz</b>	<b>Béton H3 gaz</b>	<b>Acier H1a gaz</b>	<b>Acier H3 gaz</b>
<b>Énergie d'usage (hors activité)</b>								
Consommation électrique finale (kWh/an)	365 291	415 297	383 733	437 640	311 100	387 045	323 910	401 685
Consommation finale de gaz naturel (kWh/an)	-	-	-	-	88 755	35 685	96 075	39 345
Consommation électrique finale (kWh/m <sup>2</sup> .an)	39	45	41	47	34	42	35	43
Consommation finale de gaz naturel (kWh/m <sup>2</sup> .an)	-	-	-	-	10	4	10	4
Consommation d'électricité en énergie primaire totale (MWh ep) pour l'ensemble du bâtiment pour 100 ans	114 469	130 139	120 248	137 141	97 488	121 286	101 502	125 874
Consommation de gaz naturel en énergie primaire (MWh ep) pour l'ensemble du bâtiment pour 100 ans	-	-	-	-	11 693	4 701	12 658	5 184
Consommation d'énergie d'usage totale en énergie primaire (MWh ep)	114 469	130 139	120 248	137 141	109 181	125 987	114 160	131 057
<b>Énergie d'activité</b>								
Consommation finale d'électricité d'activité (kWh/m <sup>2</sup> .an)	40	40	40	40	40	40	40	40
Consommation d'électricité d'activité en énergie primaire totale (MWh ep) pour l'ensemble du bâtiment pour 100 ans	116 195	116 195	116 195	116 195	116 195	116 195	116 195	116 195

Tous les détails de l'étude réalisée par le bureau d'étude thermique Tribu Energie sont disponibles dans le rapport « Étude QEB Bureaux CIMbéton - Rapport final » qui est disponible sur demande auprès de CIMbéton. Nous rappelons que suivant les objectifs de l'étude, le choix d'une enveloppe commune aux deux solutions a été privilégié par rapport à celui consistant à une optimisation de l'enveloppe pour chaque solution. Cette enveloppe commune permet toutefois aux deux solutions de répondre aux exigences BBC 2005.

Notons que les différences de consommation entre les bâtiments béton et acier ne sont pas significatives.

PwC a calculé les impacts environnementaux de ces consommations finales d'électricité et de gaz naturel à partir des modules de production de l'électricité française et de production de gaz naturel de la base de données DEAM. La conversion en énergie primaire totale est donc faite à partir des coefficients de conversion décrits dans le paragraphe 4.3.2.1.1.

Le mix énergétique français considéré dans cette étude est le suivant (AIE 2007) :

- lignite : 0 %
- fuel : 1,25 %
- gaz naturel : 3,99 %
- nucléaire : 78,46 %
- non thermique : 10,06 % (9,8 hydro + 0,17 vent + 0,08 autres)
- gaz industriel : 0,52 %
- autres électricités : 0,88 % (géothermique, solaire, biomasse et produits animaux, déchets industriels et municipaux).

#### **4.3.2.2 - Fin de vie**

##### **4.3.2.2.1 - Scénarios relatifs à la fin de vie du bâtiment**

Le bâtiment est démolit en fin de vie. Il n'a pas été considéré dans cette étude de modifications des scénarios proposés par les différentes FDES. Ainsi si un matériau de construction est considéré dans sa FDES comme déchet inerte à 100 % et un autre produit de construction comme recyclé à 40 %, il en est de même dans cette étude. De même pour l'énergie de démolition et le transport, nous avons respecté celle des FDES.

Par rapport au traitement en fin de vie, il n'a pas été rajouté en cas de non prise en compte dans la FDES. En effet il n'est pas possible de modifier les scénarios de fin de vie des FDES qui présentent des données agrégées. Le cas échéant, il a été précisé dans l'annexe A, qui reprend l'ensemble des produits étudiés, les hypothèses de fin de vie des FDES et modélisations considérés dans l'étude. Par ailleurs, les impacts liés au chantier de démolition ne sont pas pris en compte.

Pour le cas particulier des éléments acier, les hypothèses particulières ont été détaillées en annexe B.

Conformément à la norme NF P 01-010, la méthode utilisée pour la prise en compte du recyclage dans les FDES 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.

La méthode des stocks ne considère pas d'impacts évités.

#### **4.3.2.2.2 - Scénarios relatifs aux distances de transport des déchets en fin de vie**

La norme XP P01-020-3 propose un scénario pour les transports des déchets en accord avec les données par défaut de la NF P 01-010. Cependant aucune modification n'a été apportée aux hypothèses prises en compte dans les différentes FDES utilisées pour l'étude. Les distances retenues sont donc celles proposées par les producteurs de FDES.

### **4.3.3 - Informations relatives à la disponibilité et la qualité des données**

---

Les données environnementales des produits existent sous deux formes :

- format FDES complet ;
- format résumé pour un certain nombre de fiches.

Certaines fiches sont disponibles sous forme de résumé car elles nous ont été communiquées sous cette forme ou que les calculs nécessaires pour adapter des fiches déjà existantes ont été faits à partir des résumés pour ne pas alourdir les calculs.

Contrairement aux maisons individuelles (cf. *Qualité environnementale des bâtiments*, Cimbéton, 2010, réf B56), il n'y a que peu de FDES disponibles publiquement pour la plupart des matériaux composant la structure des bâtiments tertiaires.

Cependant l'ensemble des impacts environnementaux de ces matériaux sont issus de modélisation présentant une qualité équivalente à celle des FDES existantes. En effet les modélisations sont effectuées à partir de FDES et d'ICV issues des producteurs français et avec les hypothèses des FDES existantes.

Plus de 95 % en poids des matériaux de construction présents dans les métrés fournis par l'économiste de la construction ont été pris en compte et sont couverts

par des FDES ou par des modélisations issues de FDES. Le poids des bâtiments a été estimé à partir des métrés et des masses du gros œuvre.

#### **4.3.3.1 - Données publiquement disponibles**

Aucune collecte de données n'a été nécessaire pour ces produits. Les données qui n'étaient pas déjà présentes dans TEAM Bâtiment ont été obtenues à partir de la base de données publique INIES et saisies dans TEAM™ Bâtiment. Un référentiel unique (norme NF P 01-010) assure l'homogénéité des FDES utilisées.

#### **4.3.3.2 - Données obtenues à partir de FDES communiquées par les fabricants ou les syndicats professionnels**

Pour certains produits non renseignés dans la base INIES, les fabricants ont pu communiquer des inventaires de cycle de vie répondant aux exigences de la norme NF P 01-010. Les données correspondantes ont alors été saisies dans la base de données de TEAM™ Bâtiment.

#### **4.3.3.3 - Données estimées à partir de modélisations ad hoc**

Pour les produits dont les impacts environnementaux n'étaient pas présents dans TEAM™ Bâtiment mais pour lesquels il existait des inventaires de cycle de vie des composants de ce produit (par exemple un béton pour lequel sont disponibles des ICV des ciments) ou des produits semblables à une dimension près (par exemple l'épaisseur de l'isolant) et faisant l'objet d'une FDES, les impacts environnementaux ont été recalculés à partir de règles validées avec l'industriel ou la profession et suivant la norme NF P 01 010 (détails dans le tableau de l'annexe A).

Ces impacts environnementaux ont été ressaisis dans TEAM™ Bâtiment.

#### **4.3.3.4 - Qualité des données**

Le tableau de l'annexe A présente, pour les différents produits de construction pris en compte dans l'étude, la source des données considérées suivant la classification de la norme XP 01-020-3 :

- a) données publiées sous forme de déclarations environnementales de type III vérifiées par tierce partie ;
- b) données publiées sous forme de déclarations environnementales de type III ; cette catégorie inclut les données calculées par PwC suivant la méthodologie de la norme NF P 01-010 avec des bases de données provenant des fabricants mais qui ne donnent pas lieu à la publication d'une FDES ;
- c) données publiées sous d'autres formes de déclarations environnementales au sens de la norme ISO 14020 ;
- d) autres données.

#### **4.3.3.5 - Représentativités temporelles, technologique et géographique**

Les exigences relatives à la qualité des données sur les produits de construction sont les suivantes.

- **Représentativité temporelle:** les FDES et modélisations des produits principaux sont issues de collectes de données réalisées, pour la plupart, après 2005 (cf. annexe A). Les produits pour lesquels la déclaration environnementale date d'avant 2005 (carreau de plâtre) sont des produits pour lesquels les quantités sont identiques pour le bâtiment acier et le bâtiment béton (façade 50 % opaque). Nous estimons que la représentativité temporelle des données est donc bonne.
- **Représentativité technologique:** les FDES et modélisations utilisés correspondent en grande majorité soit à des références commerciales spécifiques pour lesquels les valeurs de production de l'usine en question sont utilisées soit à des matériaux de construction classiques pour lesquels des fiches syndicales ou moyennes au niveau français sont disponibles. De plus les procédés de fabrication de ces matériaux n'ont pas évolué de façon radicale dans la dernière décennie. Nous estimons donc avoir une bonne représentativité technologique.
- **Représentativité géographique:** les FDES et modélisations correspondent à des produits disponibles et utilisés sur le marché français. Ces produits sont prescrits par l'économiste de la construction en relation avec les pratiques et usages du marché français. La représentativité géographique des données est donc estimée comme étant bonne.

#### **4.3.3.6 - Cohérence des données**

D'après la norme XP 01-020-3, plusieurs niveaux de cohérence peuvent être définis. Nous avons retenu les cohérences qualitative et méthodologique.

##### **4.3.3.6.1 – Cohérence qualitative**

L'homogénéité qualitative des données est discutée ci-dessus au travers des représentativités temporelles, géographiques et technologiques.

##### **4.3.3.6.2 – Cohérence méthodologique**

Les données étant issues de FDES répondent à la norme NF P 01-010. La majorité des FDES utilisées (soit directement soit après adaptation du modèle) ont été réalisées à partir du logiciel TEAM et de sa base de données DEAM. Les adaptations

des FDES ont été réalisées en respectant la norme NF P 01-010, les bilans environnementaux sont donc générés en utilisant les mêmes méthodes et hypothèses de calcul.

La cohérence méthodologique est assurée par l'homogénéité des méthodes de travail, des bases de données et des outils utilisés.

## 4.4 Modélisation des solutions constructives sous TEAM™ Bâtiment

Pour chacun des ouvrages modélisés, en s'appuyant sur les métrés du bureau d'études C&E Ingénierie et du bureau d'étude thermique Tribu Energie, l'économiste de la construction M. Zimmer a communiqué à PwC la nature des produits utilisés (infrastructure/structure/noyau/façade/second œuvre) et sa quantité. Les données relatives à chaque produit ont ensuite été converties dans les unités fonctionnelles de la FDES correspondante, dans un tableau de saisie (au format Excel). Ces tableaux de saisie servent de base à la modélisation des ouvrages dans TEAM™ Bâtiment.

Les produits considérés peuvent avoir des durées de vie inférieures à la durée de vie de la solution constructive (100 ans). Dans ce cas, le nombre de produits nécessaires sur une durée de 100 ans a été calculé.

Par exemple :

- pour un produit de durée de vie 50 ans, un remplacement doit être prévu. Dans ce cas, les impacts du produit considéré seront multipliés par 2 ;
- pour un produit de durée de vie 30 ans, trois remplacements doivent être prévus, les impacts du produit considéré seront multipliés par 4.

## 4.5 Calcul des impacts environnementaux des solutions constructives

Lorsque l'ensemble des quantités de produits sont saisies dans l'outil TEAM™ Bâtiment, celui-ci permet le calcul des 11 indicateurs d'impact présentés au chapitre 5.1.

Remarque: l'indicateur eutrophisation n'a pas été retenu dans cette étude car il n'est pas disponible pour l'ensemble des FDES utilisées.



Chapitre

5

Résultats  
de l'évaluation

Cette section du rapport vise à présenter les résultats de l'évaluation environnementale des 8 bâtiments pris en compte pour cette étude. Par ailleurs, elle vise à fournir un premier niveau d'analyse et d'interprétation de ces résultats.

# 5.1 Sélection des indicateurs

Les résultats complets portent sur 11 indicateurs environnementaux. 9 sont issus de la XP P01-020-3 (hors eutrophisation, foncier, biodiversité faute de données disponibles) et auquel on a ajouté l'énergie primaire totale et les déchets valorisés :

- Énergie primaire totale ;
- Énergie non renouvelable (XP 01-020-3) ;
- Épuisement des ressources (XP 01-020-3) ;
- Consommation d'eau (XP 01-020-3) ;
- Production totale de déchets éliminés (XP 01-020-3) ;
- Déchets valorisés ;
- Changement climatique (XP 01-020-3) ;
- Acidification atmosphérique (XP 01-020-3) ;
- Pollution de l'air (XP 01-020-3) ;
- Pollution de l'eau (XP 01-020-3) ;
- Formation d'ozone photochimique (XP 01-020-3).

Les tableaux complets affichant les résultats pour les 11 impacts environnementaux pour chacun des bâtiments sont présentés dans la présentation synthétique et en annexe E.

Dans un but de communication, 7 indicateurs ont été retenus pour l'analyse et la présentation des résultats par le comité de pilotage de l'étude, après discussion (décrite dans le tableau ci-dessous) :

- Énergie primaire totale ;
- Énergie non renouvelable ;
- Épuisement des ressources ;
- Production totale de déchets éliminés ;
- Changement climatique ;
- Acidification atmosphérique ;
- Déchets valorisés.

**Tableau 13 : description des indicateurs environnementaux  
et discussion sur le choix des 7 indicateurs retenus pour l'analyse**

<b>Indicateur</b>	<b>Raison du choix de l'inclusion ou de l'exclusion</b>
<b>Énergie primaire totale</b>	Cet indicateur permet de connaître la consommation de ressources énergétiques. Il permet également de pouvoir comparer les parts respectives de consommation d'énergie de la construction et de l'énergie d'usage.
<b>Énergie non renouvelable</b>	Cet indicateur fait partie des indicateurs prioritaires de HQE Performance*
<b>Énergie procédé</b>	Cette énergie bien que jugée par certaines associations comme plus pertinente que l'énergie primaire totale, n'a pas pu être affichée. En effet un certain nombre de FDES collectées pour l'étude n'étaient disponibles que sous forme de résumé uniquement et n'affiche pas le découpage de l'énergie primaire totale en énergie matière et énergie procédé. De plus, cet indicateur n'est pas une exigence de la norme XP 01-020-3.
<b>Épuisement des ressources</b>	Cet indicateur complète celui de l'énergie primaire totale en prenant en compte la rareté des ressources. C'est aussi l'indicateur global d'impact sur les ressources (énergétiques et minérales).
<b>Consommation totale d'eau</b>	La consommation d'eau en vie en œuvre, principale contributrice sur le cycle de vie, n'a pas été prise en compte faute de données satisfaisantes. Cet indicateur de consommation totale n'a donc pas été retenu.
<b>Production totale de déchets éliminés</b>	Cet indicateur a été jugé pertinent étant donné le volume et le poids importants des déchets générés par le secteur de la construction en France.
<b>Déchets valorisés</b>	Cet indicateur a été rajouté aux indicateurs de la norme XP 01-020-3 car le recyclage des matériaux de construction est une problématique importante.
<b>Changement climatique</b>	Cet indicateur a été jugé pertinent étant donné l'importance environnementale et politique du changement climatique.
<b>Acidification atmosphérique</b>	Cet indicateur a été retenu car il faisait partie des indicateurs retenus pour le calcul de l'impact environnemental du bâtiment au niveau de la cible n° 2 dans le référentiel de certification HQE tertiaire encore applicable. Par ailleurs cet indicateur est retenu dans divers documents de normalisation : – normalisation européenne du CEN TC350 (Déclaration de produits pr EN 15804 et méthode de calcul pour le bâtiment – pr EN 15978). – normalisation française sur l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments (XP P 01-020-3)
<b>Pollution de l'air</b>	Cet indicateur n'a pas été retenu étant donné l'incertitude sur les flux considérés dans cet indicateur.
<b>Pollution de l'eau</b>	Cet indicateur n'a pas été retenu étant donné l'incertitude sur les flux considérés dans cet indicateur.
<b>Destruction de la couche d'ozone stratosphérique</b>	L'interdiction effective des CFC et progressive des HCFC rend l'indicateur peu pertinent pour l'étude. L'indicateur n'a donc pas été retenu.
<b>Formation d'ozone photochimique</b>	Cet indicateur n'a pas été retenu pour la présentation et l'analyse des résultats dans cette étude car il est d'une moindre priorité environnementale et politique par rapport aux autres indicateurs retenus.
<b>Eutrophisation</b>	Cet indicateur a été rajouté à la liste des indicateurs nécessaires à la publication des FDES sur INIES. Toutes les FDES utilisées dans ce projet n'ont cependant pas été mises à jour avec cet indicateur. C'est pourquoi cet indicateur a été retiré.

\* Annexe technique Bâtiments neufs - HQE Performance, version du 22/12/2010

Les définitions des 7 indicateurs retenus sont rappelées dans le tableau ci-dessous.

<b>Tableau 14 : définitions des 7 indicateurs retenus</b>	
<b>Indicateur</b>	<b>Définitions</b>
<b>Énergie primaire totale</b>	Représente la somme de toutes les sources d'énergie qui sont directement puisées dans les réserves naturelles telles que le gaz naturel, le pétrole, le charbon, le minerai d'uranium, la biomasse, l'énergie hydraulique, le soleil, le vent, la géothermie.
<b>Énergie non renouvelable</b>	Représente la somme de toutes les sources d'énergies non renouvelables (gaz naturel, pétrole, charbon, nucléaire).
<b>Épuisement des ressources</b>	Représente la consommation de ressources naturelles non renouvelables exprimées en kg équivalent antimoine (Sb).
<b>Production totale de déchets éliminés</b>	Somme les quantités totales de déchets éliminés, notamment les déchets dangereux, non dangereux, inertes, radioactifs.
<b>Déchets valorisés</b>	Total de la production des déchets valorisables provenant des produits de construction lors du cycle de vie du bâtiment.
<b>Changement climatique</b>	Exprime les émissions totales des différents gaz à effet de serre (exprimée en kg équivalent CO <sub>2</sub> ): CO <sub>2</sub> , méthane, N <sub>2</sub> O notamment.
<b>Acidification atmosphérique</b>	Exprime les émissions totales des six substances possédant un potentiel d'acidification atmosphérique le plus souvent rencontrées (exprimées en kg équivalent SO <sub>2</sub> ): NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , HCl, HF et H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .

## 5.2 Principales hypothèses méthodologiques

Pour cette étude, plusieurs paramètres varient pour caractériser les bâtiments :

- zone climatique : H1a ou H3 ;
- équipement de chauffage : chaudière gaz à condensation ou pompe à chaleur réversible ;

Pour les calculs, les postes suivants ont été pris en compte :

- éléments de gros œuvre (infrastructure/superstructure/noyau/façade) ;
- second œuvre (faux planchers, faux plafonds, cloisons coupe-feu et isophoniques, portes, plaques de plâtre pour la tenue au feu des poteaux, revêtement de sol) ;
- énergie d'usage correspondant au niveau BBC 2005 suivant un calcul type RT 2012 ;
- énergie d'activité partielle.

Pour chaque indicateur, les résultats sont présentés par poste dans un tableau d'une part pour le bâtiment complet sur 100 ans et d'autre part par m<sup>2</sup> et par an.

Des graphiques reprennent ces résultats par m<sup>2</sup> et par an suivant deux périmètres :

- périmètre matériaux ;
- périmètre global.

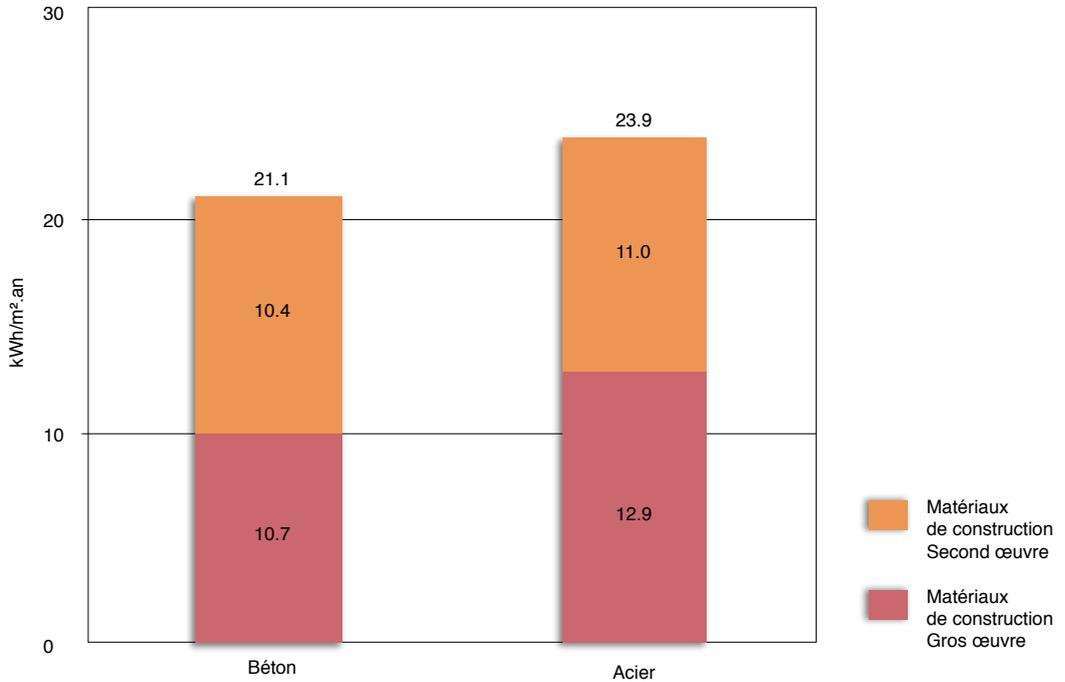
Il a été décidé de retenir pour l'étude une incertitude de 20 % correspondant à l'incertitude minimale des études d'ACV. Ainsi, au regard des contributions des différents postes (matériaux de construction, consommations d'énergie d'usage et d'activité), il est estimé que les résultats obtenus pour chaque indicateur se situent dans un intervalle de confiance de 20 %, dans le cadre des hypothèses. Pour un indicateur donné, il n'est donc pas possible d'affirmer une différence entre les cas étudiés si la différence relative est inférieure à 20 %.

## 5.3 Impacts environnementaux des bâtiments

### 5.3.1 - Énergie Primaire Totale

<b>Tableau 15 : indicateur Énergie Primaire Totale (EPT)</b>									
<b>Unité</b>		<b>Béton H1a PAC</b>	<b>Acier H1a PAC</b>	<b>Béton H1a gaz</b>	<b>Acier H1a gaz</b>	<b>Béton H3 PAC</b>	<b>Acier H3 PAC</b>	<b>Béton H3 gaz</b>	<b>Acier H3 gaz</b>
<b>MWh</b> (ensemble du bâtiment pour 100 ans)	Matériaux de construction - Gros œuvre	9,9E+03	1,2E+04	9,9E+03	1,2E+04	9,9E+03	1,2E+04	9,9E+03	1,2E+04
	Matériaux de construction - Second œuvre	9,7E+03	1,0E+04	9,7E+03	1,0E+04	9,7E+03	1,0E+04	9,7E+03	1,0E+04
	Énergie d'usage conventionnel	1,1E+05	1,2E+05	1,1E+05	1,1E+05	1,3E+05	1,4E+05	1,3E+05	1,3E+05
	Énergie d'activité (bureautique)	1,2E+05	1,2E+05	1,2E+05	1,2E+05	1,2E+05	1,2E+05	1,2E+05	1,2E+05
	<b>Total EPT</b>	2,5E+05	2,6E+05	2,4E+05	2,5E+05	2,7E+05	2,8E+05	2,6E+05	2,7E+05
<b>kWh/m<sup>2</sup>/an</b>	Matériaux de construction - Gros œuvre	1,1E+01	1,3E+01	1,1E+01	1,3E+01	1,1E+01	1,3E+01	1,1E+01	1,3E+01
	Matériaux de construction - Second œuvre	1,0E+01	1,1E+01	1,0E+01	1,1E+01	1,0E+01	1,1E+01	1,0E+01	1,1E+01
	Énergie d'usage conventionnel	1,2E+02	1,3E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,4E+02	1,5E+02	1,4E+02	1,4E+02
	Énergie d'activité (bureautique)	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02
	<b>Total EPT</b>	2,7E+02	2,8E+02	2,6E+02	2,7E+02	2,9E+02	3,0E+02	2,8E+02	2,9E+02

5.3.1.1 - Périmètre matériaux

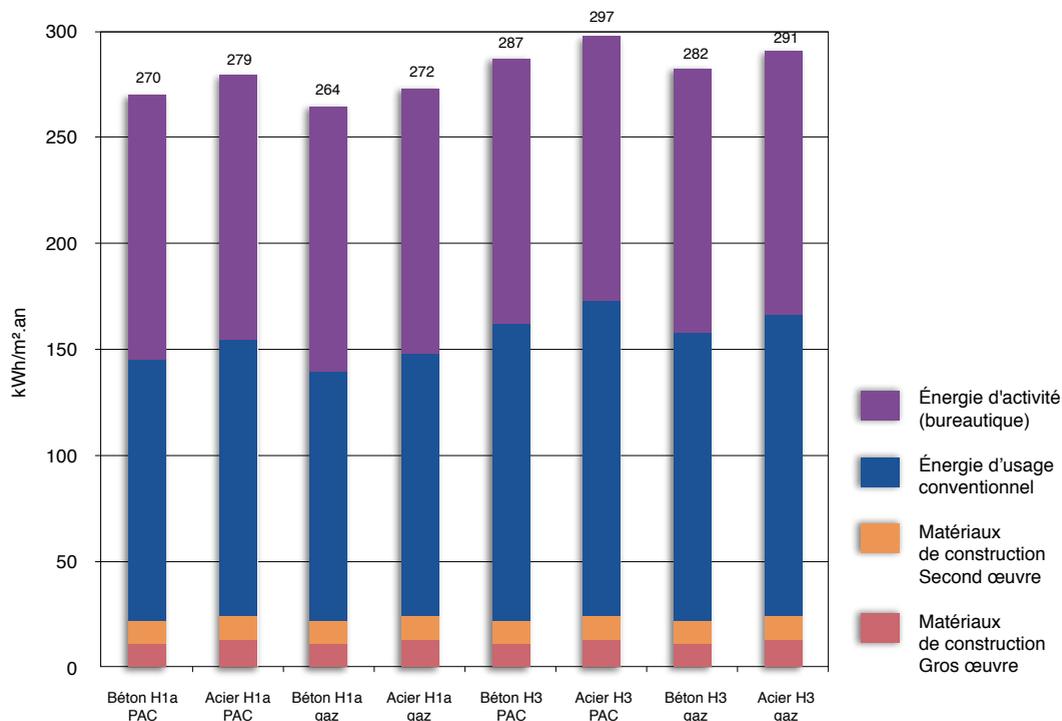


**Figure 11 : énergie primaire totale en kWh/m<sup>2</sup>/an  
Périmètre matériaux seuls (gros œuvre et second œuvre) par m<sup>2</sup> et par an**

Pour le périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre), le bâtiment acier présente une consommation d'énergie primaire totale 13 % supérieure à celle du bâtiment béton. Cette consommation pour le bâtiment acier est 6 % supérieure par rapport au bâtiment béton pour le second œuvre, et 21 % supérieure pour le gros œuvre.

Au regard du seuil de signification de 20 %, la différence de consommation d'énergie primaire totale n'est pas significative entre les deux bâtiments.

### 5.3.1.2 - Périmètre global



**Figure 12 : énergie primaire totale en kWh/m<sup>2</sup>/an  
Périmètre global par m<sup>2</sup> par an - Ensemble des cas étudiés**

La consommation d'énergie primaire totale varie peu (moins de 2 % d'écart entre deux cas de matériau et à zone climatique identique) entre les équipements PAC et GAZ car leur efficacité respective est semblable.

L'énergie d'usage représente en moyenne 47 % du périmètre global total et l'énergie d'activité 45 %. Pour une même zone climatique et un même équipement, le bâtiment acier présente une consommation d'énergie primaire totale supérieure de 4 % pour l'équipement PAC et 3 % pour l'équipement gaz par rapport au bâtiment béton, ce qui ne représente pas un écart significatif.

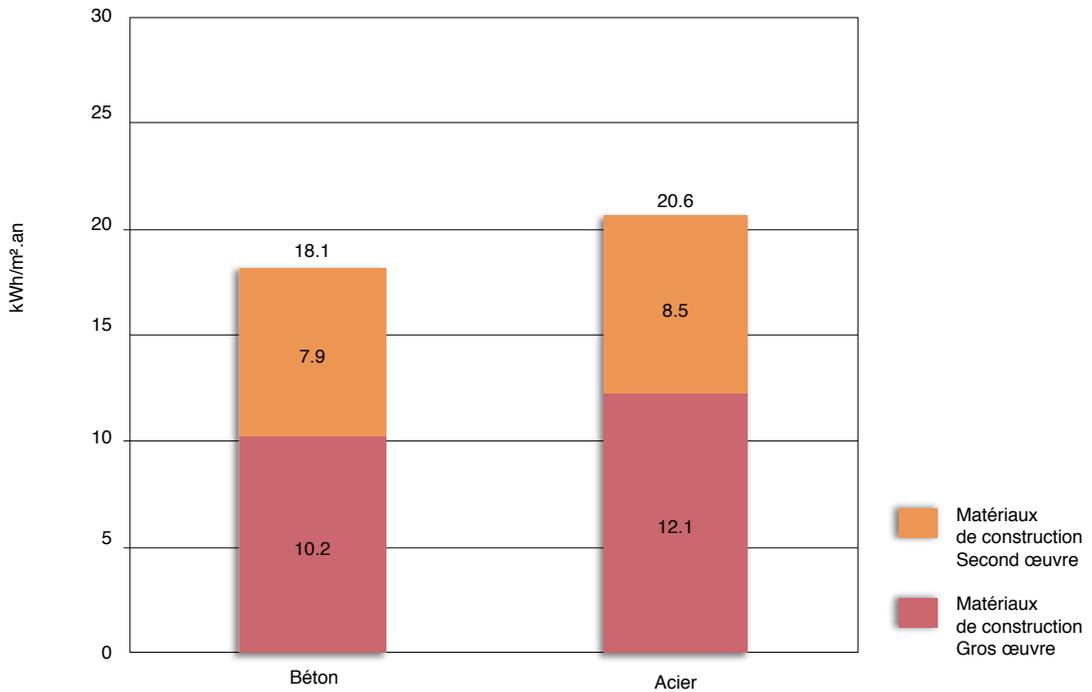
Les matériaux de construction (gros œuvre et second œuvre) représentent en moyenne 8 % de l'EPT (respectivement 4 % pour le gros œuvre et 4 % pour le second œuvre).

### 5.3.2 - Énergie non renouvelable

**Tableau 16 : indicateur Énergie non renouvelable (ENR)**

Unité		<b>Béton H1a PAC</b>	<b>Acier H1a PAC</b>	<b>Béton H1a gaz</b>	<b>Acier H1a gaz</b>	<b>Béton H3 PAC</b>	<b>Acier H3 PAC</b>	<b>Béton H3 gaz</b>	<b>Acier H3 gaz</b>
MWh (ensemble du bâtiment pour 100 ans)	Matériaux de construction - Gros œuvre	9,5E+03	1,1E+04	9,5E+03	1,1E+04	9,5E+03	1,1E+04	9,5E+03	1,1E+04
	Matériaux de construction - Second œuvre	7,3E+03	7,8E+03	7,3E+03	7,8E+03	7,3E+03	7,8E+03	7,3E+03	7,8E+03
	Énergie d'usage conventionnel	1,1E+05	1,2E+05	1,0E+05	1,1E+05	1,2E+05	1,3E+05	1,2E+05	1,3E+05
	Énergie d'activité (bureautique)	1,1E+05	1,1E+05	1,1E+05	1,1E+05	1,1E+05	1,1E+05	1,1E+05	1,1E+05
	<b>Total ENR</b>	2,4E+05	2,5E+05	2,3E+05	2,4E+05	2,5E+05	2,6E+05	2,5E+05	2,6E+05
kWh/m <sup>2</sup> / an	Matériaux de construction - Gros œuvre	1,0E+01	1,2E+01	1,0E+01	1,2E+01	1,0E+01	1,2E+01	1,0E+01	1,2E+01
	Matériaux de construction - Second œuvre	7,9E+00	8,5E+00	7,9E+00	8,5E+00	7,9E+00	8,5E+00	7,9E+00	8,5E+00
	Énergie d'usage conventionnel	1,2E+02	1,2E+02	1,1E+02	1,2E+02	1,3E+02	1,4E+02	1,3E+02	1,4E+02
	Énergie d'activité (bureautique)	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,2E+02
	<b>Total ENR</b>	2,6E+02	2,6E+02	2,5E+02	2,6E+02	2,7E+02	2,8E+02	2,7E+02	2,8E+02

### 5.3.2.1 - Périmètre matériaux



**Figure 13 : énergie non renouvelable en kWh/m<sup>2</sup>/an  
Périmètre matériaux seuls (gros œuvre et second œuvre) par m<sup>2</sup> et par an**

Pour le périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre), le bâtiment acier présente une consommation d'énergie non renouvelable 14 % supérieure à celle du bâtiment béton. Cette évolution est la même que pour l'énergie primaire totale car l'énergie primaire totale est composée à 86 % d'énergie non renouvelable.

Au regard du seuil de signification de 20 %, la différence de consommation d'énergie non renouvelable n'est pas significative entre les deux bâtiments.

5.3.2.2 - Périmètre global

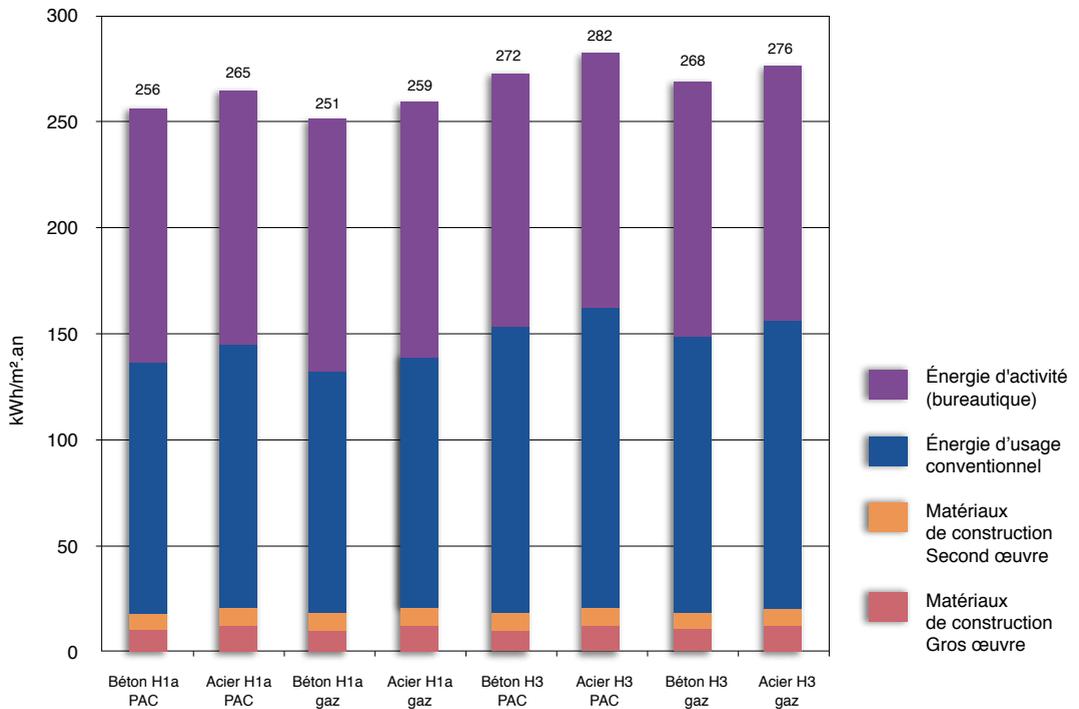


Figure 14 : énergie non renouvelable en kWh/m²/an Périmètre global par m² par an - Ensemble des cas étudiés

La consommation d'énergie non renouvelable varie peu (moins de 2 % d'écart entre deux cas de matériau et à zone climatique identique) entre les équipements PAC et GAZ car l'efficacité de ces équipements est semblable.

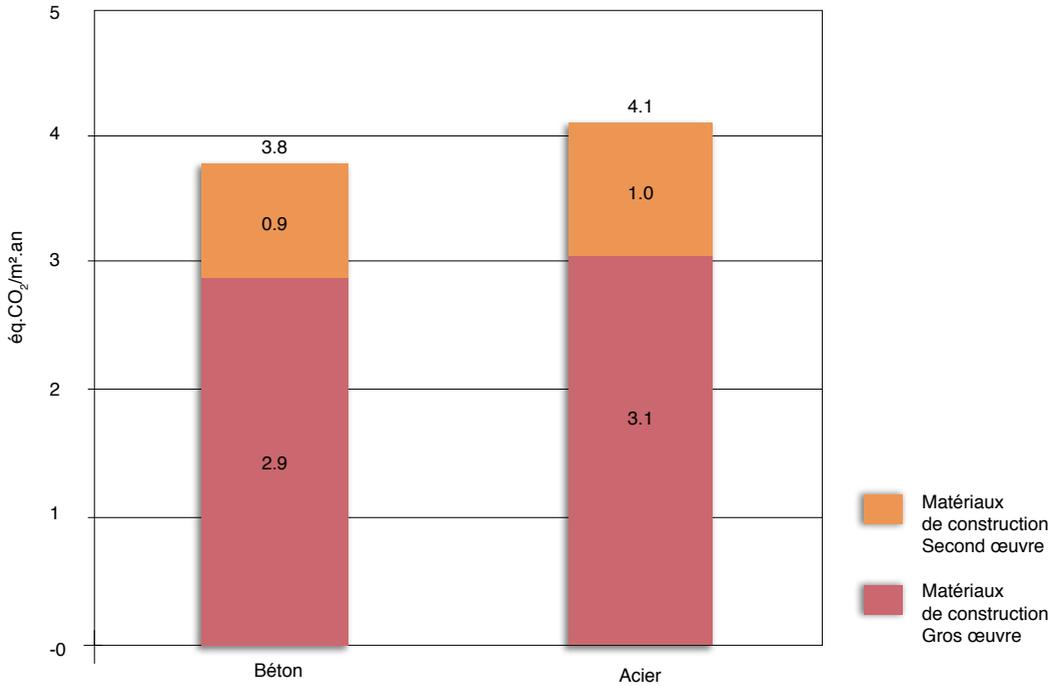
L'énergie d'usage représente en moyenne 47 % du périmètre global total et l'énergie d'activité 45 %. Pour une même zone climatique et un même équipement, le bâtiment acier présente une consommation d'énergie non renouvelable supérieure de 4 % pour l'équipement PAC et 3 % pour l'équipement gaz par rapport au bâtiment béton, ce qui ne représente pas un écart significatif.

Les matériaux de construction (gros œuvre et second œuvre) représentent environ 7 % de l'énergie non renouvelable (respectivement 4 % pour le gros œuvre et 3 % pour le second œuvre).

### 5.3.3 - Changement climatique

<b>Tableau 17 : indicateur Changement climatique</b>									
<b>Unité</b>		<b>Béton H1a PAC</b>	<b>Acier H1a PAC</b>	<b>Béton H1a gaz</b>	<b>Acier H1a gaz</b>	<b>Béton H3 PAC</b>	<b>Acier H3 PAC</b>	<b>Béton H3 gaz</b>	<b>Acier H3 gaz</b>
tonnes éq. CO <sub>2</sub> (ensemble du bâtiment pour 100 ans)	Matériaux de construction - Gros œuvre	2,7E+03	2,9E+03	2,7E+03	2,9E+03	2,7E+03	2,9E+03	2,7E+03	2,9E+03
	Matériaux de construction - Second œuvre	8,5E+02	9,6E+02	8,5E+02	9,6E+02	8,5E+02	9,6E+02	8,5E+02	9,6E+02
	Énergie d'usage conventionnel	4,1E+03	4,4E+03	5,7E+03	6,0E+03	4,7E+03	5,0E+03	5,2E+03	5,5E+03
	Énergie d'activité (bureautique)	4,2E+03	4,2E+03	4,2E+03	4,2E+03	4,2E+03	4,2E+03	4,2E+03	4,2E+03
	<b>Total Changement climatique</b>	1,2E+04	1,2E+04	1,3E+04	1,4E+04	1,2E+04	1,3E+04	1,3E+04	1,4E+04
kg éq. CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> / an	Matériaux de construction - Gros œuvre	2,9E+00	3,1E+00	2,9E+00	3,1E+00	2,9E+00	3,1E+00	2,9E+00	3,1E+00
	Matériaux de construction - Second œuvre	9,2E-01	1,0E+00	9,2E-01	1,0E+00	9,2E-01	1,0E+00	9,2E-01	1,0E+00
	Énergie d'usage conventionnel	4,5E+00	4,7E+00	6,1E+00	6,4E+00	5,1E+00	4,5E+00	5,7E+00	5,9E+00
	Énergie d'activité (bureautique)	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00
	<b>Total Changement climatique</b>	1,3E+01	1,3E+01	1,4E+01	1,5E+01	1,3E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,5E+01

5.3.3.1 - Périmètre matériaux

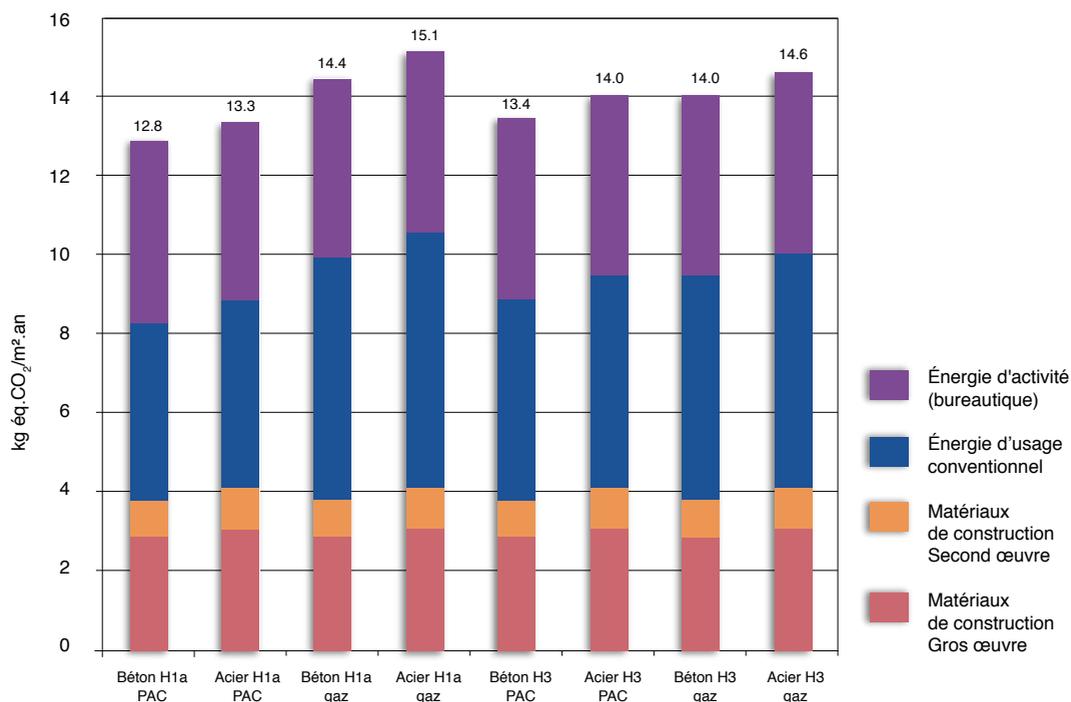


**Figure 15 : changement climatique en kg eq. CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an  
Périmètre matériaux seuls (gros œuvre et second œuvre) par m<sup>2</sup> et par an**

Pour le périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre), le bâtiment acier présente un indicateur changement climatique 8 % supérieur à celui du bâtiment béton.

Au regard du seuil de signification de 20 %, la différence de contribution au changement climatique n'est pas significative entre les deux bâtiments.

### 5.3.3.2 - Périmètre global



**Figure 16: changement climatique en kg éq.CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an  
Périmètre global par m<sup>2</sup> par an - Ensemble des cas étudiés**

Pour un bâtiment béton dans une zone climatique donnée, l'indicateur changement climatique est plus important pour les équipements chaudière à gaz que pour les équipements pompe à chaleur (PAC). Bien que consommant autant d'énergie primaire totale que les solutions gaz, les bâtiments équipés de PAC sont moins impactants que les bâtiments équipés de chaudière à gaz pour l'indicateur changement climatique car ils n'utilisent que de l'électricité contrairement aux solutions avec chaudière qui utilisent du gaz. En France, le gaz a un facteur d'émission supérieur à l'électricité pour un kWh d'énergie primaire totale.

Pour une zone climatique et un bâtiment donné, l'indicateur changement climatique augmente donc de 11 % en passant des pompes à chaleur à une chaudière gaz. Cet écart n'est cependant pas significatif au regard du seuil de 20 %.

L'énergie d'usage représente en moyenne 39 % du total, et l'énergie d'activité 32 %. Pour une même zone climatique et un même équipement, le bâtiment acier présente un impact changement climatique supérieur de 5 % pour les équipements PAC et chaudière par rapport au bâtiment béton, ce qui n'est pas un écart

significatif. Il est à noter que la contribution de l'énergie totale sur les impacts globaux serait plus importante dans le cas d'un mix énergétique plus carboné, comme le mix européen moyen.

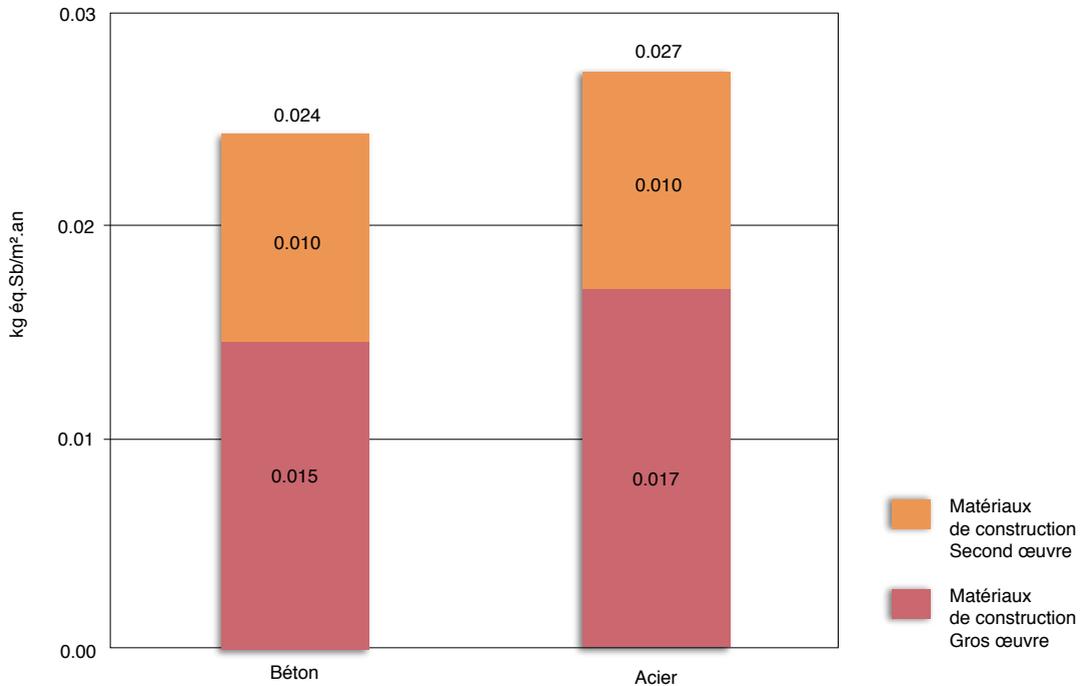
Les matériaux de construction (gros œuvre et second œuvre) représentent environ 29 % de l'impact changement climatique (respectivement 21 % pour le gros œuvre et 8 % pour le second œuvre).

### 5.3.4 - Épuisement des ressources

**Tableau 18 : indicateur Épuisement des ressources**

Unité		<b>Béton H1a PAC</b>	<b>Acier H1a PAC</b>	<b>Béton H1a gaz</b>	<b>Acier H1a gaz</b>	<b>Béton H3 PAC</b>	<b>Acier H3 PAC</b>	<b>Béton H3 gaz</b>	<b>Acier H3 gaz</b>
tonnes éq. Sb (ensemble du bâtiment pour 100 ans)	Matériaux de construction - Gros œuvre	1,4E+01	1,6E+01	1,4E+01	1,6E+01	1,4E+01	1,6E+01	1,4E+01	1,6E+01
	Matériaux de construction - Second œuvre	9,0E+00	9,7E+00	9,0E+00	9,7E+00	9,0E+00	9,7E+00	9,0E+00	9,7E+00
	Énergie d'usage conventionnel	2,7E+01	2,9E+01	4,2E+01	4,5E+01	3,1E+01	3,3E+01	3,6E+01	3,8E+01
	Énergie d'activité (bureautique)	2,8E+01	2,8E+01	2,8E+01	2,8E+01	2,8E+01	2,8E+01	2,8E+01	2,8E+01
	<b>Total épuisement des ressources</b>	7,8E+01	8,2E+01	9,2E+01	9,8E+01	8,1E+01	8,6E+01	8,7E+01	9,1E+01
kg éq. Sb/m <sup>2</sup> /an	Matériaux de construction - Gros œuvre	1,5E-02	1,7E-02	1,5E-02	1,7E-02	1,5E-02	1,7E-02	1,5E-02	1,7E-02
	Matériaux de construction - Second œuvre	9,7E-03	1,0E-02	9,7E-03	1,0E-02	9,7E-03	1,0E-02	9,7E-03	1,0E-02
	Énergie d'usage conventionnel	2,9E-02	3,1E-02	4,5E-02	4,8E-02	3,3E-02	3,5E-02	3,9E-02	4,1E-02
	Énergie d'activité (bureautique)	3,0E-02	3,0E-02	3,0E-02	3,0E-02	3,0E-02	3,0E-02	3,0E-02	3,0E-02
	<b>Total épuisement des ressources</b>	8,4E-02	8,8E-02	1,0E-01	1,1E-01	8,8E-02	9,2E-02	9,4E-02	9,9E-02

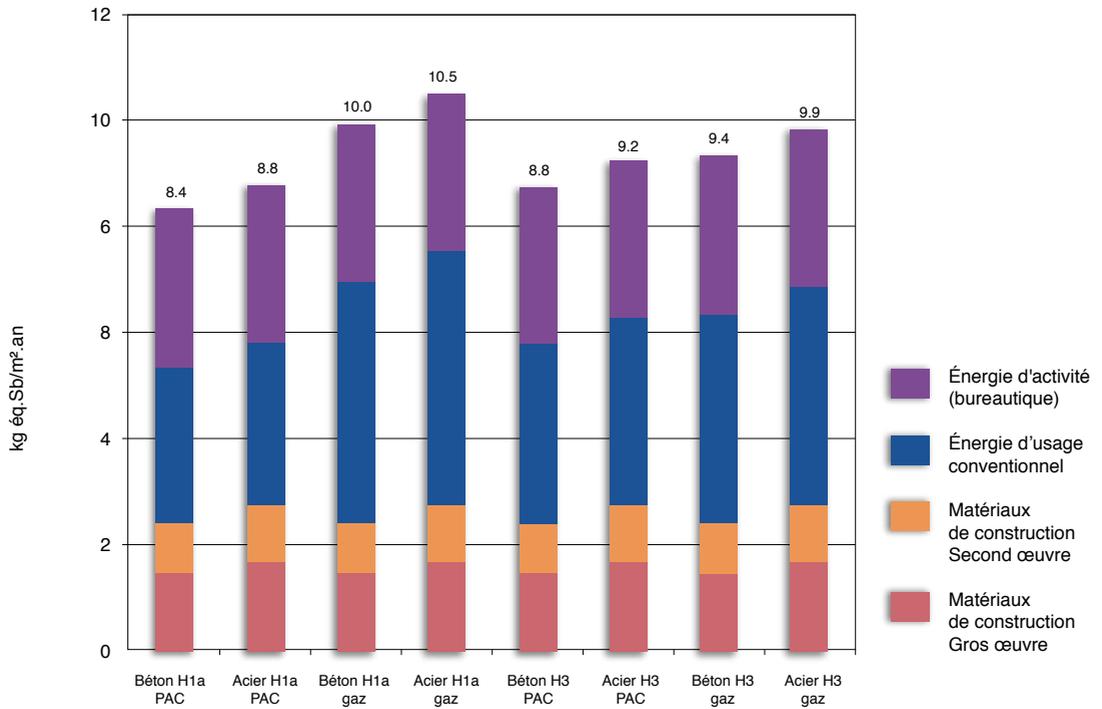
### 5.3.4.1 - Périmètre matériaux



**Figure 17: épuisement des ressources naturelles non renouvelables  
Périmètre matériaux seuls (gros œuvre et second œuvre) par m<sup>2</sup> et par an**

Pour le périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre), l'indicateur épuisement des ressources naturelles pour le bâtiment acier est supérieur de 13 % à celui du bâtiment béton. Cet écart est non significatif car inférieur à 20 %. On retrouve le même profil des impacts par produit que pour l'énergie primaire totale.

5.3.4.2 - Périmètre global



**Figure 18 : épuisement des ressources naturelles non renouvelables en tonnes eq. Sb/m²/an - Périmètre global par m² par an - Ensemble des cas étudiés**

Pour la zone climatique H1a et un bâtiment donné, l'indicateur épuisement des ressources non renouvelables augmente de 17 % en moyenne en passant des pompes à chaleur à une chaudière gaz. Pour la zone H3, cette augmentation est de 6 %.

La différence d'écart vient principalement du fait que la consommation d'un kWh de gaz naturel a un impact sur l'épuisement des ressources non renouvelables supérieur à celui de la consommation d'un kWh d'électricité française.

En moyenne, l'énergie d'usage représente 40 % du total, et l'énergie d'activité 41 %. Pour une même zone climatique et un même équipement, le bâtiment acier présente un impact changement climatique supérieur de 5 % pour l'équipement PAC et pour l'équipement gaz par rapport au bâtiment béton, ce qui n'est pas un écart significatif.

Ces différents écarts ne sont pas significatifs au regard du seuil de 20 %.

### 5.3.5 - Déchets valorisés

**Tableau 19: indicateur Production totale des déchets valorisés**

Unité		Béton H1a PAC	Acier H1a PAC	Béton H1a gaz	Acier H1a gaz	Béton H3 PAC	Acier H3 PAC	Béton H3 gaz	Acier H3 gaz
tonnes (ensemble du bâtiment pour 100 ans)	Matériaux de construction - Gros œuvre	4,9E+03	4,1E+03	4,9E+03	4,1E+03	4,9E+03	4,1E+03	4,9E+03	4,1E+03
	Matériaux de construction - Second œuvre	5,5E+02	5,6E+02	5,5E+02	5,6E+02	5,5E+02	5,6E+02	5,5E+02	5,6E+02
	Énergie d'usage conventionnel	7,3E+00	7,7E+00	6,3E+00	6,5E+00	8,4E+00	8,8E+00	7,8E+00	8,1E+00
	Énergie d'activité (bureautique)	7,5E+00	7,5E+00	7,5E+00	7,5E+00	7,5E+00	7,5E+00	7,5E+00	7,5E+00
	Déchets valorisés totaux	5,5E+03	4,7E+03	5,5E+03	4,7E+03	5,5E+03	4,7E+03	5,5E+03	4,7E+03
kg/m <sup>2</sup> /an	Matériaux de construction - Gros œuvre	5,3E+00	4,4E+00	5,3E+00	4,4E+00	5,3E+00	4,4E+00	5,3E+00	4,4E+00
	Matériaux de construction - Second œuvre	6,0E-01	6,0E-01	6,0E-01	6,0E-01	6,0E-01	6,0E-01	6,0E-01	6,0E-01
	Énergie d'usage conventionnel	7,9E-03	8,3E-03	6,7E-03	7,0E-03	9,0E-03	9,5E-03	8,4E-03	8,7E-03
	Énergie d'activité (bureautique)	8,0E-03	8,0E-03	8,0E-03	8,0E-03	8,0E-03	8,0E-03	8,0E-03	8,0E-03
	Déchets valorisés totaux	5,9E+00	5,1E+00	5,9E+00	5,1E+00	5,9E+00	5,1E+00	5,9E+00	5,1E+00

5.3.5.1 - Périmètre matériaux

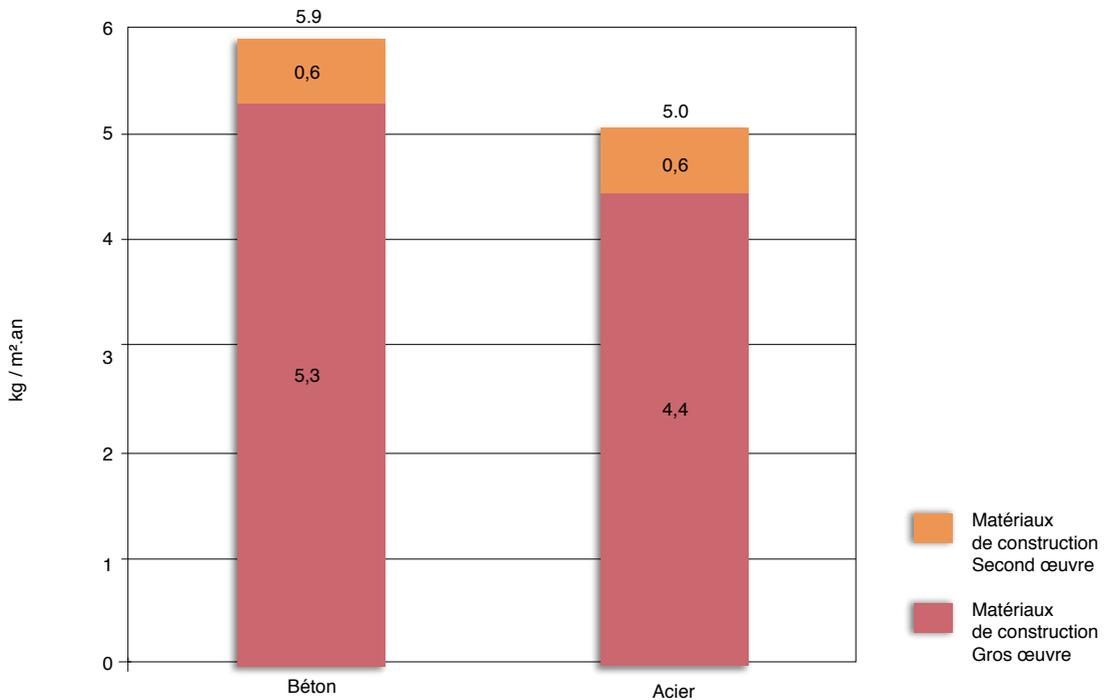


Figure 19: production totale de déchets valorisés en kg/m²/an Périmètre matériaux seuls (gros œuvre et second œuvre) par m² et par an

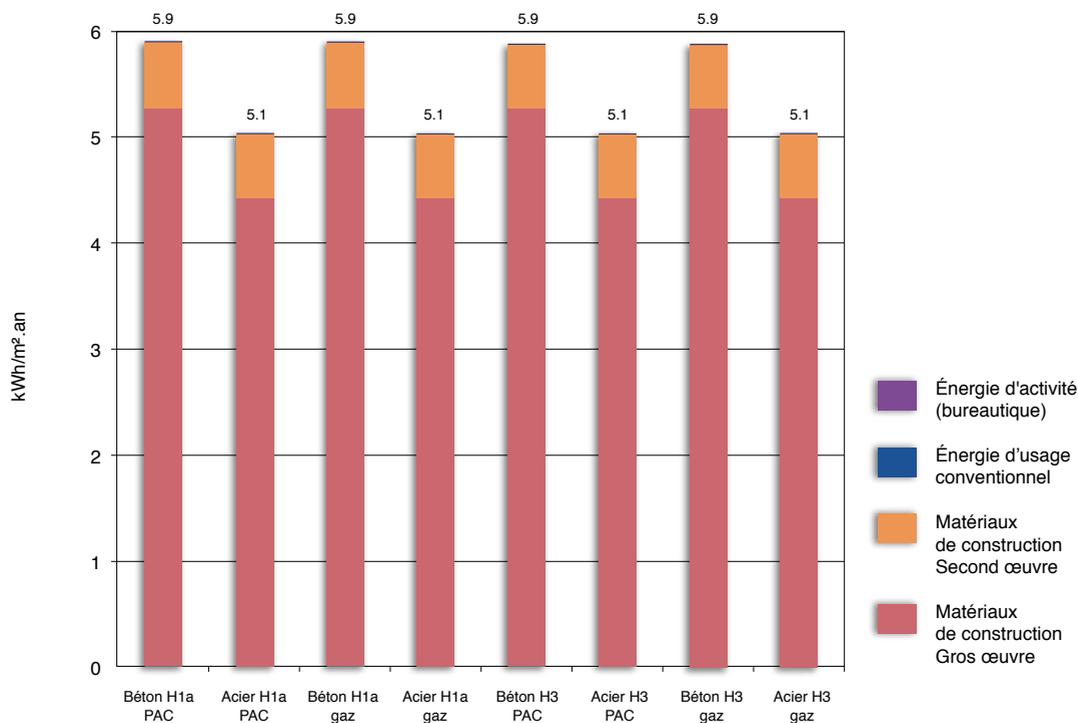
Pour le périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre), le bâtiment béton produit sur l'ensemble de cycle de vie 18 % de plus de déchets valorisés que le bâtiment acier. Cette différence n'est pas significative au regard du seuil minimum de significativité de 20 %.

Cette différence non significative est due aux différents taux de valorisation des matériaux et à la masse totale des matériaux, masse qui est plus importante dans le cas du bâtiment béton que dans le cas du bâtiment acier.

Pour le bâtiment béton, le béton valorisé en fin de vie représente environ 87 % des déchets valorisés. Pour le bâtiment acier, le béton représente environ 67 % des déchets valorisés, la structure acier représente 18 %.

Note : dans les FDES utilisées, l'acier à béton est par hypothèse mis en décharge en fin de vie, alors qu'il devrait être valorisé comme le béton à 42 %. Une valorisation de 42 % de cet acier représenterait 69 tonnes pour la solution béton et 34 tonnes pour la solution acier, soit respectivement 1,3 % et 0,73 % de déchets valorisés en plus.

### 5.3.5.2 - Périmètre global



**Figure 20: production totale de déchets valorisés  
Périmètre global par m<sup>2</sup> et par an - Ensemble des cas étudiés**

Il n'y a pas de différence entre équipements gaz et PAC car la production d'électricité ou de gaz produit très peu de déchets valorisés.

En moyenne, l'énergie d'usage et l'énergie d'activité cumulées représentent moins de 0,3 %. Pour une même zone climatique et un même équipement, le bâtiment acier produit 18 % de déchets valorisés en moins pour l'équipement PAC et pour l'équipement gaz par rapport au bâtiment béton, ce qui n'est pas un écart significatif.

Les matériaux de construction (gros œuvre et second œuvre) représentent environ 100 % de la production de déchets (respectivement 90 % pour le gros œuvre et 10 % pour le second œuvre). Les déchets valorisés selon la nature des équipements, notamment les générateurs (PAC vs chauffage gaz) ne sont pas considérés.

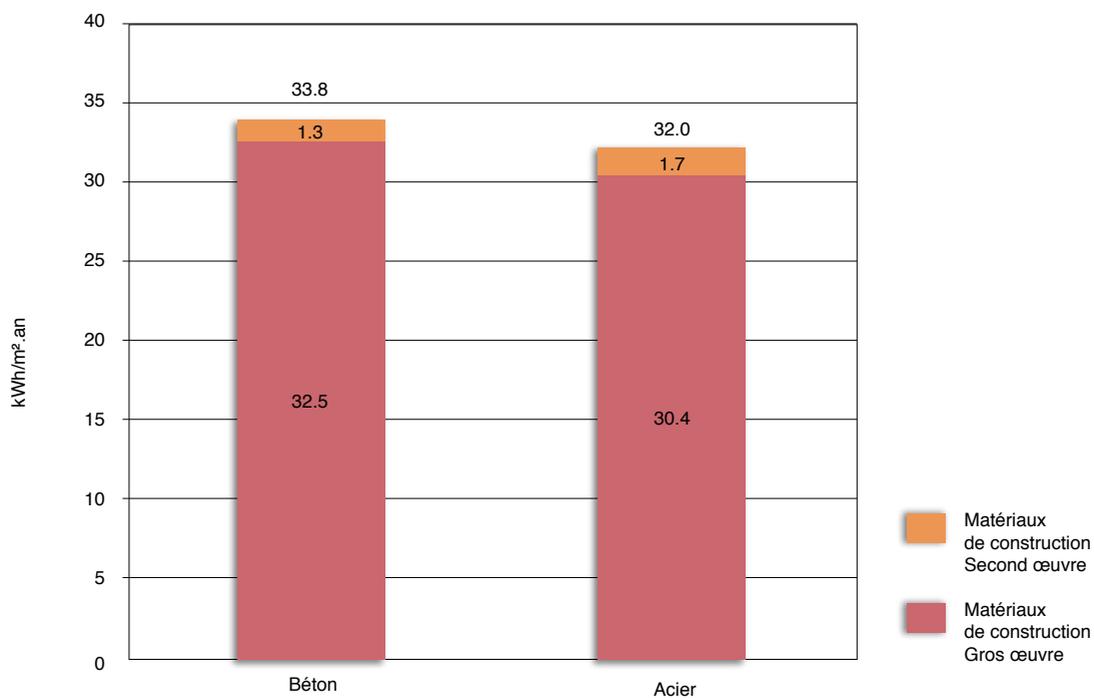
La part des déchets valorisés de la solution béton est de 14 % par rapport aux déchets totaux, et de 13 % pour la solution acier.

### 5.3.6 - Production totale de déchets éliminés

**Tableau 20 : indicateur Production totale des déchets éliminés**

Unité		<b>Béton H1a PAC</b>	<b>Acier H1a PAC</b>	<b>Béton H1a gaz</b>	<b>Acier H1a gaz</b>	<b>Béton H3 PAC</b>	<b>Acier H3 PAC</b>	<b>Béton H3 gaz</b>	<b>Acier H3 gaz</b>
tonnes (ensemble du bâtiment pour 100 ans)	Matériaux de construction - Gros œuvre	3,0E+04	2,8E+04	3,0E+04	2,8E+04	3,0E+04	2,8E+04	3,0E+04	2,8E+04
	Matériaux de construction - Second œuvre	1,2E+03	1,6E+03	1,2E+03	1,6E+03	1,2E+03	1,6E+03	1,2E+03	1,6E+03
	Énergie d'usage conventionnel	4,6E+02	4,8E+02	3,9E+02	4,0E+02	5,2E+02	5,5E+02	4,8E+02	5,0E+02
	Énergie d'activité (bureautique)	4,6E+02	4,6E+02	4,6E+02	4,6E+02	4,6E+02	4,6E+02	4,6E+02	4,6E+02
	<b>Déchets éliminés totaux</b>	3,2E+04	3,1E+04	3,2E+04	3,1E+04	3,2E+04	3,1E+04	3,2E+04	3,1E+04
kg/m <sup>2</sup> /an	Matériaux de construction - Gros œuvre	3,2E+01	3,0E+01	3,2E+01	3,0E+01	3,2E+01	3,0E+01	3,2E+01	3,0E+01
	Matériaux de construction - Second œuvre	1,3E+00	1,7E+00	1,3E+00	1,7E+00	1,3E+00	1,7E+00	1,3E+00	1,7E+00
	Énergie d'usage conventionnel	4,9E-01	5,2E-01	4,2E-01	4,4E-01	5,6E-01	5,9E-01	5,2E-01	5,4E-01
	Énergie d'activité (bureautique)	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01
	<b>Déchets éliminés totaux</b>	3,5E+01	3,3E+01	3,5E+01	3,3E+01	3,5E+01	3,3E+01	3,5E+01	3,3E+01

### 5.3.6.1 - Périmètre matériaux

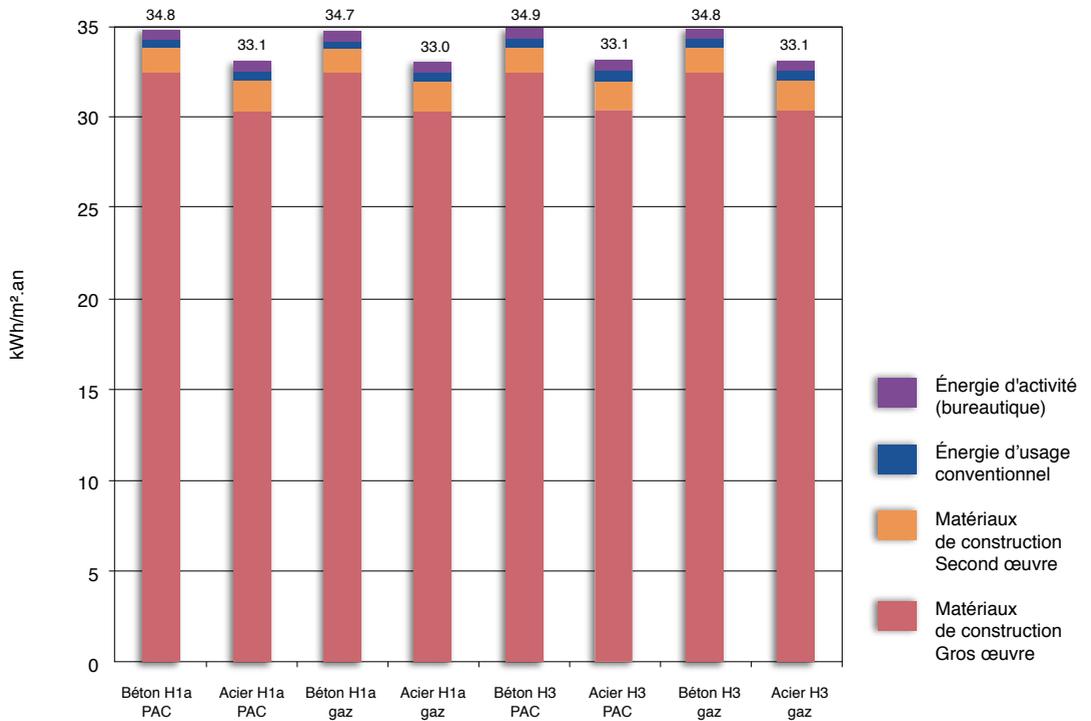


**Figure 21 : production totale de déchets éliminés en kg/m<sup>2</sup>/an  
Périmètre matériaux seuls (gros œuvre et second œuvre) par m<sup>2</sup> et par an**

Pour le périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre), le bâtiment acier présente une production de déchets 5 % inférieure à celle du bâtiment béton. Cette différence n'est pas significative au regard du seuil minimum de significativité de 20 %.

Le bâtiment béton est en effet plus lourd et présente un taux de déchets valorisés du même ordre de grandeur que le bâtiment acier.

5.3.6.2 - Périmètre global



**Figure 22 : production totale de déchets éliminés en tonnes/m²/an Périmètre global par m² et par an - Ensemble des cas étudiés**

La solution béton est plus lourde, c'est pourquoi cet indicateur est favorable à la solution acier sans être significativement différenciant. Il n'y a pas de différence entre équipements gaz et PAC car la production d'électricité ou de gaz produit très peu de déchets.

En moyenne, l'énergie d'usage représente 2 % du total, et l'énergie d'activité 1 %. Pour une même zone climatique et un même équipement, le bâtiment acier produit 5 % moins de déchets pour l'équipement PAC et pour l'équipement gaz par rapport au bâtiment béton, ce qui n'est pas un écart significatif.

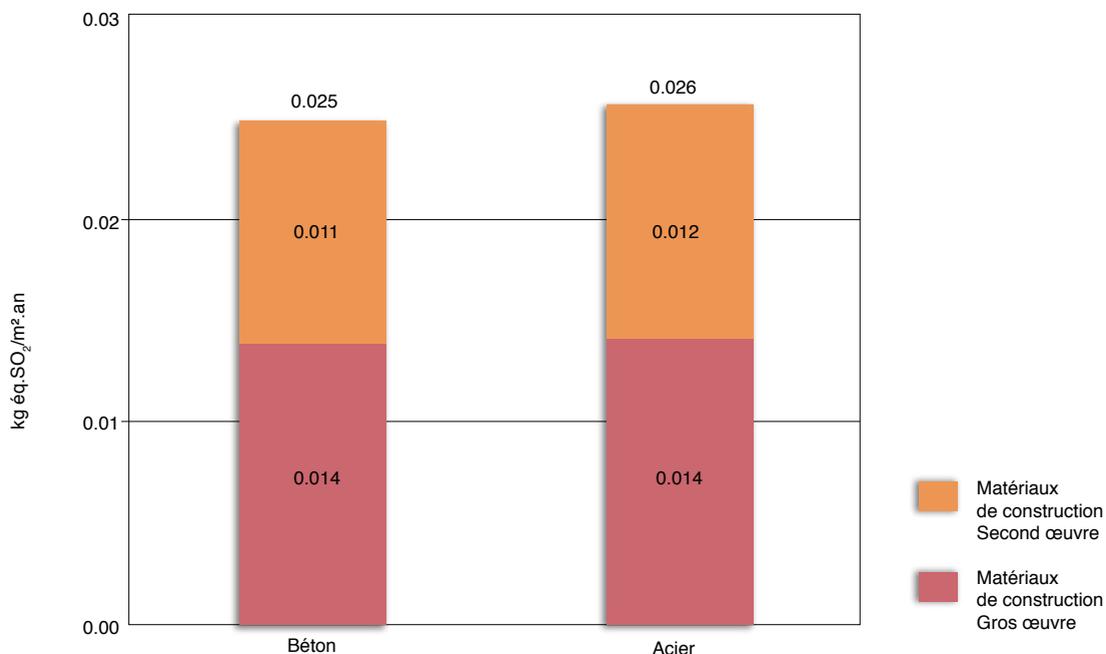
Les matériaux de construction (gros œuvre et second œuvre) représentent environ 97 % de la production de déchets (respectivement 93 % pour le gros œuvre et 4 % pour le second œuvre).

## 5.3.7 - Acidification atmosphérique

**Tableau 21 : indicateur Acidification atmosphérique**

Unité		<b>Béton H1a PAC</b>	<b>Acier H1a PAC</b>	<b>Béton H1a gaz</b>	<b>Acier H1a gaz</b>	<b>Béton H3 PAC</b>	<b>Acier H3 PAC</b>	<b>Béton H3 gaz</b>	<b>Acier H3 gaz</b>
tonnes éq. SO <sub>2</sub> (ensemble du bâtiment pour 100 ans)	Matériaux de construction - Gros œuvre	1,3E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,3E+01
	Matériaux de construction - Second œuvre	1,0E+01	1,1E+01	1,0E+01	1,1E+01	1,0E+01	1,1E+01	1,0E+01	1,1E+01
	Énergie d'usage conventionnel	2,4E+01	2,5E+01	2,3E+01	2,4E+01	2,7E+01	2,8E+01	2,6E+01	2,7E+01
	Énergie d'activité (bureautique)	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01
	<b>Acidification atmosphérique totale</b>	<b>7,1E+01</b>	<b>7,3E+01</b>	<b>7,0E+01</b>	<b>7,2E+01</b>	<b>7,4E+01</b>	<b>7,6E+01</b>	<b>7,3E+01</b>	<b>7,5E+01</b>
kg éq. SO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> / an	Matériaux de construction - Gros œuvre	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02
	Matériaux de construction - Second œuvre	1,1E-02	1,2E-02	1,1E-02	1,2E-02	1,1E-02	1,2E-02	1,1E-02	1,2E-02
	Énergie d'usage conventionnel	2,6E-02	2,7E-02	2,5E-02	2,6E-02	2,9E-02	3,1E-02	2,8E-02	2,9E-02
	Énergie d'activité (bureautique)	2,6E-02	2,6E-02	2,6E-02	2,6E-02	2,6E-02	2,6E-02	2,6E-02	2,6E-02
	<b>Acidification atmosphérique totale</b>	<b>7,6E-02</b>	<b>7,9E-02</b>	<b>7,5E-02</b>	<b>7,7E-02</b>	<b>8,0E-02</b>	<b>8,2E-02</b>	<b>7,9E-02</b>	<b>8,1E-02</b>

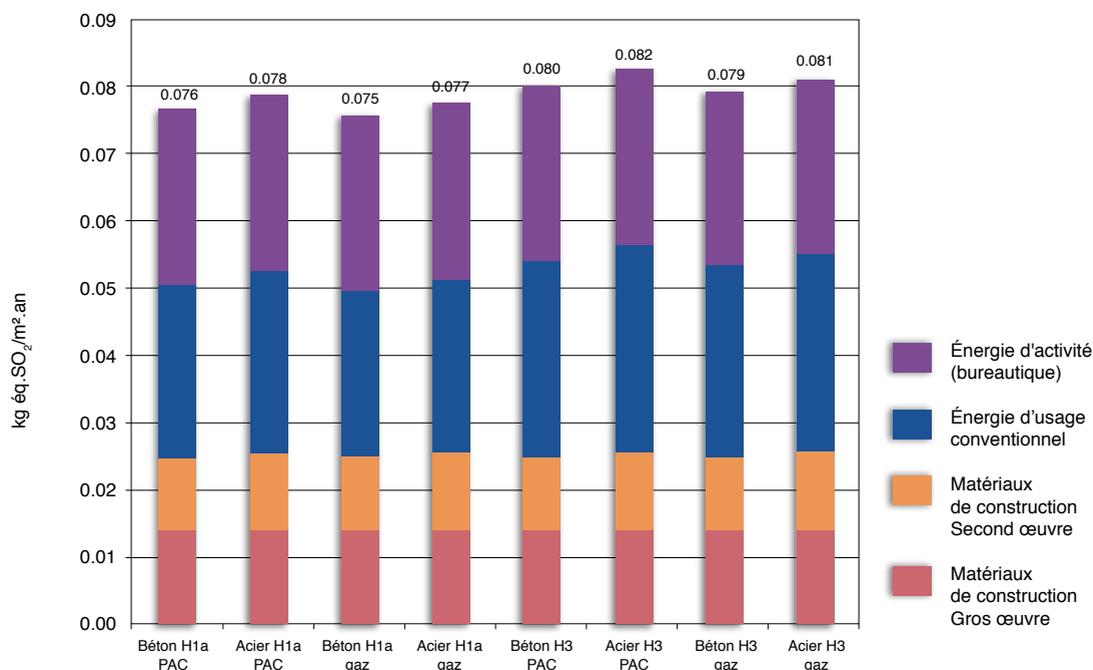
### 5.3.7.1 - Périmètre matériaux



**Figure 23 : acidification atmosphérique en kg eq. SO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an  
Périmètre matériaux seuls (gros œuvre et second œuvre) par m<sup>2</sup> et par an.**

Pour le périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre), le bâtiment acier présente un impact acidification atmosphérique 4 % supérieur à celui du bâtiment béton. Ces deux écarts ne sont cependant pas significatifs au regard du seuil de 20 %.

### 5.3.7.2 - Périmètre global



**Figure 24 : acidification atmosphérique en kg eq. SO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an  
Périmètre global par m<sup>2</sup> et par an - Ensemble des cas étudiés**

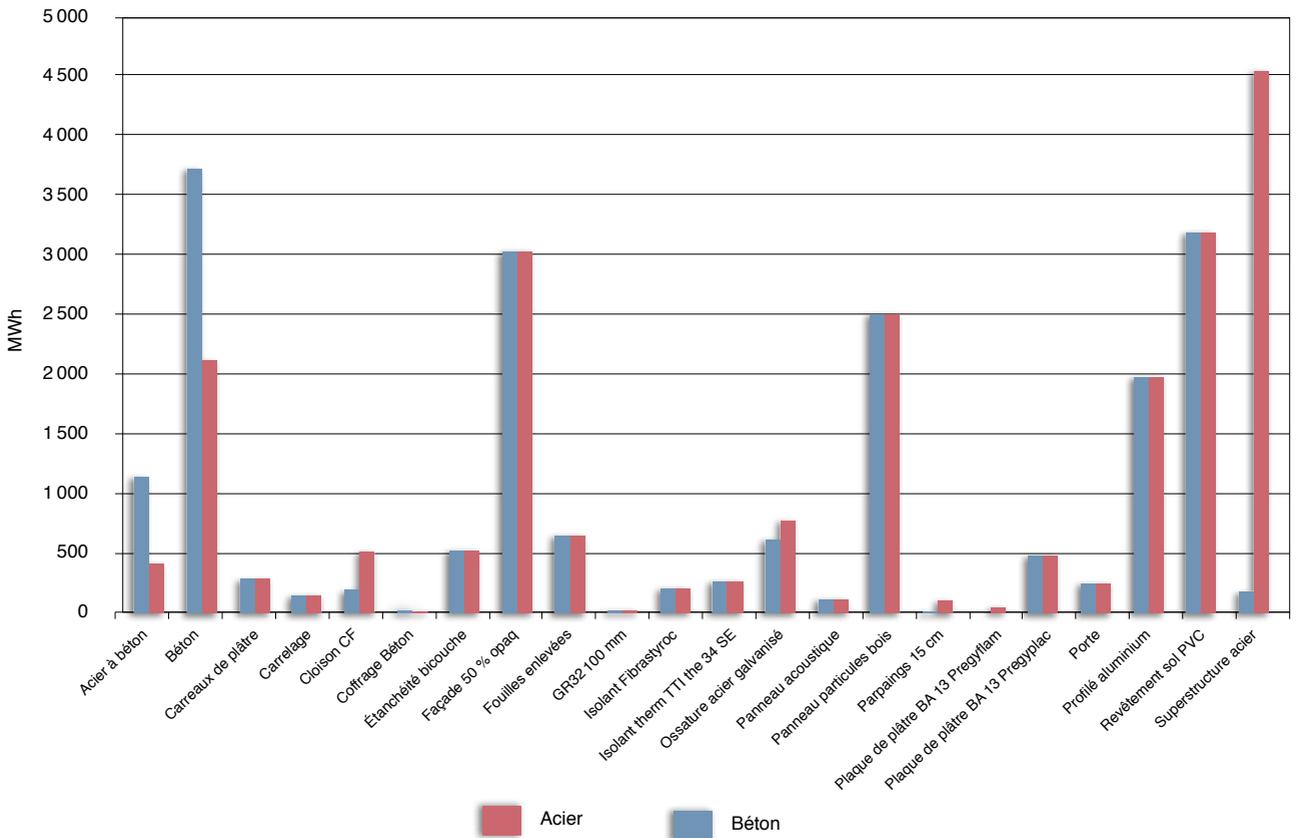
La différence entre équipements au sein d'une même zone climatique et d'un même bâtiment est faible (inférieure à 2 %).

En moyenne, l'énergie d'usage représente 35 % du total de l'acidification atmosphérique, et l'énergie d'activité 33 %. Pour une même zone climatique et un même équipement, le bâtiment acier a un impact acidification atmosphérique 4 % supérieur pour l'équipement PAC et pour l'équipement gaz par rapport au bâtiment béton, ce qui n'est pas un écart significatif.

Les matériaux de construction (gros œuvre et second œuvre) représentent environ 33 % de l'acidification atmosphérique (respectivement 18 % pour le gros œuvre et 15 % pour le second œuvre).

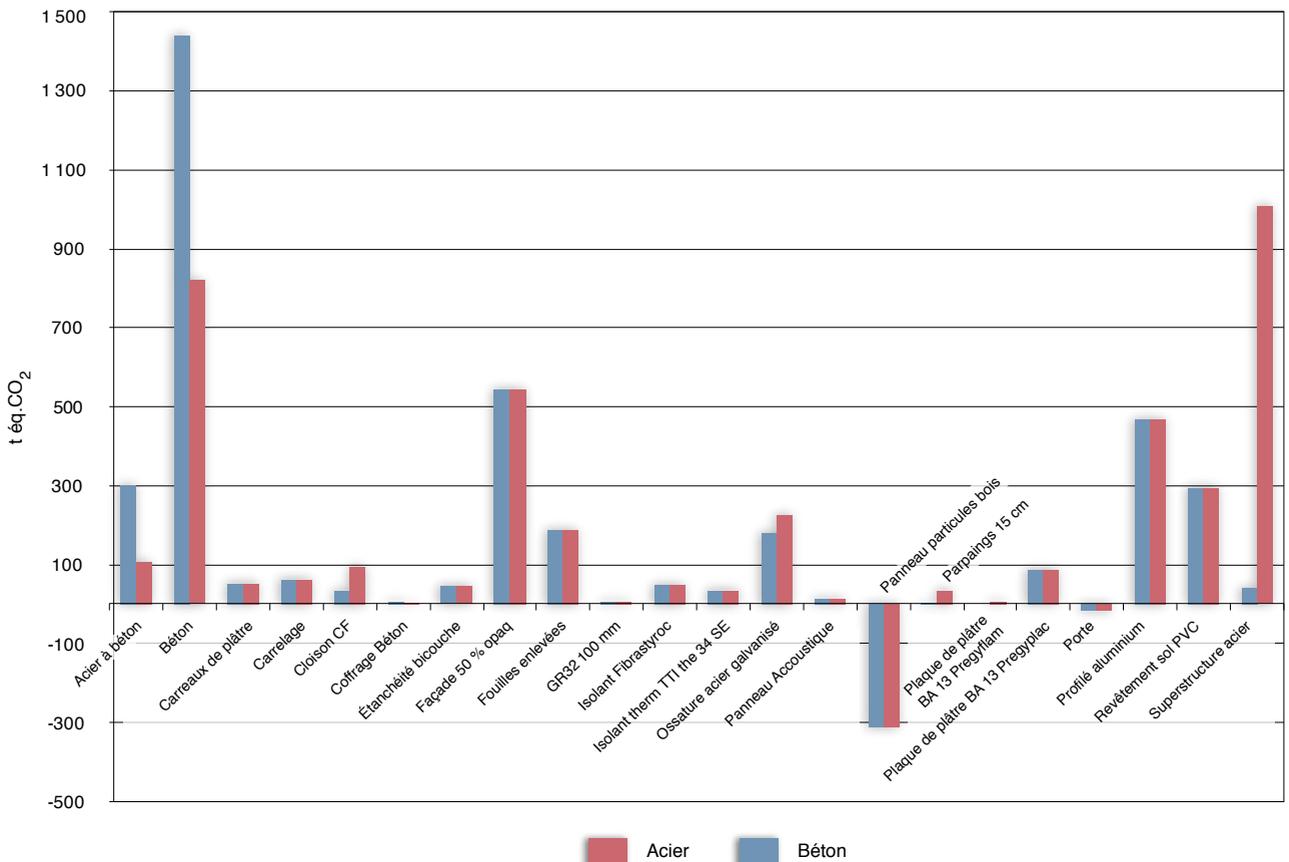
### 5.3.8 - Détails par matériau et par sous-ensemble

Les deux graphes ci-après présentent le détail des impacts par matériaux pour les indicateurs énergie primaire totale et changement climatique. Ces graphes sont indépendants des scénarios (zone climatique, équipements énergétiques) car les hypothèses et données sur les matériaux sont identiques.



**Figure 25 : énergie primaire totale en MWh - périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre) - détail par matériau, pour l'ensemble du bâtiment pour 100 ans**

Les trois types de béton utilisés sont regroupés dans la catégorie béton. Cette catégorie représente 18,5 % de la consommation d'énergie primaire totale pour le bâtiment béton et 9,5 % de celle du bâtiment acier. Cette catégorie n'inclut pas les armatures qui sont comptabilisées dans « acier à béton ». Les armatures des DAP sont incluses dans la catégorie DAP qui rassemble béton et armatures.



**Figure 26 : changement climatique en tonnes éq. CO<sub>2</sub> - périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre) - détail par matériau, pour l'ensemble du bâtiment pour 100 ans**

La solution béton comporte plus de béton mais dans une faible proportion par rapport à l'autre bâtiment. En effet, les deux bâtiments possèdent les mêmes fondations en béton.

L'acier à béton est utilisé en plus grande quantité dans le bâtiment béton que dans le bâtiment acier.

Les planchers du bâtiment acier sont construits en bac collaborant. Les quantités d'acier et de béton correspondant à ces planchers sont incluses respectivement dans la superstructure acier et dans le béton total.

L'acier galvanisé est présent en plus grande quantité dans le bâtiment acier car il est utilisé pour les coffrements des poutres et poteaux et les faux plafonds (en moyenne 6 % des impacts). Mais il est également utilisé pour le plancher technique (vétrins) d'où un faible écart relatif entre solutions.

Les panneaux de particules bois sont utilisés pour le plancher technique et pour les portes des placards. Cette catégorie n'est donc pas différenciante entre les deux bâtiments étudiés. L'hypothèse de stockage du CO<sub>2</sub> en fin de vie entraîne un impact changement climatique négatif.

Les carreaux de plâtre font partie de la façade et sont donc identiques pour les deux bâtiments.

Les façades sont identiques et représentent un impact non négligeable du total d'énergie primaire (respectivement 15,1 % pour le bâtiment béton et 13 % pour le bâtiment acier).

La partie acier du plancher technique est incluse dans la catégorie structure acier, c'est pourquoi cette catégorie n'est pas nulle pour la solution béton.

Les cloisons coupe-feu intègrent également les plaques de BA 15 des encoffrements et des faux plafonds d'où la différence entre solutions.

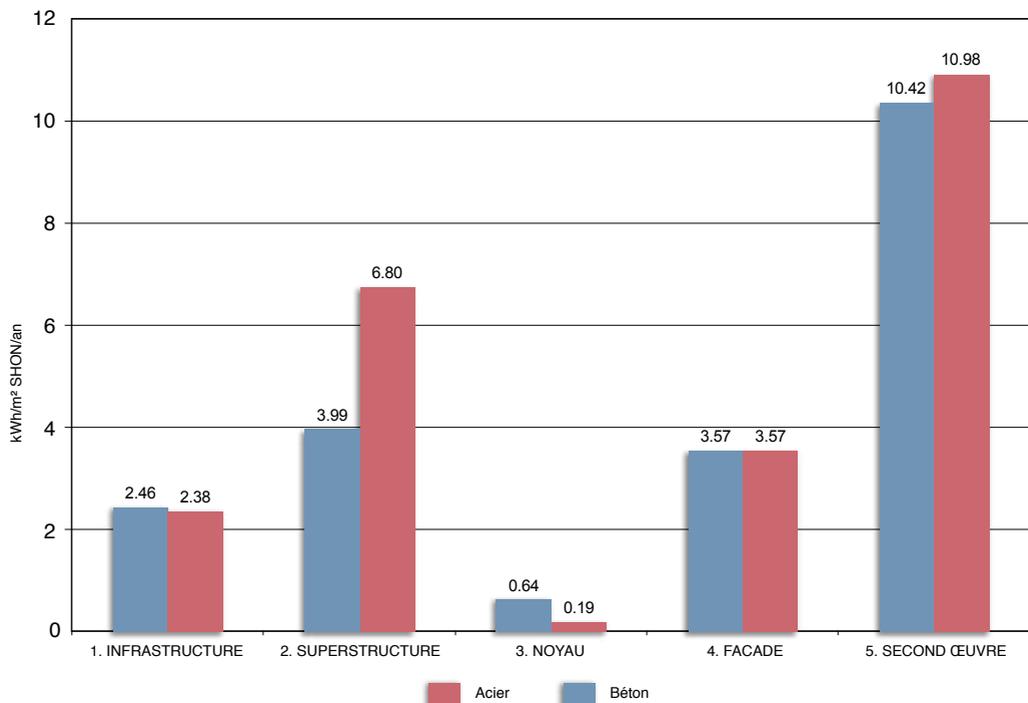
Les plaques de BA 13 sont utilisées pour le cloisonnement des bureaux (plaque de plâtre et panneaux acoustiques). La quantité est donc la même pour les deux solutions.

Les portes sont en bois et intègrent donc l'hypothèse de stockage du CO<sub>2</sub> en fin de vie.

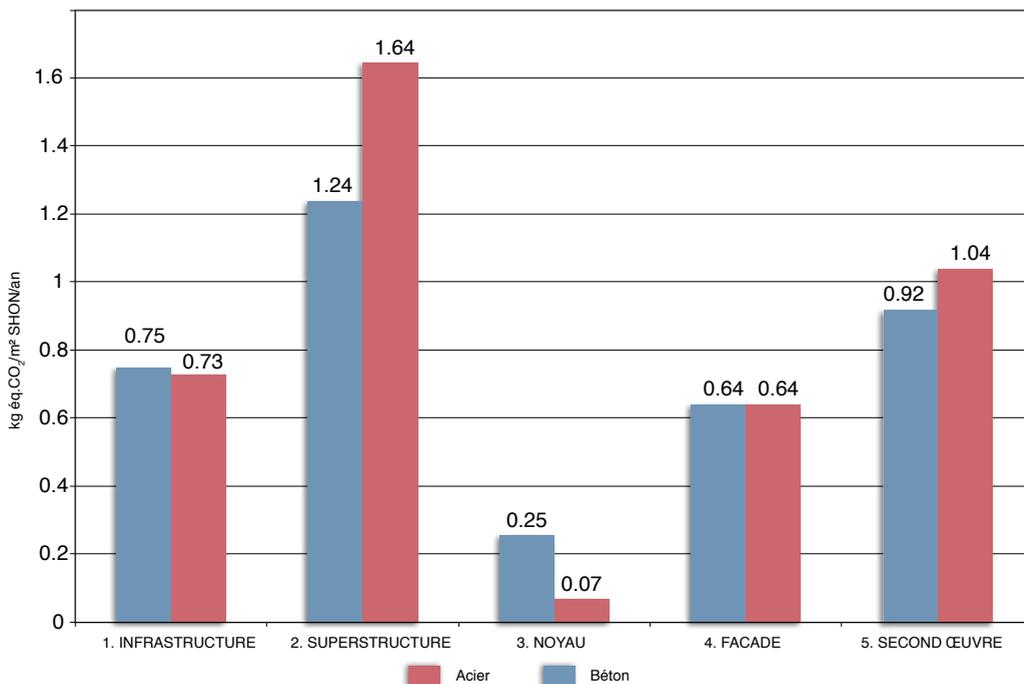
Les profilés aluminium font partie du plancher technique.

Le revêtement de sol PVC représente 15 % des impacts.

Les blocs béton sont utilisés spécifiquement dans la solution acier pour le noyau d'où la plus grande quantité pour la solution acier.



**Figure 27 : énergie primaire totale en kWh/m<sup>2</sup>/an - Périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre) - détail par sous-ensembles du bâtiment**



**Figure 28: changement climatique (kg eq. CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an) - Périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre) - détail par sous-ensembles du bâtiment**

- Le découpage par sous-ensemble du bâtiment fait ressortir les éléments suivants :
- l'impact du second œuvre est très important ;
  - l'écart majeur entre le bâtiment béton et le bâtiment acier se trouve au niveau de la superstructure (forte consommation d'énergie et impact changement climatique supérieur pour la structure acier).
  - l'écart pour le second œuvre est dû aux encoffrements de la structure acier.
  - le noyau de la solution acier est moins impactant car moins lourd (structure acier+ bloc béton) que celui de la solution béton (composé de béton coulé en place).

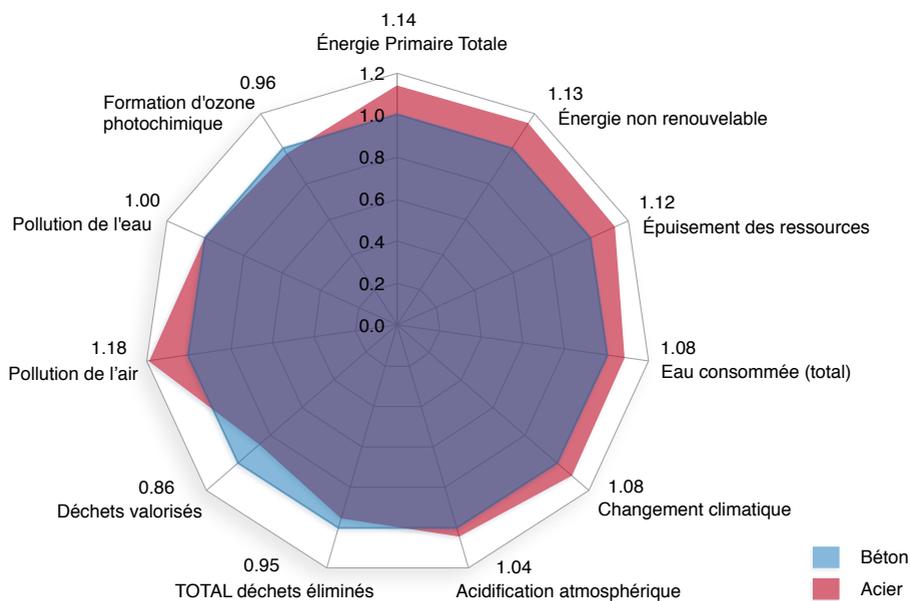
Cependant, il convient de préciser que les écarts obtenus dans ce découpage (13 % pour l'énergie primaire totale et 10 % pour le changement climatique) ne sont pas significatifs au regard du seuil de 20 %,

### 5.3.9 - Présentation sous forme de radar des 11 indicateurs

Les résultats pour les 11 indicateurs décrits au paragraphe 5.1 sont présentés ci-dessous. Comme indiqué dans le tableau du paragraphe 5.1, on rappelle que les 4 indicateurs pollution de l'eau, pollution de l'air, eau consommée et ozone

photochimique ont été jugés moins pertinents que les autres dans le cadre de cette étude. De ce fait, les résultats pour ces indicateurs sont donnés à titre d'information. Plus encore que pour les autres indicateurs, l'analyse des résultats obtenus pour ces 4 indicateurs doit être faite avec prudence et en tenant compte des limites de l'étude.

### 5.3.9.1 - Périmètre matériaux



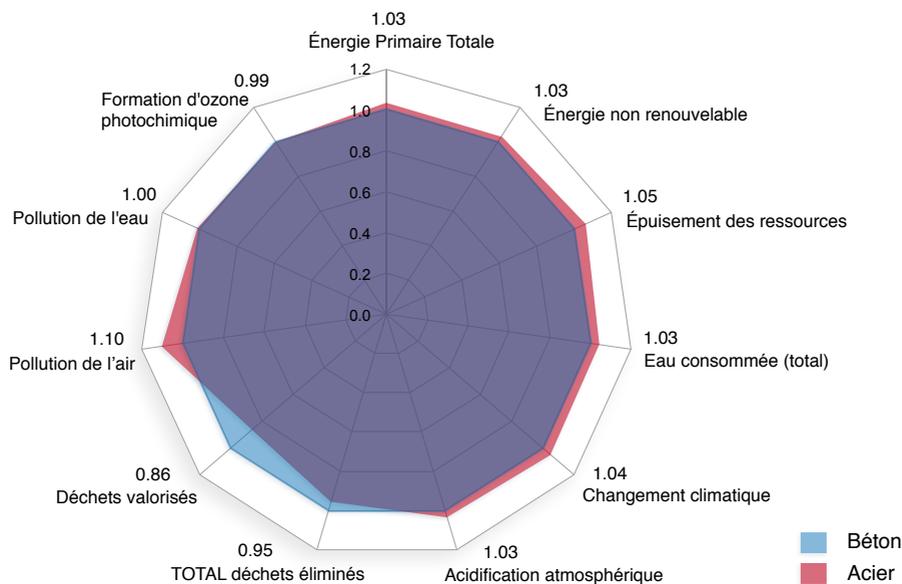
**Figure 29: ensemble des 11 indicateurs**  
**Périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre) - Présentation sous forme de radar**

Cette présentation sous forme de radar prend le bâtiment béton comme référence, ce qui donne la valeur 1 pour chaque indicateur. En comparaison, les impacts du bâtiment acier sont représentés proportionnellement à ceux du bâtiment béton. Les chiffres affichés donnent les valeurs des impacts du bâtiment acier par rapport à ceux du bâtiment béton.

On note que les écarts, négatifs ou positifs, sont compris entre 0 % et 18 % pour l'ensemble des indicateurs.

Au regard du seuil de signification de 20 %, la différence d'impact n'est pas significative entre les deux bâtiments.

### 5.3.9.2 - Périmètre global



**Figure 30: ensemble des 11 indicateurs - Périmètre global - Présentation sous forme de radar pour les solutions béton et acier en zone H1a et équipement PAC**

De même que pour la présentation sous forme de radar pour les matériaux seuls, cette présentation prend le bâtiment béton comme référence, ce qui donne la valeur 1 pour chaque indicateur. En comparaison, les impacts du bâtiment acier sont représentés proportionnellement à ceux du bâtiment béton. Les chiffres affichés donnent les valeurs des impacts du bâtiment acier par rapport à ceux du bâtiment béton.

On note que les écarts, négatifs ou positifs, sont compris entre 0 % et 14 % pour l'ensemble des indicateurs. Il y a peu de différences avec le radar précédent si ce n'est que les écarts relatifs sont plus faibles, étant donné que les énergies d'usage et énergie spécifique ont été ajoutées aux impacts des matériaux.

Au regard du seuil de signification de 20 %, la différence d'impact n'est pas significative entre les deux bâtiments.



Chapitre

6

# Analyses complémentaires

Les analyses complémentaires réalisées sont les suivantes :

- analyse de sensibilité sur la durée de vie de l'ouvrage ;
- classement des matériaux de construction (gros œuvre et second œuvre) par lot et prise en compte de contributeurs supplémentaires ;
- influence d'une optimisation de structure ;
- analyse de sensibilité du choix d'infrastructures identiques.

## 6.1 Analyse de sensibilité sur la durée de vie de l'ouvrage

Une analyse de sensibilité est réalisée afin de tester l'influence d'une hypothèse ou d'un paramètre sur les résultats. Ces tests permettent de vérifier la sensibilité des résultats à des variations de paramètres sur lesquels l'incertitude peut être importante.

Le choix de la durée de vie de l'ouvrage influe sur les résultats par :

- le renouvellement des matériaux au cours de la vie du bâtiment (essentiellement le second œuvre et la façade) ;
- la consommation d'énergie totale liée au fonctionnement du bâtiment (énergie d'usage et d'activité).

La durée de vie a été fixée à 100 ans dans cette étude. Le choix d'une durée de vie inférieure permet de réduire l'incertitude telle que décrit dans le paragraphe 4.3.1.1. L'autre valeur de la durée de vie courante pour les études de ce type est 50 ans. C'est cette durée de vie qui a été choisie pour l'exploitation des résultats de l'étude HQE Performance. Afin d'analyser la sensibilité des résultats à ce paramètre, nous avons recalculé les résultats pour une durée de vie de 50 ans.

Les résultats pour la consommation d'énergie primaire totale et l'indicateur changement climatique sont indiqués dans le tableau ci-après.

**Tableau 22 : indicateur Énergie primaire totale**

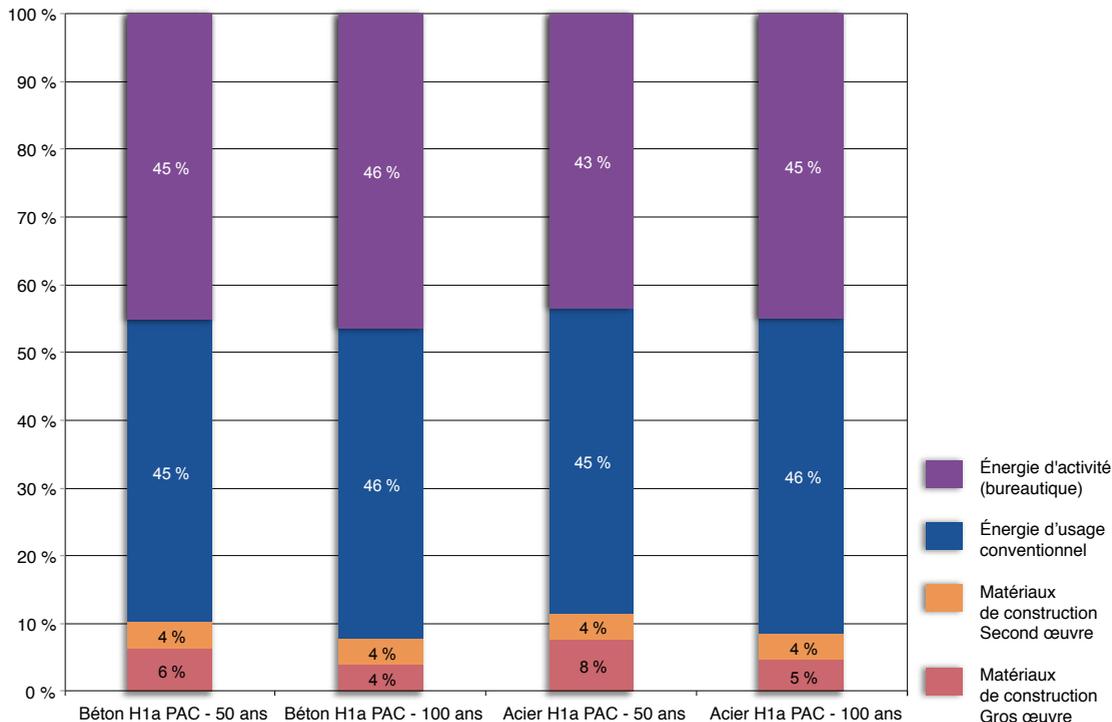
<b>Unité</b>		<b>Béton H1a PAC</b>	<b>Acier H1a PAC</b>	<b>Béton H1a gaz</b>	<b>Acier H1a gaz</b>	<b>Béton H3 PAC</b>	<b>Acier H3 PAC</b>	<b>Béton H3 gaz</b>	<b>Acier H3 gaz</b>
MWh (pour l'ensemble du bâtiment pour 50 ans)	Matériaux de construction - Gros œuvre	8,2E+03	1,0E+04	8,2E+03	1,0E+04	8,2E+03	1,0E+04	8,2E+03	1,0E+04
	Matériaux de construction - Second œuvre	4,9E+03	5,2E+03	4,9E+03	5,2E+03	4,9E+03	5,2E+03	4,9E+03	5,2E+03
	Énergie d'usage conventionnel	5,7E+04	6,0E+04	5,5E+04	5,7E+04	6,5E+04	6,9E+04	6,3E+04	6,6E+04
	Énergie d'activité (bureautique)	5,8E+04	5,8E+04	5,8E+04	5,8E+04	5,8E+04	5,8E+04	5,8E+04	5,8E+04
	<b>Total EPT</b>	1,3E+05	1,3E+05	1,3E+05	1,3E+05	1,4E+05	1,4E+05	1,3E+05	1,4E+05
kWh/m <sup>2</sup> / an	Matériaux de construction - Gros œuvre	1,8E+01	2,2E+01	1,8E+01	2,2E+01	1,8E+01	2,2E+01	1,8E+01	2,2E+01
	Matériaux de construction - Second œuvre	1,1E+01	1,1E+01	1,1E+01	1,1E+01	1,1E+01	1,1E+01	1,1E+01	1,1E+01
	Énergie d'usage conventionnel	1,2E+02	1,3E+02	1,2E+02	1,2E+02	1,4E+02	1,5E+02	1,4E+02	1,4E+02
	Énergie d'activité (bureautique)	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02	1,3E+02
	<b>Total EPT</b>	2,8E+02	2,9E+02	2,7E+02	2,8E+02	2,9E+02	3,1E+02	2,9E+02	3,0E+02

**Tableau 23 : indicateur Changement climatique**

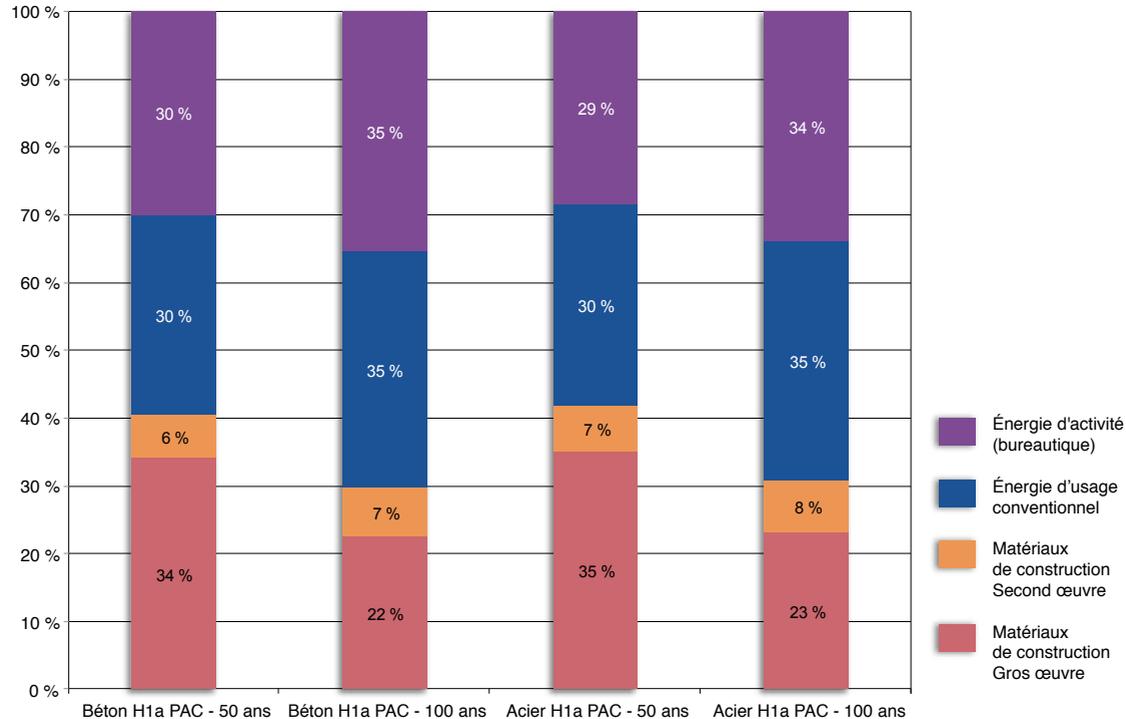
Unité		Béton H1a PAC	Acier H1a PAC	Béton H1a gaz	Acier H1a gaz	Béton H3 PAC	Acier H3 PAC	Béton H3 gaz	Acier H3 gaz
tonnes éq. CO <sub>2</sub> (pour l'ensemble du bâtiment pour 50 ans)	Matériaux de construction - Gros œuvre	2,4E+03	2,6E+03	2,4E+03	2,6E+03	2,4E+03	2,6E+03	2,4E+03	2,6E+03
	Matériaux de construction - Second œuvre	4,5E+02	5,0E+02	4,5E+02	5,0E+02	4,5E+02	5,0E+02	4,5E+02	5,0E+02
	Énergie d'usage conventionnel	2,1E+03	2,2E+03	2,8E+03	3,0E+03	2,4E+03	2,5E+03	2,6E+03	2,8E+03
	Énergie d'activité (bureautique)	2,1E+03	2,1E+03	2,1E+03	2,1E+03	2,1E+03	2,1E+03	2,1E+03	2,1E+03
	<b>Total Changement climatique</b>	7,0E+03	7,4E+03	7,8E+03	8,2E+03	7,3E+03	7,7E+03	7,6E+03	7,9E+03
kg éq. CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> / an	Matériaux de construction - Gros œuvre	5,2E+00	5,6E+00	5,2E+00	5,6E+00	5,2E+00	5,6E+00	5,2E+00	5,6E+00
	Matériaux de construction - Second œuvre	9,6E-01	1,1E+00	9,6E-01	1,1E+00	9,6E-01	1,1E+00	9,6E-01	1,1E+00
	Énergie d'usage conventionnel	4,5E+00	4,7E+00	6,1E+00	6,4E+00	5,1E+00	5,4E+00	5,7E+00	5,9E+00
	Énergie d'activité (bureautique)	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00	4,5E+00
	<b>Total Changement climatique</b>	1,5E+01	1,6E+01	1,7E+01	1,8E+01	1,6E+01	1,7E+01	1,6E+01	1,7E+01

La figure 31 présente les contributions relatives des différents postes pour une durée de vie de 50 ans et une durée de vie de 100 ans. La consommation d'énergie pendant la vie en œuvre étant le principal contributeur, une durée de vie plus faible augmente en proportion la contribution des matériaux de construction de gros œuvre non renouvelés. La part des matériaux de gros œuvre passe ainsi de 4-5 % pour une durée de vie de 100 ans, à 6-8 % pour une durée de vie de 50 ans.

Les variations relatives suivent le même ordre pour les contributions au changement climatique (figure 32). La part des matériaux de construction varie de 22-23 % à 34-35 % pour des durées de vie respectives de 100 et 50 ans.



**Figure 31 : comparaison des consommations relatives d'énergie primaire des différents postes en fonction de deux durées de vie : 50 et 100 ans**



**Figure 32 : comparaison des contributions relatives au changement climatique des différents postes en fonction de deux durées de vie : 50 et 100 ans**

On peut donc conclure de cette analyse de sensibilité que la durée de vie influence principalement la contribution des matériaux de gros œuvre par rapport aux résultats totaux. Une multiplication par 2 de la durée de vie entraîne un renouvellement quasi doublé des matériaux de second œuvre, et un doublement de l'énergie consommée pendant la vie en œuvre. Le non-renouvellement des matériaux de gros œuvre conduit à réduire leur part relative lors du passage de 50 à 100 ans.

## 6.2 Contributions des matériaux par lots

Afin de pouvoir comparer les résultats des impacts liés aux matériaux à d'autres études disponibles, il est proposé ici un redécoupage des contributions des matériaux selon les lots considérés dans l'étude HQE Performance, suite à la demande de la revue critique. Cependant ce découpage ne permet pas une comparaison directe entre les deux solutions pour la structure et la toiture qui comprennent des éléments communs aux deux lots.

### 6.2.1 - Découpage par lots des résultats de l'étude

---

<b>Tableau 24 : énergie primaire totale par lots (kWh/m<sup>2</sup> SHON/an)</b>		
<b>Lot</b>	<b>Béton</b>	<b>Acier</b>
Chape – Revêtements intérieurs des sols et murs – Peinture	8.44	8.44
Cloisonnement – Plafonds suspendus – Menuiseries intérieures	2.09	2.66
Fondations et infrastructure	0.70	0.70
Isolation	0.53	0.53
Structure – Maçonnerie – Gros-œuvre	8.73	11.01
Toiture : Charpente – Couverture – Étanchéité	0.57	0.57

**Tableau 25 : Changement climatique (en kg éq. CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> SHON/an) par lot**

<b>Lot</b>	<b>Béton</b>	<b>Acier</b>
Chape – Revêtements intérieurs des sols et murs – Peinture	0.55	0.55
Cloisonnement – Plafonds suspendus – Menuiseries intérie	0.38	0.50
Fondations et infrastructure	0.20	0.20
Isolation	0.10	0.10
Structure – Maçonnerie – Gros-œuvre	2.52	2.72
Toiture : Charpente – Couverture – Étanchéité	0.05	0.05

## 6.2.2 - Résultats complémentaires de HQE Performance

Les premiers résultats de l'étude HQE Performance<sup>9</sup> donnent les valeurs médianes d'énergie primaire non renouvelable pour les lots de réseaux divers et d'aménagements extérieurs et voiries inférieures à 1 kWh/m<sup>2</sup>SHON/an. Ces ordres de grandeur, calculés pour une durée de vie du bâtiment de 50 ans, peuvent être comparés aux valeurs données dans le tableau 24 – Énergie primaire totale par lots (kWh/m<sup>2</sup>SHON/an) – qui représente uniquement les lots inclus dans le périmètre de l'étude, en considérant que l'énergie primaire non renouvelable représente plus de 90 % de l'énergie primaire totale.

# 6.3 Influence d'une optimisation des structures

Nous étudions ici la sensibilité des résultats vis-à-vis d'une optimisation des structures. Une réduction des sections des poteaux et des poutres en acier et en béton est considérée, avec les métrés détaillés dans les tableaux ci-après.

9. Source : présentation des résultats d'HQE Performance du 5 juillet 2011 disponible en ligne sur [http://assohqe.org/hqe/IMG/pdf/110705\\_ResultatsHQEPerf5juillet\\_Diffusion.pdf](http://assohqe.org/hqe/IMG/pdf/110705_ResultatsHQEPerf5juillet_Diffusion.pdf)

**Tableau 26 : réduction des sections des poteaux et des poutres dans le cas d'une superstructure béton**

Section scénario de base	Volume de béton de superstructure, scénario de base (m <sup>3</sup> )	Masse d'acier à béton, scénario de base (kg)	Section scénario optimisé	Volume de béton de superstructure, scénario optimisé (m <sup>3</sup> )	Masse d'acier à béton, scénario optimisé (kg)
C40-45	1 378	163 374	C40-45	1 346	152 485
40 x 40 cm			35 x 35 cm		
40 x 40 cm			30 x 30 cm		

**Tableau 27 : réduction des sections des poteaux et des poutres dans le cas d'une superstructure acier\***

Section scénario de base	Masse d'acier, scénario de base (kg)	Section scénario optimisé	Masse d'acier, scénario optimisé (kg)
S275JR	645 407	S275JR	613 000
HEA 500		HEA 400	
		HEA 340	

\* La superstructure acier comprend également les bacs collaborants en acier qui restent inchangés pour l'optimisation.

Ces variations structurelles donnent les résultats suivants sur la consommation d'énergie primaire totale et l'impact sur le changement climatique, pour le périmètre matériaux pour 100 ans.

**Tableau 28 : variations structurelles en fonction de la consommation d'énergie primaire totale et l'impact sur le changement climatique**

Périmètre matériaux seuls, ensemble du bâtiment pour 100 ans	Béton		Acier	
	Scénario de base	Scénario optimisé	Scénario de base	Scénario optimisé
Énergie primaire totale (MWh)	2.0E+04	1.9E+04	2.2E+04	2.2E+04
Changement climatique (t eq CO <sub>2</sub> )	3.5E+03	3.5E+03	3.8E+03	3.8E+03

L'influence d'une optimisation des structures reste marginale et non significative sur l'énergie primaire totale et le changement climatique.

L'optimisation de la superstructure béton présente une baisse de 7 % de la masse d'acier à béton et de 3 % du volume de béton (poutres, poteaux et coffrage). En

comparaison, l'optimisation de la superstructure acier porte sur une réduction des sections des poteaux, les sections de poutres étant déjà optimisées dans le scénario de base. Cette réduction de section des poteaux en acier représente une baisse de 4 % d'acier de superstructure.

Seule la consommation d'énergie primaire totale de la solution béton affiche une baisse d'environ 10 %, en majeure partie due à la baisse de quantité d'acier à béton utilisée dans le scénario optimisé. Cet écart, seul visible, s'explique par la contribution relative de l'acier à béton à cet indicateur légèrement plus importante que pour l'indicateur de changement climatique, pour lequel le béton a une contribution relative plus importante. La solution acier présente également une baisse de la consommation d'énergie primaire totale d'un ordre de grandeur semblable, mais non visible compte tenu des chiffres significatifs considérés.

Les réductions des impacts pour les autres cas n'apparaissent qu'à partir de la deuxième décimale, soit hors du seuil de significativité. Les écarts quasi nuls entre les deux scénarios, s'expliquent par le fait que l'optimisation engendre des faibles réductions des masses de matériaux utilisés (acier de poutrelle, béton et acier à béton) en proportion de la masse totale des éléments de structure.

## 6.4 Optimisation des infrastructures du bâtiment acier

Comme précisé dans la partie 4.1.1 du rapport, les infrastructures des bâtiments béton et acier sont identiques. L'infrastructure peut être optimisée afin de tirer parti du poids plus faible de la superstructure acier par rapport à la structure acier.

Afin d'estimer la sensibilité des résultats à ce choix de non-optimisation de l'infrastructure du bâtiment acier, un calcul a été effectué.

Tout d'abord, on considère comme bâtiments de base pour la comparaison les deux bâtiments béton et acier optimisés tel que décrits dans l'analyse de sensibilité 6.3, ceci afin d'être cohérent avec les travaux d'optimisation déjà menés.

D'après le rapport de C&E Ingénierie<sup>10</sup>, les éléments principaux d'infrastructure tels que les voiles, les dalles et les poutres sont identiques car leurs dimensions

---

10. CIMbéton, Immeubles tertiaires, Analyse comparative de trois typologies d'ossature, rapport final Ind. B mis à jour le 8 juillet 2011, page 59.

ne sont pas fonction de la descente de charges. Seuls les éléments tels que les poteaux des deux niveaux de sous-sol et le radier sont concernés par un abattement du fait de la structure acier moins lourde que la structure béton.

Sans se livrer à une étude complète sur la structure des fondations qui nécessiterait de définir la qualité du sol, nous avons choisi de mener l'analyse de sensibilité pour un abattement de 50 % de la masse des poteaux et du radier de fondation. Cet abattement de 50 % correspond à une limite haute, le but étant de maximiser les différences pour évaluer si les résultats sont sensibles à cette variation du poids d'une partie des infrastructures.

**Tableau 29 : analyse de sensibilité pour un abattement de 50 % de la masse des poteaux et du radier de fondation**

<b>Éléments d'infrastructure pour le bâtiment acier</b>	<b>Quantité scénario initial</b>	<b>Quantité scénario optimisé (abattement de 50 % pour les poteaux et le radier de fondation)</b>
<b>Acier à béton</b>	79968 kg	60877 kg
<b>CEM II C 30 37</b>	476 m <sup>3</sup>	476 m <sup>3</sup>
<b>CEM II C 40 50</b>	26 m <sup>3</sup>	13 m <sup>3</sup>
<b>CEM III B C35 45</b>	1 282 m <sup>3</sup>	869 m <sup>3</sup>
<b>Coffrage béton</b>	5 528 m <sup>2</sup>	5 393 m <sup>2</sup>
<b>Blocs béton</b>	58 m <sup>2</sup>	58 m <sup>2</sup>
<b>Fouilles enlevées</b>	12 324 m <sup>3</sup>	12 324 m <sup>3</sup>

On obtient les résultats ci-dessous.

**Tableau 30 : résultats de l'abattement de 50 % de la masse des poteaux et du radier de fondation**

<b>Indicateur</b>	<b>Unité</b>	<b>Bâtiment béton scénario initial (super-structure optimisée)</b>	<b>Bâtiment acier scénario optimisé (superstructure optimisée et infrastructure optimisée au niveau des poteaux et du radier)</b>	<b>Écart relatif du bâtiment acier par rapport au bâtiment béton</b>
<b>Énergie primaire totale</b>	GWh	19	22	11 %
<b>Changement climatique</b>	kg éq. CO <sub>2</sub>	3,5E+06	3,6E+06	5 %

Cette analyse montre que le choix d'une infrastructure identique pour les deux bâtiments n'a pas une influence significative sur les résultats et les conclusions de l'étude.



Chapitre

7

# Conclusion

Cette étude a permis d'établir un certain nombre de résultats sur les bâtiments de bureaux, dans un contexte où les FDES de produits de construction destinées aux bâtiments de grande taille sont encore peu répandues et où les premiers résultats de ce type d'étude sont attendus en France. Cette étude répond donc au premier objectif de la filière béton qui est d'apporter des résultats dans ce domaine.

La complexité plus grande de ce type de bâtiment a demandé davantage d'expertises différentes que l'étude sur les logements. Ainsi en plus du bureau d'étude thermique et de l'économiste de la construction, partenaires courants des études QEB, cette étude a nécessité de faire appel à un bureau d'ingénierie afin de déterminer la structure du bâtiment, soumise à davantage de contraintes en terme de résistance au feu et de résistance sismique.

La prise en compte de l'activité du bâtiment permet de mieux connaître les impacts d'un tel bâtiment indissociable de sa fonction de bureaux.

Les indicateurs les plus pertinents pour l'analyse ont été retenus. Ainsi, l'étude a analysé en détail les impacts environnementaux suivants :

- consommation d'énergie primaire totale ;
- consommation d'énergie primaire non renouvelable ;
- épuisements des ressources naturelles ;
- émissions de gaz à effet de serre (changement climatique) ;
- production totale de déchets éliminés ;
- production totale de déchets valorisés ;
- acidification atmosphérique.

Les résultats d'ACV sont toujours à considérer avec une incertitude qui provient de différents éléments (incertitudes sur les bases de données, les hypothèses considérées, la durée de vie, etc.). Étant donné la difficulté de propager ces incertitudes dans les calculs dans le cas de cette étude, il a été décidé de considérer une incertitude de 20 % minimum sur les résultats. Il est donc nécessaire de considérer les conclusions de l'étude avec une grande prudence si l'on veut comparer des solutions constructives entre elles et de bien avoir ce seuil de signification à l'esprit.

Les principales conclusions de l'étude sont les suivantes.

- Sur le périmètre matériaux (gros œuvre et second œuvre) ainsi que sur le périmètre global, il n'y a pas de différences significatives entre le bâtiment béton et le bâtiment acier sur l'ensemble des indicateurs.
- La répartition des impacts sur le périmètre global montre la prépondérance des consommations d'énergie de vie en œuvre et ceci même dans un cadre BBC : plus de 80 % de la consommation d'énergie primaire totale en moyenne (40 % pour l'énergie d'usage et 40 % pour la consommation d'énergie d'activité).

Les conclusions de la partie interprétation des résultats sont valables pour le seuil de signification de 20 % adopté dans cette étude.

Par ailleurs, les analyses complémentaires suivantes ont été réalisées suite à des demandes formulées par le panel de revue critique.

- Analyse de sensibilité sur la durée de vie des bâtiments : une analyse a été réalisée afin de répondre à la question des incertitudes liées à la prise en compte des entretiens et maintenances des produits dont la durée de vie est inférieure à 100 ans ainsi que l'incertitude liée à l'évolution des consommations énergétiques et du mix énergétique français. Cette analyse de sensibilité fait varier la contribution relative des matériaux du gros œuvre qui voit leur part relative augmenter en passant de 100 à 50 ans. Cette analyse montre également que pour des bâtiments avec une structure acier ou béton dont la durée de vie peut être longue, il est intéressant de prolonger la durée de vie du bâtiment pour permettre un amortissement des impacts environnementaux des éléments de structure.
- Découpage par lots des différents produits de construction : afin de pouvoir comparer cette étude avec les résultats de l'expérimentation HQE Performance, les résultats ont été présentés suivant les lots proposés par cette expérimentation. De plus les premiers résultats de l'expérimentation ont été ajoutés pour les lots non intégrés dans l'étude.
- Analyse de sensibilité sur le degré d'optimisation de la structure : les solutions considérées dans le scénario de base représentent des solutions économiquement viables. L'impact du choix de structures optimisées est évalué en considérant des sections de poutres et de poteaux réduites.
- Analyse de sensibilité sur le choix d'infrastructures identiques pour les deux bâtiments : le choix d'une infrastructure adaptée au poids de la structure acier ne change pas les résultats et les conclusions de l'étude.

Cette étude présente un certain nombre de limites qui sont résumées ci-après.

Elle porte sur les aspects environnementaux de la qualité environnementale de bâtiments théoriques. Ils sont représentatifs de pratiques courantes de construction afin de permettre une transposition des résultats en valeur relative au plus grand nombre de cas réels possibles. Cependant d'autres choix constructifs sont possibles et ceux-ci pourraient avoir des conséquences sur les résultats d'impacts environnementaux.

La structure des bâtiments acier et béton n'a pas fait l'objet d'une optimisation, celle-ci pourrait notamment être améliorée sur certains aspects (portée des bacs collaborant, utilisation de béton plus performant, etc.). Ceci permettrait de réduire les quantités de matériaux utilisées dans les structures acier et béton mais également pour les autres quantités de matériaux qui en dépendent (plaques de plâtre de protection au feu, etc.), tout en gardant en tête les contraintes économiques.

L'objectif de l'étude étant d'estimer la qualité environnementale des systèmes constructifs actuels, l'étude ne prend pas en compte les évolutions potentielles qui pourraient avoir lieu pendant la durée de vie de l'ouvrage, à savoir notamment l'évolution des filières de production d'énergie (mix électrique en particulier), l'évolution de la performance environnementale des équipements ou matériaux qui seront renouvelés pendant la durée de vie de l'ouvrage ou encore l'évolution des filières de traitement des déchets vers lesquelles seront dirigés les matériaux de construction en fin de vie. Ces évolutions peuvent être significatives, surtout lorsque l'on considère une durée de vie de 100 ans, mais sont difficilement quantifiables.

L'étude utilise des FDES comme sources de données. Ainsi, en ce qui concerne le recyclage, elle utilise donc des données obtenues à partir de la méthode recommandée dans la norme NF P 01-010, à savoir la méthode des stocks. Compte tenu du caractère figé de ces sources de données, il n'a pas été possible de réaliser d'analyses de sensibilité sur la méthode de prise en compte du recyclage et il n'a donc pas été possible d'évaluer l'influence de ce choix méthodologique sur les résultats.

De plus, il faut signaler que les différentes FDES utilisées ont parfois des approches méthodologiques différentes qui ne sont pas en totale cohérence. Par exemple, dans les données utilisées pour l'acier, le laitier est considéré comme un co-produit de l'acier et les impacts du laitier sont donc déduits de ceux de l'acier. À l'inverse, dans les données utilisées pour le béton, le laitier est considéré comme un déchet des aciéries et aucun impact ne lui est attribué. L'incohérence de ces deux approches conduit à la non prise en compte des impacts du laitier.

Tous les contributeurs proposés par la norme XP 01-020-3 n'ont pas été pris en compte afin de préserver l'homogénéité de la qualité des données et de proposer un cadre théorique pouvant être transposé en valeurs relatives à de nombreuses situations réelles. D'autres données qui auraient pu compléter ces données (FDES, expérimentation) ont été rendues publiques au cours de la réalisation de l'étude mais n'ont pas pu être intégrées.

De même que les bases de données, les normes françaises (XP 01-020-3) et européennes (pr EN 15978) encadrant ce type d'étude sont en pleine évolution ainsi que les différentes initiatives visant à définir un cadre commun et à obtenir les premiers résultats à grande échelle au niveau français (HQE Performance). Une fois les référentiels fixés et les bases de données validées, cette étude pourra être mise à jour avec ces nouveaux éléments.

Ainsi on peut espérer que dans les années à venir, des bases de données complètes permettent de réaliser des bilans environnementaux de produits non

standards tels que les structures béton et acier (prise en compte de la formulation, de la nuance, de la section, des conditions de mise en œuvre spécifiques, etc.)

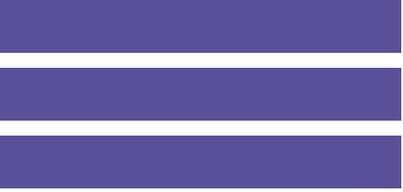
Enfin cette étude permet de proposer des leviers d'action pour diminuer les impacts environnementaux de ce type de bâtiment même s'ils ne sont pas dans les objectifs premiers de l'étude. Ces leviers sont hiérarchisés suivant l'importance des impacts de chacun des contributeurs.

Par rapport aux consommations énergétiques d'usage telles que définies dans le cadre de la RT 2012, le respect des consommations théoriques est la base d'une gestion efficace des consommations. Le contrôle et le suivi régulier à la fois des consommations réelles par rapport aux consommations prévues ainsi que de la performance des équipements est fondamental pour ne pas dépasser les prévisions.

Les consommations énergétiques d'activité de bureau sont du même ordre de grandeur que la consommation d'énergie d'usage pour l'ensemble des indicateurs. Ces consommations doivent donc également faire l'objet de suivi et de contrôle afin de s'assurer qu'elles restent dans les ordres de grandeur prévus.

La priorité semble moindre sur le choix des matériaux de construction qui, à l'exception des indicateurs déchets éliminés et valorisés, représentent une contribution moins importante que les consommations énergétiques d'usage et d'activité. De plus, les choix de structure acier ou béton se valent dans ce cadre. Le levier d'action se situe plutôt au niveau de l'optimisation raisonnable des quantités utilisées en vue de leur diminution dans un cadre technique et économique contrôlé.

Enfin la part non négligeable du second œuvre par rapport aux autres contributeurs oblige à considérer ce poste avec autant de soin que celui des matériaux de gros œuvre. Il faut en effet optimiser en parallèle de la problématique du gros œuvre, des questions telles que le renouvellement du second œuvre et les changements des aménagements intérieurs.



Chapitre

# 8

# Rapport de revue critique

# 8.1 Présentation de la revue critique

## 8.1.1 - Objectif de la revue critique

---

L'objectif de cette revue critique est d'apporter un élément d'appréciation externe sur l'étude « Qualité environnementale des bâtiments de bureaux – Aspects environnementaux » réalisée par PWC Ecobilan pour Cimbéton.

Cette revue critique a pour but de renforcer la crédibilité des résultats de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) et d'assurer la conformité avec les normes de la série ISO 14040, qui exigent une revue critique des résultats ACV destinés à être communiqués.

## 8.1.2 - Comité de revue critique

---

La revue critique est effectuée par un comité d'expert regroupant des compétences dans le domaine des ACV, de la construction, des matériaux et de l'environnement.

Le comité est composé par :

- Yannick Le Guern, de la société BIO IS, qui assure la présidence du comité ;
- Charlotte Petiot, de la société BIO IS ;
- Alexandra Lebert, du CSTB ;
- Julie Delcroix, du WWF ;
- Jean-Sébastien Thomas, de la société Arcelor Mittal ;
- Stéphane Herbin, du CTICM ;
- Michel Delort, de l'ATILH.

### **8.1.3 - Périmètre de la revue critique**

---

La revue critique porte sur le rapport d'étude suivant: Qualité environnementale des bâtiments de bureaux – Aspects environnementaux, PWC – Ecobilan, 3 novembre 2011.

En plus de ce rapport, les documents suivants ayant servi de base à l'élaboration de l'étude, ont été mis à la disposition du comité de revue :

- analyse comparative de trois typologies d'ossature, C&E Ingénierie des structures, juin 2011 ;
- étude QEB Bureaux, TRIBU Energie, juin 2011.

La revue critique porte sur les aspects suivants :

- les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV et leur cohérence avec les normes de la série ISO 14040 ;
- les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV et leur validité d'un point de vue scientifique et technique ;
- les données utilisées et leur cohérence par rapport aux objectifs de l'étude ;
- les interprétations et les conclusions de l'étude au regard des objectifs et des limites identifiées ;
- la cohérence et la transparence du rapport d'étude.

### **8.1.4 - Déroulement de la revue critique**

---

La revue critique s'est déroulée entre juillet et novembre 2011.

Au cours de cette période, trois notes successives ont permis aux membres du comité de revue critique de faire part de leurs commentaires et à CIM béton et PWC Ecobilan de faire part de leurs réponses et propositions de modification.

De plus, deux réunions d'échanges ont été organisées avec CIM béton, PWC Ecobilan et le comité de revue afin d'échanger sur les principales hypothèses et choix méthodologiques de l'étude.

Après traitement des différents commentaires et envoi de la version finale de l'étude, les membres du comité de revue ont rédigé ce rapport final de revue critique exprimant leur appréciation générale sur l'étude et listant les principaux commentaires et réponses apportés au cours de la revue critique.

## 8.2 Synthèse de la revue critique

### 8.2.1 - Méthodologie et conformité aux normes

---

Le rapport d'étude est conforme aux standards internationaux relatifs aux ACV (ISO 14040 et 14044 : 2006) et s'appuie sur les normes françaises encadrant l'évaluation de la Qualité Environnementale des Bâtiments (NF P 01-020 et XP 01-020-3).

L'objectif de l'étude est bien défini même si les moyens qui seront mis en œuvre pour la communication des résultats de cette étude ne sont pas précisés, ceux-ci n'ayant pas encore été décidés par CIMBETON au moment de la revue critique.

Le champ de l'étude et les frontières du système sont bien définis et la prise en compte ou l'exclusion des différents contributeurs est décrite de façon détaillée et justifiée.

L'unité fonctionnelle considérée est cohérente avec les objectifs de l'étude.

Les justifications nécessaires aux hypothèses et données sont présentées de manière satisfaisante dans le rapport et ses annexes.

Le comité de revue accepte la sélection des indicateurs d'impacts environnementaux jugés pertinents pour l'analyse ainsi que la non prise en compte des aspects sanitaires, compte tenu des objectifs et du champ de l'étude.

L'interprétation des résultats et les conclusions suivent les recommandations des normes internationales en ce qui concerne la transparence, les analyses de sensibilité et les limitations de l'étude.

## **8.2.2 - Validité des méthodes d'un point de vue technique et scientifique**

---

Les principales sources de données utilisées sont des Fiches de Déclaration Environnementales et sanitaires (FDES), comme cela est exigé dans les normes sur l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments (NF P 01-020 et XP 01-020-3).

Si les FDES correspondent en effet aux données les plus adaptées, leur utilisation exige néanmoins certains choix méthodologiques et entraîne certaines limites.

- D'une part, les différentes FDES utilisées ont parfois des approches méthodologiques différentes qui ne sont pas en totale cohérence. Notamment, dans les données utilisées pour l'acier, le laitier est considéré comme un co-produit et ses impacts sont donc déduits de ceux de l'acier. À l'inverse, dans les données utilisées pour le béton, le laitier est considéré comme un déchet des aciéries et aucun impact ne lui est attribué.
- D'autre part, les FDES traitent la question du recyclage avec une seule méthode : la méthode des stocks. De ce fait, il n'est pas possible de réaliser d'analyses de sensibilité pour évaluer l'influence de ce choix méthodologique sur les résultats.

L'utilisation des FDES impose également le choix des indicateurs d'impact. On peut noter qu'un effort particulier a été réalisé dans l'étude afin de sélectionner les indicateurs les plus pertinents au regard des données disponibles et de leur qualité.

## **8.2.3 - Données utilisées et cohérence par rapport aux objectifs de l'étude**

---

Les données utilisées sont principalement issues :

- d'études techniques réalisées spécifiquement pour les besoins de l'étude (étude structure et étude thermique) ;
- de FDES collectives ou individuelles ;
- d'adaptations de FDES ou d'Inventaires de cycle de vie disponibles à ce jour.

En fonction des données disponibles, la qualité des données est variable et est discutée de façon détaillée.

Il est à noter que certaines FDES utilisées sont assez anciennes et d'autres correspondent à des fiches spécifiques pour un industriel donné. La représentativité par rapport aux matériaux mis sur le marché français aujourd'hui n'est donc pas systématiquement assurée.

Malgré cela, les hypothèses et données utilisées pour les calculs sont considérées comme les plus adaptées à ce jour et les incertitudes associées aux données sont prises en compte dans l'interprétation des résultats.

### **8.2.4 - Interprétations et conclusions**

---

Les résultats obtenus :

- ont été vérifiés au regard des principales données utilisées (métrés, besoins énergétiques du bâtiment, impacts unitaires des matériaux et des sources énergétiques) ;
- ont été confrontés à d'autres sources de données.

À l'issue de ces analyses, aucune erreur majeure n'a été décelée.

L'interprétation des résultats reflète bien les limites identifiées et les conclusions sont cohérentes au regard des objectifs de l'étude.

### **8.2.5 - Structure et transparence du rapport**

---

Le rapport est transparent et sa structure répond aux recommandations des normes. Le rapport et ses annexes présentent toutes les informations nécessaires pour comprendre les hypothèses et données sous jacentes à la modélisation effectuée.

## 8.3 Conclusion de la revue critique

Dans l'ensemble, le comité de revue critique estime que les réponses et modifications apportées dans le cadre de la revue critique sont satisfaisantes. Les échanges entre le comité de revue critique et les auteurs de l'étude ont été coopératifs et fructueux.

Le comité estime que le rapport final, après modifications, répond correctement aux objectifs de l'étude et qu'il est conforme aux exigences des normes ISO 14040 et 14044 : 2006 relatives aux ACV.

Le comité approuve les conclusions de l'étude à savoir qu'il n'est pas possible de conclure sur l'avantage d'un bâtiment à structure acier ou à structure béton pour l'ensemble des indicateurs retenus. Il convient que la communication tirée de ce travail reflète fidèlement cette conclusion, sans omettre les conditions et hypothèses nécessaires à la bonne compréhension de l'information. Les membres du comité de revue exigent que toute communication fasse référence au rapport.

Le 3 novembre 2011,

Yannick Le Guern  
Charlotte Petiot  
Alexandra Lebert  
Julie Delcroix  
Jean-Sébastien Thomas  
Stéphane Herbin  
Michel Delort

## 8.4 Annexes : principales observations du comité de revue

### 8.4.1 - Contexte et Objectifs de l'étude

---

1. (Remarque) : Le 1<sup>er</sup> paragraphe du contexte laisse penser qu'il y a un certain parti pris et que l'étude est d'ores et déjà orientée en faveur du béton. Il dénote fortement dans l'étude et tend à décrédibiliser la volonté affichée d'objectivité de l'étude. Il est suggéré de revoir l'introduction en mettant en avant la volonté d'acquérir des données objectives en comparant deux types de structures courantes de bâtiments de bureaux.

*R : Nous avons modifié l'introduction.*

Avis : Réponse satisfaisante.

---

2. (Remarque) : L'étude, dénommée « Qualité environnementale des bâtiments de bureaux », ne traite que des aspects environnementaux basés sur l'ACV. Or, la QEB au sens de la norme NF P01-020 doit aussi traiter des aspects portant sur la santé et le confort. Il faut modifier le titre de l'étude ou mieux mettre en avant cette restriction dans l'introduction.

*R : Nous avons inclus dans le titre QEB - Aspects environnementaux, et nous avons ajouté dans les limites de l'étude la restriction de la QEB aux aspects environnementaux.*

Avis : Réponse satisfaisante.

---

3. (Remarque) : Dans l'étude actuelle, la comparaison des impacts environnementaux des bâtiments en acier et en béton est effectuée au niveau de 2 périmètres différents :

- un périmètre matériaux (comprenant le gros œuvre et le second œuvre) ;
- un périmètre plus global incluant certains postes relatifs à la vie en œuvre et à l'activité au sein des bureaux.

L'analyse et les conclusions de l'étude portent sur ces 2 périmètres en considérant qu'un écart entre systèmes est significatif s'il est supérieur à 10 %.

Or, la définition des périmètres est fondamentale et a des conséquences directes sur les résultats obtenus et l'interprétation des résultats obtenus (seuil de signification).

En effet, plus le périmètre considéré est large, plus les écarts entre les systèmes constructifs sont lissés et moins ces écarts seront jugés significatifs.

Il est donc nécessaire de s'interroger sur le(s) périmètre(s) considéré(s) dans l'étude au regard des réels objectifs visés :

- L'étude a-t-elle pour but de comparer les impacts environnementaux du béton et de l'acier en tant qu'éléments structurels d'un bâtiment de bureau ?
- L'étude a-t-elle pour but d'évaluer l'impact environnemental des matériaux et la contribution relative des différents éléments constitutifs des deux immeubles de bureaux ?
- L'étude a-t-elle pour but d'évaluer le bilan environnemental global de différents immeubles de bureau ?

Dans le cas où la comparaison des impacts environnementaux du béton et de l'acier en tant qu'éléments structurels serait un des objectifs prioritaires (ce qui semble être le cas), il faut considérer, parmi les périmètres étudiés, un périmètre restreint correspondant au système minimal à prendre en compte pour comparer l'acier et le béton (éléments de structure + autres matériaux/produits variant en fonction du type de structure).

On conseille ainsi de repréciser les différents objectifs de l'étude et de proposer une analyse puis des conclusions sur 3 périmètres de plus en plus large :

- Périmètre 1 : structure (système minimal comprenant la structure et les matériaux/produits variant en fonction du type de structure permettant de comparer l'acier et le béton)
- Périmètre 2 : matériaux (gros œuvre et second œuvre – incluant le périmètre 1)
- Périmètre 3 : matériaux et usage (incluant le périmètre 2).

Les résultats obtenus sur les périmètres plus larges permettront de relativiser les résultats obtenus sur les périmètres plus restreints.

*R: Nous ne désirons pas changer les périmètres qui avaient été approuvés à l'oral par différents membres du panel de revue critique lors de la réunion de lancement. Nous allons préciser les objectifs afin de bien faire correspondre ceux-ci aux périmètres d'étude. Les deux périmètres conservés et l'analyse qui en découle sont explicités dans la première partie du rapport.*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

4. (Remarque) : La finalité de cette étude et les applications envisagées ne sont pas décrites. Il faut notamment préciser les objectifs en termes de communication, en précisant le mode de communication envisagé et l'audience visée (quand ?, comment ?, pour qui ?).

*R: Nous avons rajouté dans le rapport la finalité de l'étude et les publics possibles « CIM béton communiquera les résultats auprès de sa filière et de ses partenaires en utilisant différents médias. Ce rapport sera mis en ligne et fera l'objet d'une synthèse pour la communication ».*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

## 8.4.2 - Champ de l'étude

---

5. (Remarque) : Il faut apporter des éléments justificatifs pour expliquer le choix retenus concernant l'inclusion ou l'exclusion des contributeurs cités dans la norme XP 01-020-03 (consommations d'énergie liées au bâti, consommation d'eau, production de déchets...). En plus de ces informations relatives aux contributeurs cités dans la norme XP 01-020-03, il faut également lister les autres aspects qui n'ont pas été pris en compte dans le cadre de l'étude comme par exemple la production et la fin de vie des équipements du bâtiment (PAC, chaudière...). Il faut rappeler ces différents éléments dans les limites de l'étude.

*R : Les remarques ont été prises en compte dans le tableau et dans les limites de l'étude.*

Avis : Réponse satisfaisante.

---

6. (Remarque) : Compte tenu du fait que l'indicateur consommation d'eau est étudié et que la consommation d'eau en phase utilisation est un poste significatif, il est dommageable de ne pas avoir pris en compte le contributeur consommation d'eau pendant la phase d'exploitation du bâtiment. Il serait intéressant de prendre en compte ce contributeur en utilisant des ordres de grandeur.

*R : Nous avons mis dans le rapport en annexe E un avertissement en proposant un ordre de grandeur de la conso d'eau en vie en œuvre.*

Avis : Réponse satisfaisante.

---

7. (Remarque) : Il faut justifier la durée de vie de 100 ans considérée.

De plus, il faut indiquer que plus on prend une durée de vie longue, plus on engendre d'incertitudes. Ces incertitudes sont notamment relatives :

- à l'entretien et à la maintenance des produits de construction et des équipements,
- au renouvellement des produits de construction et des équipements qui pourra être effectué au cours de la vie en œuvre avec des produits différents/plus performants de ceux initialement mis en œuvre,
- au maintien dans le temps des performances thermiques des systèmes constructifs et des équipements...

En plus de ces aspects, il faut également indiquer d'autres incertitudes relatives aux sources d'énergie disponibles et au modèle électrique qui seront probablement amenées à évoluer au cours des 100 prochaines années.

Ces évolutions auront certainement des conséquences en ce qui concerne la contribution relative de la structure et des matériaux par rapport à l'impact global du bâtiment sur sa durée de vie.

*R : Justification ajouté dans les limites et dans la section 4.3.1.1. Nous avons réalisé une analyse de sensibilité avec une durée de vie de 50 ans.*

Avis : Réponse satisfaisante.

---

---

8. (Remarque) : Pages 23 et 24, le paragraphe sur les règles d'affectation/allocation doit être précisé. Ce n'est pas parce que l'étude est basée sur des FDES ou des ICV déjà établis qu'il ne faut pas mentionner les règles sur lesquelles sont basées ces FDES ou ICV. Il faut notamment expliquer :

- la façon dont le recyclage est traité dans l'étude (pour l'acier en particulier)
- la façon dont les coproduits sont traités (pour le ciment en particulier)
- la façon dont les matières/énergies récupérées lors de la production sont comptabilisés (par exemple combustion de déchets pour la fabrication du clinker)...

*R : La remarque a été prise en compte, nous avons rajouté dans le tableau une colonne sur les principales hypothèses de chaque matériau ainsi qu'une précision dans le rapport au niveau des règles d'allocation.*

*Avis : Les experts de la filière acier indiquent que l'ACV de Worldsteel sur laquelle est basée la FDES poutrelle prend en compte des impacts évités liés au laitier. (Les impacts de l'acier calculés par Worldsteel sont donc légèrement diminués pour tenir compte de la valorisation de ce coproduit). Ceci doit être mentionné dans l'annexe A.*

Par contre, les ICV de l'ATILH considèrent que le laitier n'a aucun impact. Ces deux approches ne sont donc pas cohérentes et il faut le mentionner dans les limites de l'étude (voir proposition en suivi de modification dans la conclusion).

*R : Proposition acceptée. Mention ajoutée en annexes A et B.*

*Avis : Réponse satisfaisante.*

---

9. (Remarque) : Il faut revoir la présentation/segmentation entre le cycle de vie des produits de construction et le cycle de vie des bâtiments (pages 21, 22, 23, 32 et 33). La plupart des informations concernent le cycle de vie des produits et on ne retrouve pas bien le système bâtiment. De plus, la présentation n'est pas cohérente avec le projet de norme européenne prEN 15978. Par ailleurs, on peut se demander s'il est utile de rappeler à quelles étapes sont pris en compte les phases d'entretien et de maintenance dans les FDES (paragraphe 1.3.4.4, page 25) compte tenu du fait que seuls les résultats globaux sur le cycle de vie sont calculés et présentés. Par contre, il serait important de rappeler que l'ensemble des matériaux de construction (lors de la mise en œuvre initiale puis lors de l'entretien, maintenance et renouvellement) est bien pris en compte dans le périmètre matériaux et que les processus supplémentaires pris en compte dans le périmètre global ne portent que sur l'énergie.

*R : Rédaction revue dans les sections 4.3.2.*

*Avis : Réponse satisfaisante.*

---

10. (Remarque) : Il faut nuancer les commentaires sur la cohérence des données qui n'est sans doute pas aussi bonne que ce qu'on pourrait penser à la lecture du paragraphe. D'une part, les données utilisées ne proviennent pas toutes de FDES. D'autre part, certaines FDES utilisées sont anciennes et ont été retirées de la base INIES. Enfin, beaucoup de données issues de FDES ont été adaptées pour les besoins de l'étude et leur qualité ne peut être équivalente à la FDES originale.

*R : Les commentaires ont été revus pour démontrer la cohérence des données.*

*Avis : Réponse satisfaisante.*

---

### 8.4.3 - Hypothèses et données utilisées pour l'établissement de l'inventaire

---

11. (Remarque) : Il faut expliquer au paragraphe 4.1.1.2 « Typologies d'édifices étudiés » les raisons qui ont conduit à considérer une configuration de bureau de 8 étages en superstructure et 2 en infrastructure. Il faut expliquer en quoi cette configuration est représentative de bureaux courants. Il faut également dans la mesure du possible expliquer les incidences de ce choix sur les résultats et présenter les limites associées. L'objectif est d'apporter des éléments de réponse à la question suivante : Est-ce que l'étude d'un cas de figure particulier (un bâtiment « type » courant mais avec ses choix architecturaux), placé dans différents contextes, permet de porter une conclusion globale sur bâtiment de bureaux en béton ou en acier ?

*R : Le bâtiment présente une hauteur ne dépassant pas 28 m pour ne pas être soumis à la réglementation spécifique des Immeubles Grande Hauteur (IGH). Il est de faible complexité technique et est à plateau libre, ce qui en fait un immeuble de bureaux représentatif des bâtiments actuellement construits. Il a été choisi de le réaliser avec 4 façades libres correspondant à un emplacement sur une parcelle dans une zone nouvellement aménagée. Si on veut généraliser les résultats de l'étude à un immeuble de bureaux aligné sur une rue et donc avec 2 façades libres, les 2 façades latérales sont remplacées à l'identique sur les bâtiments acier et béton ce qui fait que les résultats sont transposables. Nous ajoutons ces précisions dans l'étude et dans la conclusion.*

*De plus la surface en plan du plateau, et la position des contreventements en particulier, permet de travailler des portées qui correspondent à la mise en œuvre de poutrelles métalliques+bac collaborants connectés ou dalle alvéolaires précontraintes sans être dans les extrêmes possibles pour ces deux solutions techniques.*

*Avis : Réponse satisfaisante.*

---

12. (Remarque) : Il faut vérifier et justifier que les fonctions assurées par les deux bâtiments sont effectivement équivalentes. Dans la situation actuelle, il semble par exemple que le volume disponible est plus grand pour la solution acier que pour la solution béton en raison des poutrelles alvéolaires (gain des faux plafonds).

*R : Réponse de M. Weil de C&E ingénierie :*

*D'un côté, pour la solution béton, la mise en œuvre de Dalles Alvéolaires précontraintes permet de libérer le plenum entre le faux plafond et la sous-face de la dalle pour le passage des réseaux. De l'autre la solution par poutrelle alvéolaire acier permet de positionner dans la hauteur du plenum les poutrelles métalliques. Il n'est pas certain que le volume disponible soit meilleur pour la solution en charpente métallique. En effet pour ce cas les gaines doivent passer par les alvéoles des poutrelles et ne peuvent donc pas être mises directement en sous-face des dalles.*

*Avis : Réponse satisfaisante.*

---

13. (Remarque) : Le rapport ACV ne présente pas l'ensemble des données utilisées pour l'étude. Ce dernier renvoie systématiquement vers les études commanditées par CIM béton pour alimenter l'analyse de cycle de vie. Cela n'est pas suffisant, le rapport doit être suffisamment autoporteur et doit donc présenter l'ensemble des données et les principales hypothèses utilisées pour l'établissement des bilans environnementaux.

En particulier, il faut améliorer la transparence et détailler les données utilisées en ce qui concerne les produits de construction utilisés. Pour cela, il faut par exemple faire un tableau reprenant les champs suivants : nom de composant, quantité par UF (initiale puis pour entretien, maintenance, remplacement), unité, coefficient d'adaptation pour ramener les données de la FDES à l'UF de l'étude (changement éventuel d'épaisseur ou de DVT, remplacement...), DVT, Nom de la FDES en entier ou Nom du module ICV utilisé, traitement en fin de vie (% enfoui, incinéré, recyclé), éléments méthodologiques majeures (indication si hypothèse sensible type impacts évités, carbonatation, recyclage, etc.), indicateurs énergie primaire et changement climatique...

Il faut également présenter en annexe les métrés de l'économiste.

*R : Nous avons pris en compte ces remarques dans le tableau de l'annexe A. Nous n'avons pas fait figurer dans le tableau les quantités par UF mais nous ajoutons dans le rapport les métrés tel que fourni par l'économiste de la construction, et les métrés agrégés incluant le renouvellement utilisés par PwC Ecobilan pour le calcul.*  
Avis : Réponse satisfaisante.

---

14. (Remarque) : La nuance d'acier n'est pas la plus appropriée, notamment au regard des portées.

*R : L'Eurocode 1994-1-1 couvre le calcul de structures mixtes fabriquées à partir de matériaux et acier relevant des nuances S235 à S460. Nous avons retenu la nuance S275 (intermédiaire entre les nuances S235 et S355. La nuance S460 ne nous semblant pas appropriée pour l'étude d'un bâtiment standard. Il est bon de rappeler néanmoins que tant pour le calcul de la flèche que de la fréquence propre de la structure, la nuance d'acier n'intervient pas.*

Avis : Réponse satisfaisante.

---

15. (Remarque) : La quantité d'acier (hors ronds à béton) indiquée dans l'annexe B du rapport général est trop importante. En effet, les ratios de poids d'acier au mètre carré de surface SHON couramment obtenus pour des bâtiments similaires sont très éloignés de ces valeurs.

*R : Suite à la suppression de la chape acoustique, les valeurs ont été revues lors de l'indice 3 du rapport C&E chapitre 7.6.*

Avis : Réponse satisfaisante.

---

16. (Remarque) : Les bacs collaborants (non décrits) permettent des franchissements plus importants qui conduiraient à réduire le nombre de poutres.

*R : Nous sommes d'accord sur le principe d'une plus grande portée possible pour les bacs collaborants. Néanmoins la valeur moyenne retenue (3 mètres environ)*

*correspond à une utilisation courante du produit, avec un étaielement minimum en phase provisoire. Elles sont cohérentes vis-à-vis des indications données par l'ouvrage sur les planchers mixtes d'ArcelorMittal (Guide de conception des Planchers Mixtes) qui recommande un entre axe de poutrelle qui varie entre 2,5 et 4 mètres (chapitre 1 page 29).*

Avis: La réponse est acceptée. On précise toutefois que la portée de 3 mètres n'est pas optimisée.

---

17. (Remarque): Une approche en pré-dimensionnement laisse penser que plusieurs profilés pourraient être réduits en dimension, donc en encombrement et en masse. L'optimisation du § 7.6 n'est pas aboutie.

R: L'optimisation du tonnage a été revue lors de l'émission de l'indice 3 du rapport C&E. Elle a été discutée lors de la réunion téléphonique de Juillet dernier et semblait conforme aux ratios attendus par notre interlocuteur.

Avis: La révision 3 du rapport C&E a apportée une réduction du poids d'acier d'environ 13 % (poutres). Cependant, la ségrégation des poteaux (réduction de sections aux niveaux supérieurs et en rives) pratiquée sur des bâtiments de ce type devrait conduire à une réduction supplémentaire de 5 à 7 % au moins, en considérant les 4 niveaux bas puis les 5 supérieurs SANS optimisation. Cette analyse complémentaire porterait la réduction à près de 20 % par rapport à la conception initiale. Où en est le bureau C&E sur cette nouvelle estimation?

R: *Afin d'évaluer les impacts d'une modification des sections sur les résultats, une analyse de sensibilité est proposée en prenant en compte une réduction des sections des poutres et des poteaux, appelée scénario »optimisé«. Cette analyse montre que ces variations dimensionnelles modifient à la marge les résultats globaux et ne remettent pas en cause les conclusions de l'étude. Nous ne jugeons donc pas nécessaire de refaire les calculs avec des sections de poteaux réduites.*

Avis: Le panel de revue critique est d'accord sur le principe de prendre en compte l'optimisation des poutres et des poteaux du bâtiment acier dans le cadre d'une analyse de sensibilité. Toutefois, il faut que les données utilisées pour l'optimisation des structures des bâtiments soient mieux précisées et il faut expliquer les résultats obtenus qui peuvent sembler étranges (pas de variation des impacts du bâtiment acier malgré une réduction d'environ 8 % du poids de la structure, variation de 10 % sur l'EPT du bâtiment béton sans variation du changement climatique).

Pour cela, il est indispensable de présenter les masses de béton et d'acier considérées pour les deux bâtiments dans le scénario de base et dans le scénario optimisé. (Ces données peuvent par exemple être détaillées comme un complément dans l'annexe C et on pourrait rappeler uniquement les masses globales de béton et d'acier des deux scénarios dans le paragraphe 6.3).

Il faut ensuite bien expliquer les résultats obtenus en analysant :

– les aspects liés aux masses de matériaux (par exemple, importance de la masse de béton par rapport à la masse d'acier, ce qui peut éventuellement expliquer qu'une

optimisation sur le béton aura plus d'influence qu'une optimisation sur l'acier),  
– les aspects liés aux impacts par masse des matériaux (EPT, et changement climatique) (Il faut notamment expliquer pourquoi l'énergie varie et pas le CO<sub>2</sub> pour le béton).

*R: Les masses et volumes de matériaux variant dans l'analyse de sensibilité ont été ajoutées au tableau du paragraphe 6.3. Les métrés complets de la superstructure du scénario optimisé ont été ajoutés en annexe C. Le commentaire de l'analyse de sensibilité a été étayé pour expliquer les variations de l'EPT principalement dues à la baisse de la masse d'acier à béton, contributeur plus important de l'EPT que du CO<sub>2</sub> (cf. figures 25 et 26).*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

18. (Question): Quelles sont les sources des données pour l'acier galvanisé ? Pourquoi considérer des données de 2003 ?

*R: Nous avons mis à jour avec des données de World Steel de 2008.*

Avis: Les résultats Energie primaire et CO<sub>2</sub> indiqués en annexe A pour l'acier galvanisé ne semblent pas cohérents avec les sources de données indiquées (World Steel 2008). On devrait plutôt avoir les ordres de grandeur suivants: EPT: 20 MJ/kg et GWP: 1,3 kgCO<sub>2</sub>eq/kg. L'écart est très significatif pour le CO<sub>2</sub>.

Par ailleurs, la fin de vie n'est pas précisée dans l'annexe B mais d'après l'annexe A, il semble que le scénario considéré est la mise en décharge. cela ne semble pas très représentatif des pratiques. Il faudrait considérer un taux de recyclage comme cela est fait pour la plupart des autres produits acier.

*R: Nous avons relevé l'erreur sur le facteur d'émission. Les résultats sont corrigés.*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

19. (Remarque): En ce qui concerne les consommations d'énergie en phase vie en œuvre, il faut compléter le tableau page 50 pour bien détailler les données utilisées:

– Il faut présenter à la fois les consommations issues du rapport Tribu mais aussi les consommations relatives à l'activité dans le bâtiment.

– Pour toute donnée, il faut systématiquement indiquer s'il s'agit d'énergie finale (en précisant électricité ou gaz) ou d'énergie primaire. Et, lorsque les informations sont données en énergie finale, il serait pertinent d'indiquer la donnée correspondante en énergie primaire.

– Il faut présenter les consommations totales en énergie primaire pour le bâtiment sur 100 ans, puis par m<sup>2</sup> et par an de façon à ce qu'on retrouve ensuite facilement ces valeurs dans les tableaux et graphes de résultat.

Par ailleurs, il faut indiquer comment les flux/impacts associés sont pris en compte en précisant les ICV utilisés et le mix électrique considéré.

Enfin, comme cela est indiqué dans l'étude Tribu, il faut mentionner que les différences de consommations d'énergie sont considérées comme non significatives et il faut rappeler brièvement d'où viennent les différences.

*R: Nous avons indiqué dans la section 4.3.2.1.2 les consommations d'énergie dues à l'activité tertiaires.*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

---

20. (Remarque/Question) : Il est étonnant que les mètres des bâtiments/produits de construction soient indépendants de la zone climatique et des équipements thermiques ? L'unité fonctionnelle n'est-elle pas à performance énergétique équivalente (niveau BBC) ? On aurait pu imaginer des bâtiments avec exactement la même consommation en énergie primaire et les dispositifs minimums adaptés (produits de construction/équipements) pour atteindre cette consommation. Pourquoi ce choix méthodologique ? Et quelle est son incidence ?

*R : Dans le rapport de Tribu Energie page 5 il a été précisé que les résultats seraient plus facilement interprétables en choisissant une façade rideaux unique, commune aux différents modes constructifs, qui respectait les objectifs énergétiques fixés.*

*Le choix de prestations d'isolation thermique communes aux différentes configurations étudiées permet donc de définir des types et volumes de matériaux identiques. Il sera plus aisé de dégager les différences inhérentes à chaque système constructif. Cette démarche neutralise la partie purement thermique de l'enveloppe et engendre des consommations énergétiques toutes conformes au label BBC 2005. Elles sont cependant légèrement différentes. Ces différences seront plus facilement prises en compte dans le travail d'Ecobilan, ne serait-ce qu'à cause des inerties différentes selon la configuration. L'incidence de ce choix sur les résultats n'est pas étudiée dans le rapport.*

Avis: Il faut expliquer le choix méthodologique réalisé dans l'étude (enveloppe figée + consommations variables mais compatibles avec BBC 2005). Les éléments de réponse indiqués doivent être détaillés dans le chapitre 4.1 du rapport sur la définition architecturale et structurelle des bâtiments. Il faudrait également rappeler brièvement ces éléments ou faire un renvoi au niveau du chapitre 4.3.2.1.3 Résultats de l'étude thermique (page 49).

*R : Détails ajoutés aux chapitres 4.1 et 4.3.2.1.3.*

Avis: Réponses satisfaisante.

---

21. (Remarque) : Il est indiqué à la page 13 du rapport que les calculs thermiques ont été effectués avec le moteur RT 2005. Cependant, à la page 43, il est fait référence aux tableaux 10 et 11 de l'étude Tribu qui correspondent *a priori* à des calculs RT 2012. Par ailleurs, en introduction de l'étude Tribu, il est fait référence à différentes évolutions entre le lancement de l'étude et le livrable remis en juin 2011 et on ne sait plus bien ce qui est finalement pris en compte dans le rapport ACV. Il faut vérifier la cohérence des informations et clarifier cela dans le rapport.

*R : Nous clarifions ces références dans le rapport.*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

22. (Remarque/Question) : Les consommations d'énergie primaire d'un bâtiment BBC sont indiquées à la page 50 en tenant compte de la zone climatique: 65 kWh/m<sup>2</sup>.an pour la zone H1a et 40 kWh/m<sup>2</sup>.an pour la zone H3. Cet ordre de

grandeur (50 kWh/m<sup>2</sup>.an) est également rappelé à la page 64. Cependant, si l'on ramène les données du tableau page 43 par m<sup>2</sup>, on obtient des valeurs supérieures à 100 kWh/m<sup>2</sup>.an.

Par ailleurs, si on analyse l'étude Tribu, on constate que les consommations calculées avec le moteur RT 2005 sont de l'ordre de 50 kWh/m<sup>2</sup>.an alors qu'avec le moteur RT 2012, on retrouve bien les valeurs supérieures à 100 kWh/m<sup>2</sup>.an. On constate également que l'ECS n'est pas prise en compte avec le moteur RT 2005. Comment s'expliquent ces différences ? Il faut vérifier ces aspects et si besoin mettre à jour l'étude Tribu et le rapport ACV.

*R: Les consommations de 65 et 40 kWh/m<sup>2</sup>/an sont des erreurs, elles ont été effacées. Au moment du lancement de l'étude (ainsi qu'à l'heure actuelle), le calcul réglementaire s'effectue sous le moteur RT2005. Dans le cadre de notre étude, il est souhaité que les bâtiments répondent à un critère de performance énergétique performant (correspondant au label BBC2005). Cependant, le contexte réglementaire étant en cours d'évolution, il a été décidé au cours de l'étude que les consommations RT2005 calculées et utilisées pour le calcul ACV ne reflétaient pas assez la réalité. Il a donc été décidé d'utiliser un calcul de type RT2012 dans le calcul ACV. Ainsi nous avons vérifié que le bâtiment répondait au critère BBC2005, mais lors du calcul ACV nous avons pu prendre en compte à travers le calcul RT2012 : l'eau chaude sanitaire, la mise à jour des fichiers météo, mise à jour de scénario d'occupation...*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

23. (Remarque/Question): Il est mentionné à la page 49 que les facteurs pour convertir l'énergie finale de type électrique ou gaz en énergie primaire utilisés dans TEAM sont respectivement de 3.13 et 1.3. Cependant, ces facteurs sont de 2.58 et 1 dans la réglementation thermique. Comment cette différence a-t-elle été gérée pour passer les données de l'étude Tribu dans TEAM ? A-t-on pris en compte les besoins en énergie finale calculés par Tribu puis les a-t-on convertis en énergie primaire avec les coefficients TEAM ? Ou a-t-on procéder d'une autre manière ? Il faut expliquer cela dans le rapport. Il faut également préciser dans le rapport l'incidence de cette difficulté méthodologique sur les résultats et les éventuels biais que cela entraîne.

*R: Les données de Tribu Energie que nous utilisons sont en kWh énergie finale, nous multiplions donc cette consommation d'électricité par 3,13 pour avoir la consommation d'énergie primaire totale. Pour Ecobilan il n'y a pas d'autre biais à cette méthode que celui des incertitudes du module DEAM de production d'électricité française. Précisions ajoutés dans le rapport section 4.3.2.1.1.*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

24. (Remarque): Il faut présenter les hypothèses sur la démolition du bâtiment en fin de vie et sur le traitement des déchets. Il faut en particulier détailler le devenir des principaux produits de construction en fin de vie (% enfoui, incinéré, recyclé) et la façon dont les impacts associés au traitement des déchets sont pris en compte. On sait notamment que les FDES n'intègrent pas systématiquement les impacts liés au traitement des déchets. Sur l'ensemble des FDES utilisées, combien

intègrent les impacts liés au traitement des déchets ?

Pour compléter le rapport, il faut :

- présenter les hypothèses générales sur la déconstruction/démolition du bâtiment,
- rappeler les hypothèses prises en compte dans les FDES utilisés,
- mentionner les hypothèses prises en compte et les ICV utilisés pour les produits de construction dont les données ne proviennent pas de FDES.

*R : Nous avons rajouté au rapport une section sur la fin de vie des FDES et modélisations pour l'étude (section 3.4.2.6.5).*

Avis : Réponse satisfaisante.

---

25. (Remarque) : La façon dont le recyclage des matériaux a été pris en compte n'est pas explicite. Compte tenu du fait qu'il s'agit d'une caractéristique très importante concernant le bilan environnemental de l'acier, il est important de rappeler les hypothèses et la méthode qui a été appliquée au niveau des sources de données utilisées (en particulier FDES de la poutrelle). Il est également important de réaliser des analyses de sensibilité (cf projet de norme européenne prEN 15804) et de présenter les répercussions ou les biais potentiels associés à tout type d'allocation pour relativiser les résultats obtenus.

*R : Les hypothèses importantes de chaque produit de construction ont été détaillées dans le tableau de l'annexe A. Pour le cas particulier des éléments en acier, l'annexe détaille plus précisément les hypothèses.*

Avis : Réponse satisfaisante.

---

26. (Remarque) : Les valeurs indiquées dans l'annexe A concernant la structure acier sont cohérentes avec les données de la FDES poutrelle (EPT : 21,32 MJ/kg et GWP : 1,31 kgCO<sub>2</sub>eq/kg). Toutefois, par rapport aux données de base de World Steel, l'ordre de grandeur pour le changement climatique (GWP) est correct mais pas celui de l'énergie primaire totale (EPT). Pour information, les données 2005 pour section worldsteel (sans prise en compte du recyclage en fin de vie) sont les suivantes : EPT : 17,9 et GWP : 1,3

Avec les données 2010, on a les valeurs suivantes : EPT : 14,8 et GWP : 1,15.

A-t-on des éléments explicatifs pour justifier les écarts entre la FDES poutrelle et les données World Steel ?

De plus, à titre d'information, on mentionne que si on prend en compte le recyclage de 98 % en fin de vie, le crédit apporté (c'est-à-dire le bénéfice net appliqué à ce qu'on recycle en fin de vie moins ce qu'on a utilisé en entrée (98 % - 85 %)) sera le suivant pour les données 2005 :

EPT : - 2 MJ/kg (- 11 %) et GWP : - 0,24 kgCO<sub>2</sub>eq/kg (- 18 %). D'où l'importance de bien mentionner qu'une analyse de sensibilité aurait été pertinente.

*R : L'écart entre les données Worldsteel et la FDES de poutrelles en acier s'explique par l'énergie électrique consommée pour la transformation par les constructeurs métalliques et les goujons. Ces deux postes représentent une consommation d'EPT*

*d'environ 20 % par rapport au cycle de vie de la poutrelle.*

Avis: Réponse acceptée. Les valeurs indiquées dans l'annexe A concernant la structure acier sont cohérentes avec les données de la FDES poutrelle. Toutefois, les experts de la filière acier estiment que les écarts entre les données Worldsteel et les données de la FDES sont assez significatifs et sont difficiles à comprendre (malgré les explications apportées). La filière acier estime que la FDES poutrelle doit être modifiée et souhaite entreprendre cette mise à jour à court ou moyen terme. Les écarts constatés et les difficultés à les interpréter confirment bien l'incertitude générale sur les données de FDES.

---

27. (Remarque): Dans les annexes A et B, il est indiqué que l'acier à béton est mis en décharge en fin de vie. Cependant, dans l'annexe A, il est indiqué que le béton est valorisé à 42 %. Ces deux hypothèses ne semblent pas cohérentes. En effet, si le béton est valorisé, cela signifie qu'il doit être broyé et que les ferrailles seront récupérées en même proportion. Il faut rendre compatible les deux scénarios.

*R: On pourrait appliquer le même taux de récupération à l'acier à béton. Une estimation des quantités de déchets valorisés est ajoutée en Annexe B.*

Avis: Réponse acceptée.

---

#### **8.4.4 - Évaluations des impacts environnementaux**

---

28. (Remarque): Il faut clarifier la présentation et la justification des indicateurs retenus. En effet, 10 indicateurs sont présentés page 59. Il est ensuite expliqué avec des éléments justificatifs que ce nombre d'indicateurs est réduit à 7. Puis au final, 10 indicateurs qui ne correspondent pas aux 10 indicateurs du départ sont présentés dans les radars et 11 indicateurs sont présentés dans la synthèse de l'étude. Il faut définir un jeu d'indicateurs pertinents et s'y tenir tout au long du rapport.

*R: Nous avons corrigé ces incohérences.*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

29. (Remarque): Il faut rajouter l'indicateur de déchets valorisés pour compléter l'information sur les déchets éliminés. Il faut également mettre en perspective les bénéfices liés à cette valorisation.

*R: Nous avons ajouté l'indicateur.*

Avis: Des informations doivent être données en complément pour apporter du sens à cet indicateur. En effet, il ne faudrait pas que le lecteur pense que du fait que le bâtiment béton est plus lourd et produit plus de déchets valorisés, il présente un atout environnemental. L'important est d'abord de minimiser les déchets, puis ensuite de maximiser le taux de valorisation. Il faudrait donc nuancer les explications et préciser les taux de valorisation pris en compte pour les principaux matériaux (au moins acier et béton).

*R: Nous sommes d'accord avec cette remarque sur l'indicateur. Une précision est apportée dans le rapport. Cependant il s'agit d'une précaution de lecture propre à*

*l'indicateur et non aux résultats : dans tous les cas, le total de déchets valorisé ne présente a priori aucun avantage environnemental, c'est pourquoi nous ramenons également le volume de déchets valorisés au volume de déchets éliminés, pour relativiser le taux de valorisation considéré par hypothèse.*

Avis : Réponse acceptée.

### **8.4.5 - Résultats de l'étude**

---

30. (Remarque) : Dans le cadre d'une ACV comparative, la norme ISO 14044 exige :  
– la réalisation d'analyses d'incertitudes et d'analyses de sensibilité,  
– une évaluation de la signification des différences trouvées.

Or, en l'état actuel des choses, l'approche retenue par les auteurs en adoptant un seuil de signification de 10 % n'est pas suffisante. De plus, cette approche n'est pas cohérente avec la remarque selon laquelle l'incertitude sur les FDES est « comprise entre 10 et 30 % suivant les experts ».

Dans le cadre de cette étude, le comité de revue comprend qu'il n'est pas possible de réaliser une véritable analyse des incertitudes ou une évaluation précise de la signification des différences trouvées. En effet, l'étude est principalement basée sur des FDES, ce qui ne permet pas de remonter aux incertitudes sur les données de base ni d'identifier les principaux contributeurs aux impacts. L'approche par définition de seuil de signification est donc louable mais nécessite d'être plus conservatrice et d'être complétée. Pour cela, deux axes d'amélioration sont nécessaires :

- D'une part, il faut conduire des analyses de sensibilité en faisant varier différents paramètres sensibles de façon à évaluer la robustesse des résultats obtenus et notamment la robustesse des écarts entre systèmes. Des analyses de sensibilité pourraient notamment être menées : sur la définition des systèmes constructifs (variation des quantités de matériaux mis en œuvre), sur la durée de vie du bâtiment (50 ans ou 100 ans), sur la méthode de prise en compte du recyclage (stock, impact évité ou approche recommandée dans l'ISO 14049...), ...

- D'autre part, le seuil de signification devrait être réévalué pour tenir compte des différentes sources d'incertitude. On pourrait notamment envisager une classification des indicateurs selon leur niveau de robustesse. Les indicateurs énergétiques et le changement climatique sont généralement reconnus comme étant des indicateurs relativement fiables dans les ACV tandis que les indicateurs de pollution de l'air et de l'eau sont considérés comme étant entachés d'une très forte incertitude. Les indicateurs d'acidification, d'oxydation photochimique, par exemple, sont dans une catégorie intermédiaire. Il pourrait ensuite être considéré un seuil de signification pour chacune de ces trois catégories d'indicateurs. Dans tous les cas, le comité de revue recommande d'appliquer un seuil de signification de 20

à 30 % minimum pour les indicateurs dits « fiables ». En effet, au-delà des incertitudes sur les modèles scientifiques sur lesquels se basent l'établissement de ces indicateurs, un tel seuil permet également de prendre en compte les incertitudes sur les FDES, les DVT, les simplifications réalisées dans les modèles.

*R: Nous avons modifié le seuil de signification à 20 % et nous apportons dans le rapport les éléments pour justifier ce seuil. Nous avons réalisé une analyse de sensibilité sur une durée de vie de 50 ans du bâtiment. La sélection des indicateurs permet d'écartier les indicateurs les moins fiables tels que pollution de l'air, de l'eau, formation d'ozone photochimique. L'indicateur acidification atmosphérique qui a été conservé pour l'analyse, fait donc l'objet d'un avertissement dans le rapport sur le fait qu'il est moins fiable que d'autres indicateurs. Nous ne pouvons pas réaliser d'analyse de sensibilité sur la fin de vie des déchets de construction car nous ne disposons que des FDES et non de chacune des modélisations détaillées.*

*Avis: Il faut rajouter dans les limites de l'étude que compte tenu du fait que les données utilisées sont des FDES (résultats figés), il n'a pas été possible de réaliser d'analyses de sensibilité sur la méthode de prise en compte du recyclage et il n'a donc pas été possible d'évaluer l'influence de ce choix méthodologique sur les résultats. (voir proposition en suivi de modification dans le rapport).*

Par ailleurs, compte tenu du fait qu'un seuil d'incertitude global est retenu pour tous les indicateurs, il est proposé de supprimer la remarque sur le manque de robustesse de l'acidification. En effet, cette remarque va sans doute plus troubler le lecteur que d'apporter une véritable plus value sur les limites de l'étude.

*R: Propositions acceptées.*

*Avis: Réponse satisfaisante.*

---

31. (Remarque): Il serait souhaitable d'optimiser la présentation des résultats. Les graphes de résultats sont redondants sans apporter de réelle plus value (résultat pour le bâtiment sur 100 ans, résultats par m<sup>2</sup> pour 100 ans, résultats par m<sup>2</sup> par an). On pourrait faire un tableau avec les différentes valeurs puis un seul graphe montrant les répartitions (par exemple pour le bâtiment sur 100 ans ou alors par m<sup>2</sup> par an). Par ailleurs, compte tenu de l'incertitude sur les résultats, on pourrait réduire le nombre de chiffres significatifs dans les tableaux ou graphes de résultats. Enfin, il serait souhaitable de rappeler le ou les seuils de signification retenus à côté des principaux tableaux/graphes de résultat.

*R: Nous revoyons la présentation des résultats en conservant pour chaque indicateur, le tableau des résultats, et deux graphes pour le périmètre matériaux et global en m<sup>2</sup>/an.*

*Avis: Réponse satisfaisante.*

---

32. (Remarque): Les résultats d'HQE Performance affichent des valeurs différentes: sur 100 ans, les produits et matériaux de construction pèsent environ 20 % de l'EPT (Voir annexe). Serait-il possible de redécouper le bâtiment suivant le découpage proposé dans HQE Performance pour analyser les résultats lot par lot au regard des premiers ordres de grandeurs définis ?

Réseaux divers / Aménagement extérieur et Voirie / Fondations et Infrastructure / Structure – Maçonnerie – Gros-Œuvre – Verticale / Structure – Maçonnerie

– Gros-Œuvre – Horizontale / Toiture : Charpente – Couverture – Etanchéité / Cloisonnement – Plafonds suspendus – Menuiseries intérieures / Isolation / Finition de façades / Menuiseries extérieures / Chape - Revêtements intérieurs des sols et murs - Peintures - Produits de décoration / Equipements de production de chaleur et de froid et Ventilation / Equipements sanitaires / Solutions pour installations électrique et domotique / Equipement de transport internes et Escaliers (int et ext) / Equipement de production locale d'électricité / Autre

*R : Le découpage des résultats par familles de produits a été réalisé.*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

### **8.4.6 - Conclusions de l'étude**

---

33. (Remarque) : Il faut rappeler dans la conclusion les principales limites de l'étude. Il faudrait notamment rajouter dans la conclusion une limite concernant le fait qu'il n'a pas été possible de réaliser d'analyses de sensibilité sur le recyclage et une limite sur le fait que certaines évolutions qui pourraient éventuellement avoir lieu durant la durée de vie de l'ouvrage n'ont pas été considérées (évolution des filières de production d'énergie par exemple) (voir propositions en suivi de modification dans le rapport).

*R : Nous avons pris en compte ce commentaire dans la conclusion.*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

34. (Remarque) : Il serait intéressant d'intégrer un paragraphe sur les leviers d'action visant à réduire l'impact environnemental de ce type de bâtiment.

*R : Ce n'est malheureusement pas le but de l'étude, nous avons rajouté dans les limites que ce n'était pas dans les objectifs de l'étude et nous le proposons en ouverture dans la conclusion.*

Avis: Réponse satisfaisante.

---

### **8.4.7 - Remarques éditoriales**

---

35. (Remarque) : Il faut compléter la présentation synthétique des résultats en rappelant les principales limites de l'étude, le ou les seuils de signification retenus et présentant les principaux éléments nécessaires en termes d'analyse et d'interprétation des résultats.

*R : La rédaction a été revue en ce sens.*

Avis: Réponse satisfaisante.

---



Chapitre 9

# Remerciements

Les partenaires du projet remercient le panel de revue critique pour son implication, ses commentaires, ses demandes de modification de certaines hypothèses qui ont nécessité de réaliser des études de sensibilité qui donnent encore plus de poids et de crédit à cette étude. Toutes les demandes des membres du panel de revue critique ont fait l'objet de réponses qui ont donné satisfaction aux intervenants et ont toutes fait l'objet d'une publication soit dans le corps de l'étude sous forme de remarques, soit sous forme de résultats d'études de sensibilité, soit sous forme de questions-réponses-commentaires dans le rapport final de revue critique. De ce point de vue, la transparence est totale, reconnue comme telle par l'ensemble des participants ce, conformément aux exigences normatives en la matière et permet d'être à l'aise dans l'exploitation que les uns et les autres seront amenés à faire des analyses et conclusions de ce rapport.

Au titre de CIMbéton nous souhaitons particulièrement remercier les experts qui ont donné de leur temps et apporté tout leur savoir faire pour faire de cette étude un outil utile pour les acteurs de l'acte de construire.

Laurent Truchon

Directeur Délégué Bâtiment,  
Cimbéton

Ont participé à l'étude :

- CIMbéton : Laurent Truchon, Judith Hardy, François L'Huillier et Alain Birault
- C&E ingénierie : Jean-Marc Weill
- Z2C : Louis Zimmer
- Tribu Energie : Bernard Sésolis et Jean-Pascal Giraud
- PwC : François Thueux, Amélie André, Ladislav Smia, Quentin Soissons et Florent Dubois.



Chapitre

# 10 Annexes

# 10.1 Annexe A

## Détails des FDES et des modélisations utilisées pour évaluer les impacts environnementaux des bâtiments étudiés

Liste des éléments utilisés	Année	Famille	Durée de vie considérée pour l'étude (en années)	UF retenue pour l'étude	EPT (MJ) relative à l'UF	Changement climatique (kg éq.CO <sub>2</sub> ) relatif à l'UF	Sources	Hypothèses principales
Fouilles enlevées	2008	Fondation	100	1 m	190,3	15,12	Modélisation à partir d'une consommation moyenne d'engins de chantier issue de projets précédents	Consommation 75 litres de fioul pour 250 m <sup>3</sup> , évacuation par route sur 50 km, mise en décharge classe III, énergie de traitement des déchets pris en compte
Acier à béton	2007	Structure	100	1 kg	14,9	1,042	Modélisation à partir de l'ICV disponible publiquement sur la base ELCD.	Le module ELCD considère un recyclage moyen de 80 % et inclut les impacts évités dus à ce multi recyclage. Voir annexe B pour plus de détails Transport et mise en décharge: distance de 50 km Fin de vie: mise en décharge de classe III car non séparé du béton
Béton C30 37 CEM II	2009	Structure	100	1 m <sup>3</sup>	2595	309,2	Modélisation à partir des ICV de l'ATILH publiés en 2009 et des hypothèses des FDES du SNBPE	Les ICV du ciment ont fait l'objet d'une revue critique en 2011. Il n'y a pas de prise en compte d'impacts liés au laitier. Hypothèses des FDES du SNBPE pour le reste (cf base INIES), pas de recarbonation en vie en œuvre. Énergie de traitement des déchets considérés. Fin de vie: valorisation à 42 % et mise en décharge de classe III à 58 %
Béton C40 50 CEM II	2009	Structure	100	1 m <sup>3</sup>	3159	390,7		
Béton C35 45 CEM III B	2009	Structure	100	1 m <sup>3</sup>	1840	151,1		
Coffrage Béton	2007	Structure	100	1 m <sup>2</sup>	5,269	0,4795	Modélisation à partir des hypothèses des FDES du SNBPE 2007	Banches en acier réutilisées 1000 fois
DAP 28	2005	Structure	100	1 m <sup>2</sup>	511,7	52,90	FDES « Dalle alvéolée en béton précontraint »	Revue critique par O <sub>2</sub> Pas de recarbonation en vie en œuvre Mise en décharge de classe III en fin de vie Considération d'une portion recyclé en fin de vie
Façade 50 % opaques	2004	Façade	40	1 m <sup>2</sup>	844,6	42	FDES réalisée suivant la norme XP 01-010 de la façade grill Technal Géode avec 50 % de surface opaque et 50 % de surface transparente mars 2004	Récupération de l'aluminium en fin de vie, les autres matières sont des déchets inertes.
Blocs béton 15 cm	2006	Structure	100	1 m <sup>2</sup>	130,5	11,75	Adaptation de FDES «Mur en maçonnerie de blocs en béton »	Facteur de conversion: 15 cm/25 cm hypothèse validé avec le CERIB Prise en compte de la recarbonation en vie en œuvre

Liste des éléments utilisés	Année	Famille	Durée de vie considérée pour l'étude (en années)	UF retenue pour l'étude	EPT (MJ) relative à l'UF	Changement climatique (kg éq.CO <sub>2</sub> ) relatif à l'UF	Sources	Hypothèses principales
Superstructure acier	2007	Structure	100	1 kg	21,32	1,315	Adaptation de la FDES « Poutrelle en acier »	Facteur de conversion : 57,1 kg/m En l'absence de données plus précises, l'adaptation de cette FDES a été validé dans le cadre d'un autre projet avec Construir'Acier Les hypothèses complexes de recyclage et de fin de vie sont détaillées dans l'annexe B Les impacts du laitier, co-produit de l'acier, sont déduits de l'acier
Cloison coupe-feu	2006	Cloisonnement	50	1 m <sup>2</sup>	66,5	3,4	FDES « Plaque de plâtre Pregyflam standard BA15 »	Fin de vie en décharge de classe II
Revêtement sol PVC	2005	Revêtement de sol	25	1 m <sup>2</sup>	356	9,1	FDES « Revêtement de sol PVC sur mousse (VSM U3/U4) »	Mise en décharge de classe II en fin de vie
Etanchéité bicouche	2007	Couverture / Etanchéité	90	1 m <sup>2</sup>	990	23,9	FDES « Revêtement d'étanchéité bicouche bitume-polymère sous gravillons » du CSFE	Mise en décharge de classe III
Porte	2009	Menuiserie intérieure	30	Unité	315,8	-6,48	Modélisation à partir de données du FCBA	Mise en décharge pour déchets non dangereux
Panneau particules bois	2009	Cloisonnement	50	1 m <sup>2</sup>	522	-18	Adaptation de la FDES « Panneau de particules de bois de type P2 »	Facteur de conversion 30 mm /18,5 mm Fin de vie : mise en décharge pour déchets non dangereux
Cloison isophonique	2006	Cloisonnement	50	1 m <sup>2</sup>	161,9	6,911	Modélisation par 2 plaques de Pregyplac BA 13 de part et d'autre d'un panneau acoustique 45 mm PAR d'Isover	Mise en décharge de classe II
Isolant laine de verre 100 mm	2011	Isolation	100	1 m <sup>2</sup>	110,7	6,478	FDES « Panneau de laine de verre GR 32 NU » d'ISOVER	Mise en décharge de classe II
Isolant fibre de bois et laine de roche Coupe-feu 125mm.	2007	Isolation	50	1 m <sup>2</sup>	488,8	18,06	FDES « Panneau isolant FIBRAROC Clarté E 125 mm »	Validation par Knauf de l'approximation de l'isolant choisi par un autre Mise en décharge de classe II
Isolant PSE 170 mm	2006	Isolation	50	1 m <sup>2</sup>	255	16,7	Extrapolation des FDES « Panneau isolant NAUF Therm TTI »	Facteur de conversion : règle de proportionnalité par rapport à l'épaisseur de 200 mm disponible Validation par Knauf de l'approximation
Plaque plâtre BA 13 (sans pare-feu)	2006	Cloisonnement	50	1 m <sup>2</sup>	49,29	2,47	FDES « Plaque de plâtre Pregyplac standard BA13 »	Mise en décharge de classe II
Plaque plâtre BA 13 (avec pare-feu)	2006	Cloisonnement	50	1 m <sup>2</sup>	69,9	3,19	FDES « Plaque de plâtre Pregyflam standard BA13 »	Mise en décharge de classe II
Carrelage	2008	Revêtement de sol	50	1 m <sup>2</sup>	29,32	3,373	Modélisation issus de projets précédents d'Ecobilan	Mise en décharge de classe II
Carreau de plâtre	2003	Cloisonnement	50	1 m <sup>2</sup>	331	16,4	modélisation à partir de FDES de plaque de plâtre	Mise en décharge de classe II
Profilé aluminium	2005	Revêtement de sol	50	1 m	176,6	11,61	Modélisation issus de projets précédents d'Ecobilan	85 % recyclé et 15 % mise en décharge
Ossature acier galvanisé	2008	Cloisonnement	50	1 kg	18,0	1,44	Modélisation issus de projets précédents d'Ecobilan ; données acier galvanisé : Worldsteel 2008	Voir annexe B pour plus de détails Fin de vie Mise en décharge classe 2

## 10.2 Annexe B

### Détail des hypothèses des produits de construction acier

#### 10.2.1 - Superstructure acier

---

En l'absence de FDES correspondant directement à la nuance d'acier, à la section et à la mise en œuvre de la structure acier et en cohérence avec des projets menés avec Construir'Acier, il a été décidé d'utiliser la FDES de la poutrelle en acier de Construir'Acier (anciennement OTUA) de décembre 2007. Les impacts environnementaux de la FDES de la poutrelle en acier ont été ramenés à un kg d'acier pour les faire correspondre au tonnage total.

Les hypothèses de cette modélisation sont les suivantes.

- Le laitier est considéré comme un co-produit de l'acier et les impacts du laitier sont donc déduits de ceux de l'acier. (À l'inverse, dans les données utilisées pour le béton, le laitier est considéré comme un déchet des aciéries et aucun impact ne lui est attribué. L'incohérence de ces deux approches conduit à la non prise en compte des impacts du laitier.)

- Phase de production

Un inventaire de cycle de vie de production de la World Steel Association (anciennement IISI) de 2006 est utilisé. Cet inventaire correspond à la production d'un kg d'acier pour poutrelle et est calculé avec une hypothèse de multirecyclage.

Le taux d'acier recyclé entrant dans la production ainsi que le taux de recyclage de cet acier en fin de vie est de 87 %.

- Phase de fin de vie

2 % des produits sont mis en décharge, 11 % sont réutilisés et 87 % sont recyclés, ce qui donne un taux de déchets valorisés de 98 %. Conformément à la norme NF P 01-010, le recyclage est traité avec la méthode des stocks. Il n'y a pas de prise en compte d'impacts évités.

## 10.2.2 - Acier à béton

---

Il n'existe pas de FDES de l'acier pour béton. PwC a donc réalisé en 2009 pour le projet QEB Logement une modélisation spécifique.

- Phase de production

Un inventaire de cycle de vie de production de la World Steel Association (anciennement IISI) de 2007 est utilisé. Cet inventaire correspond à la production d'un kg d'acier pour béton (steel reinforced bar) et est calculé avec une hypothèse de multirecyclage. Cet inventaire est publiquement disponible sur la base ELCD.

Le taux d'acier recyclé entrant dans la production ainsi que le taux de recyclage de cet acier en fin de vie est de 80 %.

- Phase de fin de vie

En fin de vie, 100 % de l'acier en part en décharge. Il n'y a pas d'impacts évités dus à une production évitée d'acier.

## 10.2.3 - Banches en acier

---

Les impacts environnementaux des banches en acier sont négligeables à l'échelle du bâtiment par rapport aux autres produits.

- Phase de production

Les banches en acier sont modélisées de la même manière que dans les FDES des murs en béton publiés par le SNBPE en 2007. Le module utilisé est celui de la production de plaque d'acier ECCS (Electrolytic Chrome Coated Steel) et provient de base de données BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) qui date de 1996. Il s'agit ici d'une approximation compte tenu du fait que le type d'acier utilisé pour les banches n'est pas chromé.

Ces banches sont considérées comme étant réutilisées 1 000 fois. Les impacts dus à la production de ces banches sont donc divisés d'autant pour prendre en compte la réutilisation.

- Phase de fin de vie

La fin de vie de ces matériaux n'est pas prise en compte. Seule la phase de production est considérée.

### 10.2.4 - Acier galvanisé

---

- Module de production d'acier galvanisé

Un inventaire de cycle de vie de production d'acier galvanisé (Hot Dip Galvanized Coil) de la World Steel Association (anciennement IISI) de 2008 est utilisé. Cet inventaire correspond à la production moyenne en Europe d'un kg d'acier galvanisé et est calculé avec une hypothèse de multirecyclage.

Le taux d'acier recyclé entrant dans la production ainsi que le taux de recyclage de cet acier en fin de vie est de 85 %.

- Autres phases

Les hypothèses utilisées pour la transformation de l'acier galvanisé en armatures pour plaque de plâtre sont celles utilisées pour les FDES de cloison de plâtre. En particulier, la fin de vie considérée est une mise en décharge.

# 10.3 Annexe C

## Mètres utilisés pour la modélisation du bâtiment

<i>Grande section</i>	<i>Élément</i>	<i>Type ciment</i>	<i>Durée de vie</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité initiale Bâtiment béton</i>	<i>Quantité Bâtiment béton après renouvellement</i>	<i>Quantité initiale Bâtiment Acier</i>	<i>Quantité Bâtiment acier après renouvellement</i>
FACADES	Façade		40	m <sup>2</sup>	4 302	12 906	4 302	12 906
	Carreau de plâtre		50	m <sup>2</sup>	1 536	3 072	1 536	3 072
INFRA-STRUCTURE	Acier à Béton		100	kg	97 855	97 855	79 968	79 968
	Béton	CEM II - C30/37	100	m <sup>3</sup>	476	476	476	476
		CEM II - C40/50	100	m <sup>3</sup>	26	26	26	26
		CEM III B - C35/45	100	m <sup>3</sup>	1 283	1 283	1 283	1 283
	Coffrage		100	m <sup>2</sup>	5 528	5 528	5 528	5 528
	Parpaings		100	m <sup>2</sup>	58	58	58	58
	Fouilles enlevées		100	m <sup>3</sup>	12 324	12 324	12 324	12 324
Isolant fibre de bois/laine de roche		50	m <sup>2</sup>	1 473	2 946	1 473	2 946	
NOYAU	Acier à Béton		100	kg	26 529	26 529	3 310	3 310
	Béton	CEM II - C30/37	100	m <sup>3</sup>	664	664	83	83
	Coffrage		100	m <sup>2</sup>	5 794	5 794	427	427
	Parpaings		100	m <sup>2</sup>	0	0	2 798	2 798
SUPER-STRUCTURE	Acier à Béton		100	kg	163 374	163 374	20 089	20 089
	Acier poutre		100	kg	0	0	736 178	736 178
	Béton	CEM II - C30/37	100	m <sup>3</sup>	1 246	1 246	1 439	1 439
		CEM II - C40/50	100	m <sup>3</sup>	132	132	0	0
	Coffrage		100	m <sup>2</sup>	5 639	5 639	764	764
	Bac collaborant		100	m <sup>2</sup>	0	0	8 987	8 987
	DAP 28		100	m <sup>2</sup>	8 469	8 469	0	0
	Isolant laine de verre 100 mm		50	m <sup>2</sup>	427	854	427	854
	Isolant PSE SE		50	m <sup>2</sup>	959	1 918	959	1 918
Revêtement d'étanchéité		90	m <sup>2</sup>	959	1 918	959	1 918	

Grande section	Élément	Type ciment	Durée de vie	Unité	Quantité initiale Bâtiment béton	Quantité Bâtiment béton après renouvellement	Quantité initiale Bâtiment Acier	Quantité Bâtiment acier après renouvellement
SECOND ŒUVRE	Carrelage		50	m <sup>2</sup>	9 264	18 528	9 264	18 528
	Cloison coupe-feu		50	m <sup>2</sup>	5 312	10 624	13 795	27 590
	Ossature acier galvanisé		50	kg	62 114	124 228	77 871	155 742
	Panneau Acoustique		50	m <sup>2</sup>	8 460	16 920	8 460	16 920
	Panneau particules bois		50	m <sup>2</sup>	8 640	17 280	8 640	17 280
	Plaque plâtre BA 13 (pare-feu)		50	m <sup>2</sup>	-		1 293	2 586
	Plaque plâtre BA 13 (non pare-feu)		50	m <sup>2</sup>	16 920	33 840	16 920	33 840
	Porte		30	U	704	2 816	704	2 816
	Profilé aluminium		50	m	20 175	40 350	20 175	40 350
	Revêtement sol PVC		25	m <sup>2</sup>	8 070	32 280	8 070	32 280
	Acier (plaque pour plancher technique)		100	kg	31 070	31 070	31 070	31 070

Informations complémentaires sur le gros œuvre

Élément	Poids total bâtiment béton (arrondi à 10 t)	Poids total bâtiment acier (arrondi à 10 t)
<b>Béton</b>	Infrastructure: 4 100 t	Infrastructure: 4 100 t
	Superstructure: 3 170 t	Superstructure: 3 310 t
<b>Acier (poutre, poteau et bac collaborant)</b>	-	740 t
<b>DAP 28</b>	2 440 t	-
<b>Acier à béton</b>	290 t	100 t

# 10.4 Annexe D

## Métrés du bureau d'étude

### 10.4.1 - QEB Bâtiment Tertiaire – Bordereau quantitatif TYPOLOGIE 1 : Béton

<i>N°</i>	<i>Ouvrage</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantités</i>
<b>1</b>	<b>INFRASTRUCTURE</b>		
1.1	Nivellement et implantation	u	1
1.2	Fouille en excavation pleine masse	m <sup>3</sup>	9783.000
1.3	Évacuation des terres	m <sup>3</sup>	9783.000
1.4	Apport de remblais compactés	m <sup>3</sup>	2541.000
1.5	Radier de fondation	béton aciers	m <sup>3</sup> kg 827.650 33 106
1.6	Poteaux béton en hauteur des sous-sols		
	– de 40 x 25 section	béton coffrage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 7.700 99.80 1 505
	– de 40 x 40 section	béton coffrage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 14.300 143.40 2 811
	– de 55 x 55 section	béton coffrage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 3.900 28.20 760
1.7	Voiles béton intérieurs		
	– de 0,30 épaisseur	béton banchage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 23.800 158.70 952
	– de 0,25 épaisseur	béton banchage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 123.640 989.20 4 861
	– de 0,20 épaisseur	béton banchage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 47.300 472.60 1 890
	– de 0,15 épaisseur	béton banchage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 18.800 250.60 751
	– de 0,08 épaisseur	béton banchage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 0.160 3.80 6
1.8	Voiles béton contre terre		
	– de 0,30 épaisseur	béton banchage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 241.200 1303.00 19 534

N°	Ouvrage	Unité	Quantités
1.9	Poutres béton – de 30 x 70 section	béton	m <sup>3</sup> 32.300
		coffrage	m <sup>2</sup> 129.30
		aciers	kg 4460
	– de 25 x 130 section	béton	m <sup>3</sup> 11.700
		coffrage	m <sup>2</sup> 85.50
		aciers	kg 1 615
	– de 20 x 130 section	béton	m <sup>3</sup> 6.700
		coffrage	m <sup>2</sup> 58.00
		aciers	kg 922
	– de 15 x 130 section	béton	m <sup>3</sup> 2.500
		coffrage	m <sup>2</sup> 28.30
		aciers	kg 345
1.10	Dalle de béton de 0,23 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 385.700
		coffrage	m <sup>2</sup> 1473.00
		coffrage de rives	ml 566.00
		aciers	kg 22370
	Isolant KNAUF Fibrastyroc clarté Th33 Coupe-feu U=0,267 de 0,125 ép. de 0,20 épaisseur		m <sup>2</sup> 1473.00
		béton	m <sup>3</sup> 27.000
		coffrage	m <sup>2</sup> 135.00
		aciers	kg 1567
1.11	Maçonneries Parpaings creux de 0,15 épaisseur	m <sup>2</sup>	58.20
1.12	Escaliers béton 1/2 volées droites paliers droits 2,70 x 1,30	u	8
		u	8
<b>2</b>	<b>SUPERSTRUCTURE</b>		
2.1	REZ-DE-CHAUSSÉE		
2.1.1	Poteaux béton intérieurs – de 55 x 55 section	béton	m <sup>3</sup> 2.400
		coffrage	m <sup>2</sup> 17.60
		aciers	kg 474
	– de 40 x 40 section	béton	m <sup>3</sup> 9.000
		coffrage	m <sup>2</sup> 89.60
		aciers	kg 1756
2.1.2	Voiles béton – de 0,30 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 81.400
		banchage	m <sup>2</sup> 542.40
		aciers	kg 3254
	Isolation thermique laine de verre ISOVER Gr32 roulé revêtu kraft U 0,292 ép. 0,10 m et plaque de plâtre de 13 mm sur ossature métallique	m <sup>2</sup>	427.40
2.1.3	Poutres – de 50 x 60 section	béton	m <sup>3</sup> 21.500
		coffrage	m <sup>2</sup> 98.10
		aciers	kg 2964

<b>N°</b>	<b>Ouvrage</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantités</b>
	Poutres		
	– de 50 x 70 section	béton m <sup>3</sup>	7.700
		coffrage m <sup>2</sup>	25.90
		aciers kg	1066
	– de 25 x 130 section	béton m <sup>3</sup>	3.400
		coffrage m <sup>2</sup>	22.60
		aciers kg	464
	– de 15 x 130 section	béton m <sup>3</sup>	2.300
		coffrage m <sup>2</sup>	26.70
		aciers kg	316
2.1.4	Plancher haut du R.de C. DAP 28 + 5 plancher alvéolaire préfabriqué DAP 28 Dalle de compression 0,05 ép.	béton m <sup>3</sup>	936.10 47.000
		aciers kg	2676
		coffrage m <sup>2</sup>	0
	Dalle béton 0,20 ép.	béton m <sup>3</sup>	11.500
		coffrage m <sup>2</sup>	57.30
		aciers kg	654
2.2	ETAGES		
2.2.1	Poteaux béton intérieurs		
	– de 55 x 55 section	béton m <sup>3</sup>	16.500
		coffrage m <sup>2</sup>	119.70
		aciers kg	3230
	– de 40 x 40 section	béton m <sup>3</sup>	104.500
		coffrage m <sup>2</sup>	1044.50
		aciers kg	20478
2.2.2	Voiles béton de 0,30 épaisseur	béton m <sup>3</sup>	96.300
		banchage m <sup>2</sup>	641.90
		aciers kg	30822
2.2.3	Poutres en béton		
	– de 50 x 60 section	béton m <sup>3</sup>	311.000
		coffrage m <sup>2</sup>	1420.30
		aciers kg	42924
	– de 55 x 70 section	béton m <sup>3</sup>	62.400
		coffrage m <sup>2</sup>	191.40
		aciers kg	8611
	– de 55 x 70 section	béton m <sup>3</sup>	62.400
		coffrage m <sup>2</sup>	191.40
		aciers kg	8611
	– de 25 x 130 section	béton m <sup>3</sup>	31.000
		coffrage m <sup>2</sup>	208.80
		aciers kg	4272
	– de 15 x 130 section	béton m <sup>3</sup>	16.000
		coffrage m <sup>2</sup>	166.40
		aciers kg	2208
2.2.4	Planchers (PH +1 à PH + 7) DAP 28 + 5 plancher alvéolaire préfabriqué DAP 28 Dalle de compression 0,05 ép.	béton m <sup>3</sup>	6573.70 328.700
		aciers kg	18735
		coffrage m <sup>2</sup>	0
	Dalle béton de 0,20 épaisseur	béton m <sup>3</sup>	80.300
		coffrage m <sup>2</sup>	401.30
		aciers kg	4575

N°	Ouvrage	Unité	Quantités		
2.2.5	Plancher (PH + 8) plancher alvéolaire préfabriqué DAP 28 Dalle de compression 0,05	béton	m <sup>2</sup> 959.40		
		acières	m <sup>3</sup> 48.000		
		coffrage	kg 2734		
			m <sup>2</sup> 0		
	Isolation thermique KNAUF therm TTI Th 34 SE ép. 0,17 mm Dalle béton de 0,20 épaisseur		m <sup>2</sup> 959.40		
		béton	m <sup>3</sup> 11.500		
		coffrage	m <sup>2</sup> 57.30		
		acières	kg 654		
	2.2.6	Acrotère	béton	m <sup>3</sup> 23.700	
			coffrage	m <sup>2</sup> 316.00	
acières			kg 1896		
2.2.7	Étanchéité multicouche	m <sup>2</sup>	959.40		
<b>3</b>	<b>NOYAU</b>				
3.1	REZ-DE-CHAUSSÉE				
3.1.1	Voiles béton – de 0,25 épaisseur  – de 0,20 épaisseur  – de 0,15 épaisseur  – de 0,08 épaisseur  – de 0,05 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 51.700		
		banchage	m <sup>2</sup> 413.30		
		acières	kg 2066		
		béton	m <sup>3</sup> 42.700		
		banchage	m <sup>2</sup> 427.40		
		acières	kg 1710		
		béton	m <sup>3</sup> 17.500		
		banchage	m <sup>2</sup> 234.60		
		acières	kg 701		
		béton	m <sup>3</sup> 0.300		
		banchage	m <sup>2</sup> 4.80		
		acières	kg 12		
		béton	m <sup>3</sup> 0.100		
		banchage	m <sup>2</sup> 4.80		
		acières	kg 5		
		3.1.2	Escaliers béton 1/2 volées droites paliers droits 2,70 x 1,30	u	4
				u	4
		3.2	ETAGES		
3.2.1	Voiles béton – de 0,25 épaisseur  – de 0,15 épaisseur  – de 0,08 épaisseur  – de 0,05 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 401.640		
		banchage	m <sup>2</sup> 3205.12		
		acières	kg 16026		
		béton	m <sup>3</sup> 108.480		
		banchage	m <sup>2</sup> 1446.40		
		acières	kg 4339		
		béton	m <sup>3</sup> 0.800		
		banchage	m <sup>2</sup> 19.20		
		acières	kg 32		
		béton	m <sup>3</sup> 0.960		
		banchage	m <sup>2</sup> 38.40		
		acières	kg 38		

<b>N°</b>	<b>Ouvrage</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantités</b>
3.2.2	Escaliers Escaliers béton 1/2 volées droites paliers droits 2,70 x 1,30	u u	28 28
<b>4</b>	<b>FACADES</b>		
4.1	Murs rideaux – parties vitrées sur ossature aluminium TECHNAL Géode vitrage cool lite classic SR132 + planitherm futur N – parties pleines sur ossature aluminium TECHNAL Géode vitrage cool lite classic SR132 + isolant laine de roche + cloison de doublage carreaux de plâtre de 50 mm m <sup>2</sup> – étanchéité CF à chaque rive de plancher par tôles d'acier galva. + bourrage laine de roche comprimée (360 kg/m <sup>3</sup> ) – étanchéité CF au devant ossature en façade par capotage en tôle d'aluminium, laine de roche comprimée (360 kgs/m <sup>3</sup> ) et tôle d'acier galva 20/10ème	m <sup>2</sup> 2151.00 ml ml	2151.00 1202.00 874.00

#### 10.4.2 - QEB Bâtiment Tertiaire – Bordereau quantitatif TYPOLOGIE 2: Acier

<b>N°</b>	<b>Ouvrage</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantités</b>
<b>1</b>	<b>INFRASTRUCTURE</b>		
1.1	Nivellement et implantation	u	1
1.2	Fouille en excavation pleine masse	m <sup>3</sup>	9783.000
1.3	Évacuation des terres	m <sup>3</sup>	9783.000
1.4	Apport de remblais compactés	m <sup>3</sup>	2541.000
1.5	Radier de fondation	béton aciers	m <sup>3</sup> kg 827.650 33 106
1.6	Poteaux béton en hauteur des sous-sols		
	– de 40 x 25 section	béton coffrage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 7.700 99.80 1 505
	– de 40 x 40 section	béton coffrage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 14.300 143.40 2 811
	– de 55 x 55 section	béton coffrage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 3.900 28.20 760
1.7	Voiles béton intérieurs		
	– de 0,30 épaisseur	béton coffrage aciers	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> kg 23.800 158.70 952

N°	Ouvrage	Unité	Quantités	
	Voiles béton intérieurs			
	– de 0,25 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 123.640	
		coffrage	m <sup>2</sup> 989.20	
		aciers	kg 4946	
	– de 0,20 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 47.300	
		coffrage	m <sup>2</sup> 472.60	
		aciers	kg 1 890	
	– de 0,15 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 18.800	
		coffrage	m <sup>2</sup> 250.60	
		aciers	kg 751	
	– de 0,08 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 0.160	
		coffrage	m <sup>2</sup> 3.80	
		aciers	kg 6	
	1.8	Voiles béton contre terre		
		– de 0,30 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 241.200
		coffrage	m <sup>2</sup> 1303.00	
		aciers	kg 19534	
1.9	Poutres béton			
	– de 30 x 70 section	béton	m <sup>3</sup> 32.300	
		coffrage	m <sup>2</sup> 129.30	
		aciers	kg 4460	
	– de 25 x 130 section	béton	m <sup>3</sup> 11.700	
		coffrage	m <sup>2</sup> 85.50	
		aciers	kg 1 615	
	– de 20 x 130 section	béton	m <sup>3</sup> 6.700	
		coffrage	m <sup>2</sup> 58.00	
		aciers	kg 922	
	– de 15 x 130 section	béton	m <sup>3</sup> 2.500	
		coffrage	m <sup>2</sup> 28.30	
		aciers	kg 345	
1.10	Dalle de béton			
	de 0,23 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 385.700	
		coffrage	m <sup>2</sup> 1473.00	
		coffrage de rives	ml 566.00	
		aciers	kg 4398	
	Isolant KNAUF Fibrastyroclarté Th33			
	Coupe-feu U=0,267 de 0,125 ép.			
	de 0,20 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 27.000	
		coffrage	m <sup>2</sup> 135.00	
		aciers	kg 1567	
1.11	Maçonneries Parpaings creux de 0,15 épaisseur	m <sup>2</sup>	58.20	
1.12	Escaliers béton			
	1/2 volées droites	u	8	
	paliers droits 2,70 x 1,30	u	8	

<b>N°</b>	<b>Ouvrage</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantités</b>	
<b>2</b>	<b>SUPERSTRUCTURE</b>			
2.1	REZ-DE-CHAUSSÉE			
2.1.1	Poteaux aciers intérieurs HEA 500 PRS 400 x 30 / 520 x 20 HEB 500	kgs kgs kgs	9374 2333 11312	
2.1.2	Voiles béton – de 0,30 épaisseur	béton coffrage aciers	m³ m² kg	67.200 448.00 2688
	Isolation thermique laine de verre ISOVER Gr32 roulé revêtu kraft U 0,292 ép. 0,10 m et plaque de plâtre de 13 mm sur ossature métallique		m²	427.40
2.1.3	Poutres aciers HEA 300 ACB HEA 260-375 ACB HEA 300-435 ACB HEA 340-495 ACB HEA 400-585	kgs kgs kgs kgs kgs	17638 399 868 12037 7247	
2.1.4	Plancher haut du R.de C. Plancher collaborant	bac collaborant béton aciers	m² m³ kg	996.40 149.500 1719
2.2	ETAGES			
2.2.1	Poteaux aciers intérieurs HEA 500 PRS 400 x 30 / 520 x 20 HEB 500	kgs kgs kgs	109279 15863 76922	
2.2.2	Poutres en acier HEA 300 ACB HEA 400-585 ACB HEA 340-495 ACB HEA 260-375 ACB HEA 300-435	kgs kgs kgs kgs kgs	188724 86969 96301 3194 6945	
2.2.3	Plancher haut (PH 1 à PH 7) Plancher collaborant	bac collaborant béton aciers	m² m³ kg	6974.80 1046.220 12032
2.2.4	Plancher (PH + 8) Plancher collaborant	bac collaborant béton aciers	m² m³ kg	1016.00 152.510 1754
	Isolation thermique KNAUF therm TTI Th 34 SE ép. 0,17 mm		m²	959.40
2.2.5	Acrotère	béton coffrage aciers	m³ m² kg	23.700 316.00 1896
2.2.6	Étanchéité multicouche		m²	959.40

N°	Ouvrage	Unité	Quantités
<b>3</b>	<b>NOYAU</b>		
3.1	REZ-DE-CHAUSSÉE		
3.1.1	Voiles béton – de 0,20 épaisseur	béton banchage aciers	m <sup>3</sup> 42.700 m <sup>2</sup> 427.40 kg 1710
3.1.2	Maçonneries – parpaings creux de 0,20 ép. – parpaings creux de 0,15 ép.	m <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	220.10 148.50
3.1.3	Escaliers béton 1/2 volées droites paliers droits 2,70 x 1,30	u u	4 4
3.2	ETAGES		
3.2.1	Maçonneries – parpaings creux de 0,20 ép. – parpaings creux de 0,15 ép.	m <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	1467.00 961.90
3.2.2	Escaliers béton 1/2 volées droites paliers droits 2,70 x 1,30	u u	28 28
<b>4</b>	<b>FACADES</b>		
4.1	Murs rideaux  – parties vitrées sur ossature aluminium TECHNAL Géode vitrage cool lite classic SR132 + planitherm futur N – parties pleines sur ossature aluminium TECHNAL Géode vitrage cool lite classic SR132 + isolant laine de roche + cloison de doublage carreaux de plâtre de 50 mm – étanchéité CF à chaque rive de plancher par tôles d'acier galva. + bourrage laine de roche comprimée (360 kg/m <sup>3</sup> ) – étanchéité CF au devant ossature en façade par capotage en tôle d'aluminium, laine de roche comprimée (360 kgs/m <sup>3</sup> ) et tôle d'acier galva 20/10°	m <sup>2</sup>  m <sup>2</sup>  ml  ml	2151.00  2151.00  1202.00  874.00

## 10.4.3 - Second œuvre

### TYPLOGIE 2 – Acier

<b>Ouvrage</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantités</b>	<b>Observations</b>
<b>SUPERSTRUCTURE REZ-DE-CHAUSSÉE</b>			
Poteaux intérieurs	ml	120	– 1 plaque plâtre Prégyflam BA13 : 2,00 m <sup>2</sup> /au ml – ossature métallique : 4,00 ml/au ml
Poutres	ml	323	– 1 plaque plâtre Prégyflam MO BA15 : 1,00 m <sup>2</sup> /au ml – ossature métallique : 4,00 ml/au ml
Sous-face des planchers collaborant hors plafonds prévus dans circulations centrales	m <sup>2</sup>	625	– plaques plâtre Prégyflam BA13 : 1,00 m <sup>2</sup> /au m <sup>2</sup> – ossature métallique : 2,20 ml/au m <sup>2</sup>
<b>ETAGES</b>			
Poteaux intérieurs	ml	214	– 1 plaque plâtre Prégyflam BA13 : 2,00 m <sup>2</sup> /au ml – ossature métallique : 4,00 ml/au ml
Poutres	ml	3160	– 1 plaque plâtre Prégyflam MO BA15 : 1,00 m <sup>2</sup> /au ml – ossature métallique : 4,00 ml/au ml
Sous-face des planchers collaborant hors plafonds prévus dans circulations centrales avec plénum obligatoire de 150 mm minimum	m <sup>2</sup>	5000	– 1 plaque plâtre Prégyflam MO BA15 : 1,00 m <sup>2</sup> /au ml – ossature métallique : 2,20 ml/au m <sup>2</sup>

### TYPLOGIES 1 béton et 2 acier

<b>Ouvrage</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantités</b>	<b>Observations</b>
<b>SUPERSTRUCTURE REZ-DE-CHAUSSÉE ET ETAGES</b>			
Plafonds plaques de plâtre 15 mm sur ossature	m <sup>2</sup>	3350	– 1 plaque plâtre Prégyflam MO BA15 : 1,00 m <sup>2</sup> /au ml – ossature métallique : 2,10 ml/au ml

## 10.4.4 - Plancher technique

### TPOLOGIES 1 béton et 2 acier

Ouvrage	Unité	Quantités	Observations
<b>SUPERSTRUCTURE ETAGES</b>			
<u>Pas de plancher technique au rez de chaussée</u> Encoffrement des ouvrages métalliques porteurs par plaques de plâtre de 15 mm épaisseur sur ossature métallique	m <sup>2</sup>	8070	– dalle aggloméré bois 30 mm : 1,00 m <sup>2</sup> / au m <sup>2</sup> – plaque acier 0,5 mm : 1,00 m <sup>2</sup> / au m <sup>2</sup> – profil aluminium : 5,00 ml/au m <sup>2</sup> – vérins métalliques : 9 u/au m <sup>2</sup>
Revêtement de sol stratifié	m <sup>2</sup>	8070	

### TPOLOGIES 1 béton et 2 acier

Ouvrage	Unité	Quantités	Observations
<b>SUPERSTRUCTURE ETAGES</b>			
Cloisonnements			
– cloisons CF 1 H	m <sup>2</sup>	1962	
– cloisons isophoniques	m <sup>2</sup>	8460	
Revêtements de sols voir plancher technique			
Menuiseries intérieures			
– portes CF 1/2 H de 1,60 passage	u	112	
– portes CF 1/2 H de 0,80 passage	u	64	
– portes isophoniques de 0,80	u	256	
– portes isophoniques de 1,40	u	32	
Encoffrement des ouvrages métalliques porteurs par plaques de plâtre de 15 mm épaisseur sur ossature métallique			
– portes ordinaires de 0,80 passage	u	96	
– placards de rangement de 1,50 larg. x 2,20 hr	u	288	

## 10.4.5 - Scénarios optimisés (superstructure uniquement)

### TYPOLOGIES 1 béton

Ouvrage		Unité	Quantités
<b>SUPERSTRUCTURE</b>			
<b>REZ-DE-CHAUSSÉE</b>			
Poteaux béton intérieurs			
– de 55 x 55 section	béton	m <sup>3</sup>	2.400
	coffrage	m <sup>2</sup>	17.60
	aciers	kg	474
– de 40 x 40 section	béton	m <sup>3</sup>	11.76
	coffrage	m <sup>2</sup>	134.4
	aciers	kg	940.8
Voiles béton de 0,30 épaisseur	béton	m <sup>3</sup>	81.400
	banchage	m <sup>2</sup>	542.40
	aciers	kg	3254
Isolation thermique laine de verre ISOVER Gr32 roulé revêtu kraft U 0,292 ép. 0,10 m et plaque de plâtre de 13 mm sur ossature métallique		m <sup>2</sup>	427.40
Poutres			
– de 50 x 60 section	béton	m <sup>3</sup>	21.500
	coffrage	m <sup>2</sup>	98.10
	aciers	kg	2964
– de 50 x 70 section	béton	m <sup>3</sup>	7.700
	coffrage	m <sup>2</sup>	25.90
	aciers	kg	1066
– de 25 x 130 section	béton	m <sup>3</sup>	3.400
	coffrage	m <sup>2</sup>	22.60
	aciers	kg	464
– de 15 x 130 section	béton	m <sup>3</sup>	2.300
	coffrage	m <sup>2</sup>	26.70
	aciers	kg	316
Plancher haut du R.de C. DAP 28 + 5			
Plancher alvéolaire préfabriqué DAP 28		m <sup>2</sup>	936.10
Dalle de compression 0,05 ép.	béton	m <sup>3</sup>	47.000
	aciers	kg	2676
	coffrage	m <sup>2</sup>	0
Dalle béton 0,20 ép.	béton	m <sup>3</sup>	11.500
	coffrage	m <sup>2</sup>	57.30
	aciers	kg	654
<b>ETAGES</b>			
Poteaux béton intérieurs			
– de 55 x 55 section	béton	m <sup>3</sup>	16.500
	coffrage	m <sup>2</sup>	119.70
	aciers	kg	3230
– de 40 x 40 section	béton	m <sup>3</sup>	69.36
	coffrage	m <sup>2</sup>	848.64
	aciers	kg	10404
Voiles béton de 0,30 épaisseur	béton	m <sup>3</sup>	96.300
	banchage	m <sup>2</sup>	641.90
	aciers	kg	30822

<i>Ouvrage</i>		<i>Unité</i>	<i>Quantités</i>
Poutres en béton			
– de 50 x 60 section	béton	m <sup>3</sup>	311.000
	coffrage	m <sup>2</sup>	1420.30
	aciers	kg	42924
– de 55 x 70 section	béton	m <sup>3</sup>	62.400
	coffrage	m <sup>2</sup>	191.40
	aciers	kg	8611
– de 55 x 70 section	béton	m <sup>3</sup>	62.400
	coffrage	m <sup>2</sup>	191.40
	aciers	kg	8611
– de 25 x 130 section	béton	m <sup>3</sup>	31.000
	coffrage	m <sup>2</sup>	208.80
	aciers	kg	4272
– de 15 x 130 section	béton	m <sup>3</sup>	16.000
	coffrage	m <sup>2</sup>	166.40
	aciers	kg	2208
Planchers (PH +1 à PH + 7) DAP 28 + 5			
Plancher alvéolaire préfabriqué DAP 28		m <sup>2</sup>	6573.70
Dalle de compression 0,05 ép.	béton	m <sup>3</sup>	328.700
	aciers	kg	18735
	coffrage	m <sup>2</sup>	0
Dalle béton de 0,20 épaisseur	béton	m <sup>3</sup>	80.300
	coffrage	m <sup>2</sup>	401.30
	aciers	kg	4575
Plancher (PH + 8)			
Plancher alvéolaire préfabriqué DAP 28		m <sup>2</sup>	959.40
Dalle de compression 0,05	béton	m <sup>3</sup>	48.000
	aciers	kg	2734
	coffrage	m <sup>2</sup>	0
Isolation thermique KNAUF therm TTI Th 34 SE ép. 0,17 mm		m <sup>2</sup>	959.40
Dalle béton de 0,20 épaisseur	béton	m <sup>3</sup>	11.500
	coffrage	m <sup>2</sup>	57.30
	aciers	kg	654
Acrotère	béton	m <sup>3</sup>	23.700
	coffrage	m <sup>2</sup>	316.00
	aciers	kg	1896
Étanchéité multicouche		m <sup>2</sup>	959.40

## TPOLOGIES 2 Acier

Ouvrage	Unité	Quantités
<b>SUPERSTRUCTURE</b>		
<b>REZ-DE-CHAUSSÉE</b>		
Poteaux aciers intérieurs		
HEA 500	kgs	9374
PRS 400x30/520x20	kgs	2333
HEB 500	kgs	11312
Voiles béton de 0,30 épaisseur	béton	m <sup>3</sup> 67.200
	coffrage	m <sup>2</sup> 448.00
	aciers	kg 2688
Isolation thermique laine de verre ISOVER Gr32 roulé revêtu kraft U 0,292 ép. 0,10 m et plaque de plâtre de 13 mm sur ossature métallique		m <sup>2</sup> 427.40
Poutres aciers		
HEA 300	kgs	17638
ACB HEA 260-375	kgs	399.2
ACB HEA 300-435	kgs	868
ACB HEA 340-495	kgs	12037.6
ACB HEA 400-585	kgs	7247.4
Plancher haut du R.de C.		
Plancher collaborant	bac collaborant	m <sup>2</sup> 996.40
	béton	m <sup>3</sup> 149.500
	aciers	kg 1719
	chape armée 70 mm	m <sup>2</sup> 996.40
<b>ETAGES</b>		
Poteaux aciers intérieurs		
HEA 400	kgs	42600
HEA 340	kgs	34272
PRS 400 x 30 / 520 x 20	kgs	15863
HEB 500	kgs	76922
Poutres en acier		
HEA 300	kgs	188724
ACB HEA 400-585	kgs	86968.8
ACB HEA 340-495	kgs	96301.6
ACB HEA 260-375	kgs	3194.4
ACB HEA 300-435	kgs	6944.8
Plancher haut (PH 1 à PH 7)		
Plancher collaborant	bac collaborant	m <sup>2</sup> 6974.80
	béton	m <sup>3</sup> 1046.220
	aciers	kg 12032
Plancher (PH + 8)		
Plancher collaborant	bac collaborant	m <sup>2</sup> 1016.00
	béton	m <sup>3</sup> 152.510
	aciers	kg 1754
Isolation thermique KNAUF therm TTI Th 34 SE ép. 0,17 mm		m <sup>2</sup> 959.40
Acrotère	béton	m <sup>3</sup> 23.700
	coffrage	m <sup>2</sup> 316.00
	aciers	kg 1896
Étanchéité multicouche		m <sup>2</sup> 959.40

# 10.5 Annexe E

## Impacts détaillés des différents cas de figure

L'indicateur consommation d'eau est à considérer avec prudence. En effet la consommation d'eau des usagers lors de la vie en œuvre n'a pas été prise en compte. Une étude du SMEGREG<sup>11</sup> de 2007 donne une consommation de 100 à 150 litres/jour/m<sup>2</sup> pour les grands ensembles de bureaux multiservices (cantine, clim, réception de visiteurs nombreux, etc.). En prenant la limite basse de cette évaluation on obtient une consommation de 36,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/an ce qui rend la consommation d'eau du périmètre matériau totalement négligeable par rapport à la consommation directe d'eau durant la vie en œuvre.

Indicateurs	Unité		Béton H1a PAC	Acier H1a PAC	Béton H1a gaz	Acier H1a gaz	Béton H3 PAC	Acier H3 PAC	Béton H3 gaz	Acier H3 gaz
Énergie primaire totale	kWh	Matériaux de construction - Gros œuvre	9,9E+06	1,2E+07	9,9E+06	1,2E+07	9,9E+06	1,2E+07	9,9E+06	1,2E+07
	kWh	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	1,1E+08	1,2E+08	1,1E+08	1,1E+08	1,3E+08	1,4E+08	1,3E+08	1,3E+08
	kWh	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	1,2E+08	1,2E+08	1,2E+08	1,2E+08	1,2E+08	1,2E+08	1,2E+08	1,2E+08
	kWh	Matériaux de construction - Second œuvre	9,7E+06	1,0E+07	9,7E+06	1,0E+07	9,7E+06	1,0E+07	9,7E+06	1,0E+07
	kWh	Total EPT	2,5E+08	2,6E+08	2,4E+08	2,5E+08	2,7E+08	2,8E+08	2,6E+08	2,7E+08
Énergie non renouvelable	kWh	Matériaux de construction - Gros œuvre	9,5E+06	1,1E+07	9,5E+06	1,1E+07	9,5E+06	1,1E+07	9,5E+06	1,1E+07
	kWh	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	1,1E+08	1,2E+08	1,0E+08	1,1E+08	1,2E+08	1,3E+08	1,2E+08	1,3E+08
	kWh	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	1,1E+08	1,1E+08	1,1E+08	1,1E+08	1,1E+08	1,1E+08	1,1E+08	1,1E+08
	kWh	Matériaux de construction - Second œuvre	7,3E+06	7,8E+06	7,3E+06	7,8E+06	7,3E+06	7,8E+06	7,3E+06	7,8E+06
	kWh	Total ENR	2,4E+08	2,5E+08	2,3E+08	2,4E+08	2,5E+08	2,6E+08	2,5E+08	2,6E+08

11. Syndicat Mixte d'Étude pour la gestion de la Ressource en Eau du département de la Gironde.

Indicateurs	Unité		Béton H1a PAC	Acier H1a PAC	Béton H1a gaz	Acier H1a gaz	Béton H3 PAC	Acier H3 PAC	Béton H3 gaz	Acier H3 gaz
Épuisement des ressources	kg	Matériaux de construction - Gros œuvre	1,4E+04	1,6E+04	1,4E+04	1,6E+04	1,4E+04	1,6E+04	1,4E+04	1,6E+04
	kg	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	2,7E+04	2,9E+04	4,2E+04	4,5E+04	3,1E+04	3,3E+04	3,6E+04	3,8E+04
	kg	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	2,8E+04	2,8E+04	2,8E+04	2,8E+04	2,8E+04	2,8E+04	2,8E+04	2,8E+04
	kg	Matériaux de construction - Second œuvre	9,0E+03	9,7E+03	9,0E+03	9,7E+03	9,0E+03	9,7E+03	9,0E+03	9,7E+03
	kg	Total épuisement des ressources	7,8E+04	8,2E+04	9,2E+04	9,8E+04	8,1E+04	8,6E+04	8,7E+04	9,1E+04
Consommation totale d'eau	L	Matériaux de construction - Gros œuvre	2,4E+07	2,6E+07	2,4E+07	2,6E+07	2,4E+07	2,6E+07	2,4E+07	2,6E+07
	L	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	7,9E+07	8,3E+07	6,7E+07	7,0E+07	8,9E+07	9,4E+07	8,3E+07	8,6E+07
	L	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	8,0E+07	8,0E+07	8,0E+07	8,0E+07	8,0E+07	8,0E+07	8,0E+07	8,0E+07
	L	Matériaux de construction - Second œuvre	7,8E+06	8,8E+06	7,8E+06	8,8E+06	7,8E+06	8,8E+06	7,8E+06	8,8E+06
	L	Consommation d'eau totale	1,9E+08	2,0E+08	1,8E+08	1,8E+08	2,0E+08	2,1E+08	1,9E+08	2,0E+08
Changement climatique (méthode des stocks pour les laitiers)	kg	Matériaux de construction - Gros œuvre	2,7E+06	2,9E+06	2,7E+06	2,9E+06	2,7E+06	2,9E+06	2,7E+06	2,9E+06
	kg	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	4,1E+06	4,4E+06	5,7E+06	6,0E+06	4,7E+06	5,0E+06	5,2E+06	5,5E+06
	kg	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	4,2E+06	4,2E+06	4,2E+06	4,2E+06	4,2E+06	4,2E+06	4,2E+06	4,2E+06
	kg	Matériaux de construction - Second œuvre	8,5E+05	9,6E+05	8,5E+05	9,6E+05	8,5E+05	9,6E+05	8,5E+05	9,6E+05
	kg	Total Changement climatique	1,2E+07	1,2E+07	1,3E+07	1,4E+07	1,2E+07	1,3E+07	1,3E+07	1,4E+07

Indicateurs	Unité		Béton H1a PAC	Acier H1a PAC	Béton H1a gaz	Acier H1a gaz	Béton H3 PAC	Acier H3 PAC	Béton H3 gaz	Acier H3 gaz
Acidification atmosphérique	kg	Matériaux de construction - Gros œuvre	1,3E+04	1,3E+04	1,3E+04	1,3E+04	1,3E+04	1,3E+04	1,3E+04	1,3E+04
	kg	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	2,4E+04	2,5E+04	2,3E+04	2,4E+04	2,7E+04	2,8E+04	2,6E+04	2,7E+04
	kg	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	2,4E+04	2,4E+04	2,4E+04	2,4E+04	2,4E+04	2,4E+04	2,4E+04	2,4E+04
	kg	Matériaux de construction - Second œuvre	1,0E+04	1,1E+04	1,0E+04	1,1E+04	1,0E+04	1,1E+04	1,0E+04	1,1E+04
	kg	Acidification atmosphérique totale	7,1E+04	7,3E+04	7,0E+04	7,2E+04	7,4E+04	7,6E+04	7,3E+04	7,5E+04
Production totale des déchets éliminés	kg	Matériaux de construction - Gros œuvre	3,0E+07	2,8E+07	3,0E+07	2,8E+07	3,0E+07	2,8E+07	3,0E+07	2,8E+07
	kg	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	4,6E+05	4,8E+05	3,9E+05	4,0E+05	5,2E+05	5,5E+05	4,8E+05	5,0E+05
	kg	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	4,6E+05	4,6E+05	4,6E+05	4,6E+05	4,6E+05	4,6E+05	4,6E+05	4,6E+05
	kg	Matériaux de construction - Second œuvre	1,2E+06	1,6E+06	1,2E+06	1,6E+06	1,2E+06	1,6E+06	1,2E+06	1,6E+06
	kg	Déchets éliminés totaux	3,2E+07	3,1E+07	3,2E+07	3,1E+07	3,2E+07	3,1E+07	3,2E+07	3,1E+07
Production totale des déchets valorisés	kg	Matériaux de construction - Gros œuvre	4,9E+06	4,1E+06	4,9E+06	4,1E+06	4,9E+06	4,1E+06	4,9E+06	4,1E+06
	kg	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	7,3E+03	7,7E+03	6,3E+03	6,5E+03	8,4E+03	8,8E+03	7,8E+03	8,1E+03
	kg	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	7,5E+03	7,5E+03	7,5E+03	7,5E+03	7,5E+03	7,5E+03	7,5E+03	7,5E+03
	kg	Matériaux de construction - Second œuvre	5,5E+05	5,6E+05	5,5E+05	5,6E+05	5,5E+05	5,6E+05	5,5E+05	5,6E+05
	kg	Déchets valorisés totaux	5,5E+06	4,7E+06	5,5E+06	4,7E+06	5,5E+06	4,7E+06	5,5E+06	4,7E+06

<i>Indicateurs</i>	<i>Unité</i>		<i>Béton H1a PAC</i>	<i>Acier H1a PAC</i>	<i>Béton H1a gaz</i>	<i>Acier H1a gaz</i>	<i>Béton H3 PAC</i>	<i>Acier H3 PAC</i>	<i>Béton H3 gaz</i>	<i>Acier H3 gaz</i>
Pollution de l'air	m <sup>3</sup>	Matériaux de construction - Gros œuvre	2,9E+08	3,8E+08	2,9E+08	3,8E+08	2,9E+08	3,8E+08	2,9E+08	3,8E+08
	m <sup>3</sup>	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	3,3E+08	3,4E+08	3,0E+08	3,2E+08	3,7E+08	3,9E+08	3,6E+08	3,7E+08
	m <sup>3</sup>	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	3,3E+08	3,3E+08	3,3E+08	3,3E+08	3,3E+08	3,3E+08	3,3E+08	3,3E+08
	m <sup>3</sup>	Matériaux de construction - Second œuvre	2,5E+08	2,7E+08	2,5E+08	2,7E+08	2,5E+08	2,7E+08	2,5E+08	2,7E+08
	m <sup>3</sup>	Pollution de l'air totale	1,2E+09	1,3E+09	1,2E+09	1,3E+09	1,2E+09	1,4E+09	1,2E+09	1,3E+09
Pollution de l'eau	m <sup>3</sup>	Matériaux de construction - Gros œuvre	4,6E+06	4,5E+06	4,6E+06	4,5E+06	4,6E+06	4,5E+06	4,6E+06	4,5E+06
	m <sup>3</sup>	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	8,0E+05	8,4E+05	8,4E+05	8,8E+05	9,1E+05	9,6E+05	9,1E+05	9,5E+05
	m <sup>3</sup>	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	8,1E+05	8,1E+05	8,1E+05	8,1E+05	8,1E+05	8,1E+05	8,1E+05	8,1E+05
	m <sup>3</sup>	Matériaux de construction - Second œuvre	9,8E+05	1,0E+06	9,8E+05	1,0E+06	9,8E+05	1,0E+06	9,8E+05	1,0E+06
	m <sup>3</sup>	Pollution de l'eau totale	7,2E+06	7,2E+06	7,2E+06	7,3E+06	7,3E+06	7,3E+06	7,3E+06	7,3E+06
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg	Matériaux de construction - Gros œuvre	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	kg	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	kg	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	kg	Matériaux de construction - Second œuvre	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	kg	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique totale	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

<i>Indicateurs</i>	<i>Unité</i>		<i>Béton H1a PAC</i>	<i>Acier H1a PAC</i>	<i>Béton H1a gaz</i>	<i>Acier H1a gaz</i>	<i>Béton H3 PAC</i>	<i>Acier H3 PAC</i>	<i>Béton H3 gaz</i>	<i>Acier H3 gaz</i>
Formation d'ozone photochimique	kg	Matériaux de construction - Gros œuvre	2,3E+03	2,1E+03	2,3E+03	2,1E+03	2,3E+03	2,1E+03	2,3E+03	2,1E+03
	kg	Énergie d'usage conventionnel pour 100 ans	1,6E+03	1,7E+03	1,5E+03	1,6E+03	1,8E+03	1,9E+03	1,8E+03	1,8E+03
	kg	Énergie d'activité (bureautique) pour 100 ans	1,6E+03	1,6E+03	1,6E+03	1,6E+03	1,6E+03	1,6E+03	1,6E+03	1,6E+03
	kg	Matériaux de construction - Second œuvre	1,5E+03	1,6E+03	1,5E+03	1,6E+03	1,5E+03	1,6E+03	1,5E+03	1,6E+03
	kg	Formation d'ozone photochimique totale	7,0E+03	6,9E+03	7,0E+03	6,9E+03	7,2E+03	7,2E+03	7,2E+03	7,1E+03

# 10.6 Annexe F

## Exigences relatives à la qualité des données sur les produits de construction

Les exigences relatives à la qualité des données de notre étude comparative doivent couvrir les critères suivants :

- les facteurs temporels
- la géographie
- la technologie
- la représentativité
- les sources des données

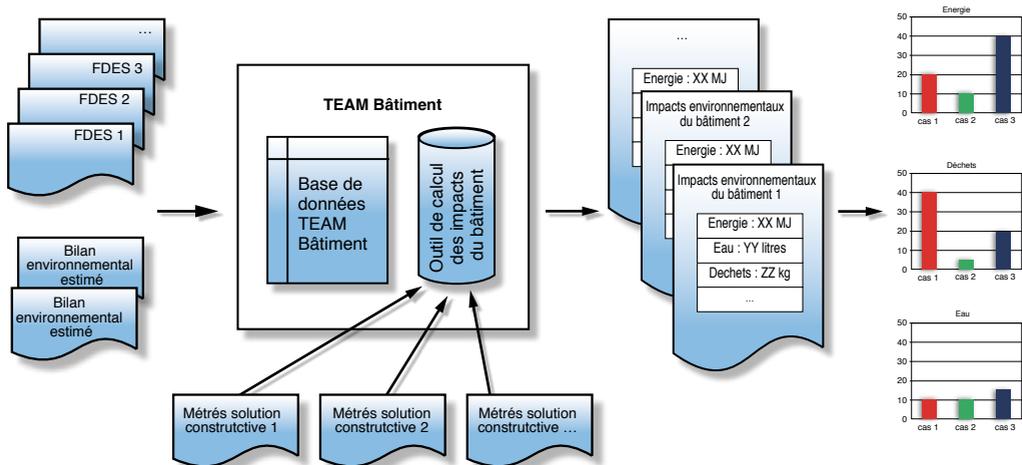
La plupart des données de l'étude proviennent des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire réalisées conformément à la norme NF P01-010. Nous invitons le lecteur à consulter ces FDES, disponibles sur la base INIES, pour obtenir les informations relatives aux cinq critères listés ci-dessus.

# 10.7 Annexe G

## Calcul de l'inventaire : hypothèses et modes de calcul, recueil des données

### Principe de calcul des impacts environnementaux des solutions constructives

Le schéma ci-dessous illustre le processus d'obtention des impacts environnementaux de chaque bâtiment.



#### ÉTAPES

- 1- Collecte des données
- 2 - Saisie des données dans TEAM Bâtiment
- 3 - Modélisation des ouvrages constructifs à comparer
- 4 - Calcul des impacts environnementaux des ouvrages
- 5 - Analyse et interprétation des résultats

Les données d'impacts environnementaux de l'ensemble des produits et matériaux de construction utilisés pour les différents ouvrages de l'étude et décrits dans les métrés sont stockées dans le logiciel TEAM™ Bâtiment suivant la nomenclature des FDES (étapes 1 et 2). Ces étapes incluent la collecte des données et leur saisie dans TEAM™ Bâtiment.

Chaque solution constructive est ensuite modélisée à partir des métrés communiqués par un économiste de la construction (étape 3) Ces métrés (à l'exception des données d'isolant) ont été fournis par CIMbéton.

Les impacts environnementaux des différents ouvrages (sous forme de tableaux présentant l'ensemble des flux élémentaires, ainsi que les indicateurs d'impact au format FDES) sont ensuite calculés par l'outil TEAM™ Bâtiment (étape 4).

Enfin, les résultats sont analysés et interprétés notamment à l'aide de graphiques (étape 5).

---

**En couverture :**  
Bureaux Skyline, à Nantes,  
Olivier ARENE, architecte du projet,  
2/3/4 ARCHITECTURE  
Photographie : Vincent FILLON

**Illustrations :** David Lozach  
**Mise en page et fabrication :**  
Amprincipe, Paris  
**Impression :**  
Chirat

---

Édition avril 2012

---



**CIM** *béton*

**CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS**

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10  
E-mail : [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net) • internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)