



ACOB

Association Française des Fabricants
de Charpentes en Béton



ANALYSE DE CYCLE DE VIE **Bilan environnemental comparé** Bâtiment de stockage de 12000 m²

Note de synthèse et commentaires



1. Contexte et objectifs de l'étude :

Dans un contexte de vive concurrence, les informations commerciales émises concernant l'aspect environnemental des matériaux de construction sont souvent erronées et très souvent non justifiées.

Dans ces conditions, l'ACOB a souhaité mettre à disposition des données quantifiées, robustes, fiables et **contrôlées** sur l'impact environnemental de deux systèmes constructifs : celui de l'ossature en béton précontraint et celui de l'ossature mixte : poteaux en béton, poutres et pannes en bois lamellé collé.

Cette étude, comportant une affirmation comparative destinée à être divulguée au public, est rédigée 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 ».
- est réalisée à partir des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) établies suivant la norme NF P 01-010.
- a été soumise à la revue critique, conformément à la norme ISO 14044, d'un panel d'experts confortant la fiabilité des résultats.

Le panel d'experts est formé par :

- Jacques CHEVALIER, Ingénieur d'études et recherche au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment CSTB/Division Environnement, expert ACV.
- Jean-Marie PAILLE, ingénieur à la direction des techniques et des méthodes de SOCOTEC, expert béton armé et précontraint.
- Robert LE ROY, Chercheur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, expert bois.

L'étude vise à comparer les impacts environnementaux d'une structure en béton précontraint à une structure mixte – béton et bois lamellé collé- pour un bâtiment de stockage de 12000 m² décomposés en deux cellules de 6000 m² séparées entre elles par un mur coupe feu.

2. Hypothèses et principes de l'étude :

Toute l'étude est basée sur les FDES accessibles au public sur le site d'INIES (www.inies.fr), tant pour le bois lamellé collé que pour le béton et le bac acier.

Ces FDES détaillent les impacts environnementaux d'une poutre support de plancher en béton et en bois lamellé collé sur une durée de vie de 100 ans, et d'un bac acier support d'étanchéité sur une durée de vie de 50 ans.

Nous avons donc transformé ces fiches en « grandeur réelle » du bâtiment de 12000 m².

Des hypothèses communes ont été prises en compte entre les deux ossatures comparées :

- Implantation
- Géométrie
- Actions extérieures
- Charges permanentes et d'exploitation

Pour simplifier la comparaison entre les deux systèmes, nous prenons en compte que les composants différents : outre les composants horizontaux des deux ossatures (poutres, pannes, éléments de contreventement, entretoises), deux éléments complémentaires sont également pris en compte dans notre analyse comparative, soit:

- Bac acier support d'étanchéité (dû à la différence de poids surfacique liée à l'écart d'entraxe pannes)
- Différentiel d'armatures de poteaux principaux entre les deux types d'ossatures (dû à la différence de poids des dites structures).

3. Modélisation de l'étude:

Le dimensionnement des deux types d'ossatures a été validé respectivement par les deux experts spécialisés de la revue critique.

La méthode de calcul des impacts environnementaux des différents composants présents dans les deux systèmes est expliquée dans ce qui suit :

- **Eléments horizontaux (Poutres, pannes, entretoises et contreventement):**

On se base sur les données indiquées dans les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES): « poutre en béton précontraint » et « poutre en bois lamellé collé ».

On considère que l'impact environnemental des éléments linéaire pour les deux matériaux utilisés est proportionnel au volume.

Connaissant les volumes des différents éléments et leurs quantités utilisées, on détermine, en se basant sur les FDES des poutres étudiées, les impacts environnementaux correspondants.

- **Bac acier support d'étanchéité :**

On se base sur les données indiquées dans la FDES « support d'étanchéité en acier ».

Les bacs en acier couvrant les deux types d'ossature étudiés présentent des caractéristiques dimensionnelles différentes liées à l'écart d'entraxe des pannes.

On considère que l'impact environnemental d'un bac acier est proportionnel à sa masse surfacique et que celui ci sera remplacé après 50 ans (sa durée de vie déclarée dans sa FDES).

Les impacts environnementaux seront donc multipliés par deux en cas de remplacement.

Connaissant la surface de la toiture en bac acier identique pour les deux systèmes comparés et leurs masses surfaciques respectives, on détermine, en se basant sur la FDES « support d'étanchéité en acier », les impacts environnementaux correspondants.

- **Différentiel d'armatures dans les poteaux principaux:**

Les poteaux principaux en béton présentent la même section pour les deux types d'ossatures étudiées mais avec une différence des quantités d'acier mises en œuvre.

Le calcul de la différence de masse d'acier entre les poteaux principaux de chaque ossature et l'utilisation du profil environnemental « rond de béton » étudiée par l'IISI nous permettent de quantifier les impacts environnementaux engendrés par l'écart de ferrailage dans les poteaux.

4. Résultats et comparaison des impacts environnementaux des deux systèmes :

Les résultats des indicateurs environnementaux pour les deux systèmes ainsi que leur comparaison pour une durée de vie de 100 ans sont présentés dans le tableau ci-dessous.

		Ossature en béton précontraint	Ossature mixte: béton - bois lamellé collé				
N°	Indicateurs environnementaux	Unités	Valeur de l'indicateur pour toute la DVT	Valeur de l'indicateur pour toute la DVT	Ecart pour toute la DVT	Rapport = Sup/Inf	
1	Consommation de ressources énergétiques						
		Energie primaire totale	MJ	7 400 000	14 000 000	- 6 600 000	1,89
		Energie renouvelable	MJ	580 000	7 500 000	- 6 920 000	12,93
		Energie non renouvelable	MJ	6 700 000	6 400 000	300 000	1,05
2	Epuisement de ressources (ADP)		kg éq. antimoine (Sb)	2 450	2 400	50	1,02
3	Consommation d'eau totale		litre	5 000 000	6 300 000	- 1 300 000	1,26
4	Déchets solides						
		Déchets valorisés (total)	kg	240 000	410 000	- 170 000	1,71
		Déchets éliminés :					
		Déchets dangereux	kg	200	500	- 300	2,50
		Déchets non dangereux	kg	30 000	270 000	- 240 000	9,00
		Déchets inertes	kg	800 000	1 000	799 000	800,00
	Déchets radioactifs	kg	20	35	- 15	1,75	
5	Changement climatique		kg éq. CO2	500 000	100 000	400 000	5,00
6	Acidification atmosphérique		kg éq. SO2	2 000	2 400	- 400	1,20
7	Pollution de l'air		m3	61 400 000	60 200 000	1 200 000	1,02
8	Pollution de l'eau		m3	82 096	57 000	25 096	1,44
9	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique		kg CFC éq. R11	3,13E-17	0	-	NG
10	Formation d'ozone photochimique		kg éq. éthylène	80	246	- 166	3,07

DVT 100 ans

NG négligeable



en faveur du béton

en faveur du bois LC

Soit 8 pour le béton

Soit 3 pour le bois LC et 5 neutres

Bilan environnemental comparé des deux types d'ossature – Durée de vie 100 ans

5. Analyses de sensibilité:

Les analyses de sensibilité consistent à varier les hypothèses de l'étude et d'en voir les influences.

5.1 Variation de la surface :

Par rapport à notre bâtiment de référence, deux exemples de surfaces sont étudiées :

- 10300 m² : suppression d'une travée. La largeur Du bâtiment se réduit à 72 m.
- 18000 m² : ajout d'une 3^{ème} cellule séparée des autres par un mur coupe feu.

La conclusion est identique pour les deux cas de surfaces étudiés : les valeurs des indicateurs environnementaux sont modifiées mais restent quasiment proportionnels à la surface construite et les pourcentages d'écart sont sensiblement identiques.

5.2 Variation de la hauteur :

Par rapport à notre bâtiment de référence, nous étudions une hauteur sous poutre de 8 m. L'incidence de cette variation est très faible sur les impacts environnementaux des deux systèmes comparés, puisque seuls les poteaux varient.

5.3 Variation de la durée de vie de l'entrepôt étudié :

Par rapport à notre étude de référence, nous analysons le bilan environnemental comparé sur une durée de vie de 30 ans afin d'être homogène avec la FDES « Dallage industriel en béton » et avec certaines idées reçues sur la durée de vie éventuelle du bâtiment.

La seule différence par rapport à l'étude de référence est le non remplacement du bac acier après 50 ans.

Les résultats des indicateurs environnementaux pour les deux systèmes ainsi que leur comparaison pour une durée de vie de 30 ans sont présentés dans le tableau ci-dessous :

N°	Indicateurs environnementaux	Unités	Ossature en béton précontraint	Ossature mixte: béton - bois lamellé collé	Ecart pour toute la DVT	Rapport = Sup/Inf	
			Valeur de l'indicateur pour toute la DVT	Valeur de l'indicateur pour toute la DVT			
1	Consommation de ressources énergétiques						
		Energie primaire totale	MJ	4 686 503	11 995 239	- 7 308 735	2,56
		Energie renouvelable	MJ	368 333	7 380 314	- 7 011 982	20,04
		Energie non renouvelable	MJ	4 270 260	4 582 737	- 312 478	1,07
2	Epuisement de ressources (ADP)		kg éq. antimoine (Sb)	1 506	1 703	- 197	1,13
3	Consommation d'eau totale		litre	2 868 924	4 728 675	- 1 859 751	1,65
4	Déchets solides						
		Déchets valorisés (total)	kg	121 054	322 515	- 201 461	2,66
		Déchets éliminés :					
		Déchets dangereux	kg	118	447	- 329	3,79
		Déchets non dangereux	kg	19 187	264 090	- 244 903	13,76
		Déchets inertes	kg	825 952	1 165	824 787	709,06
		Déchets radioactifs	kg	18	33	- 15	1,81
5	Changement climatique		kg éq. CO2	340 859	- 19 977	360 836	-17,06
6	Acidification atmosphérique		kg éq. SO2	1 365	1 949	- 584	1,43
7	Pollution de l'air		m3	36 645 093	41 609 105	- 4 964 012	1,14
8	Pollution de l'eau		m3	71 057	48 668	22 390	1,46
9	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique		kg CFC éq. R11	3,13E-17	0	0	NG
10	Formation d'ozone photochimique		kg éq. éthylène	69	233	- 164	3,39

DVT 30 ans

NG négligeable

 en faveur du béton
 en faveur du bois LC

Soit 8 pour le béton

Soit 3 pour le bois LC et 5 neutres

Bilan environnemental comparé des deux types d'ossature – Durée de vie 30 ans

5.4 Bâtiments en clos et couverts:

Par rapport à notre analyse comparative de référence, nous intégrons tous les éléments communs entre les deux systèmes : dallage en béton, fondations, poteaux principaux, le mur coupe feu avec tous ces composants, les poteaux intermédiaires de rives, les façades supposées double peau métallique, l'isolation et l'étanchéité de la toiture en bac acier.

L'objectif est de connaître l'importance des écarts observés entre les deux systèmes comparés par rapport au bâtiment clos et couvert.

Les résultats des indicateurs environnementaux pour les deux systèmes réalisés en clos et couvert ainsi que leur comparaison pour des durées de vie de 30 et 100 ans sont présentés dans les deux tableaux ci-dessous.

N°	Indicateurs environnementaux	Unités	Ossature en béton précontraint	Ossature mixte: béton - bois lamellé collé	Ecart pour toute la DVT	Rapport = Sup/Inf	
			Valeur de l'indicateur pour toute la DVT	Valeur de l'indicateur pour toute la DVT			
1	Consommation de ressources énergétiques						
		Energie primaire totale	MJ	50 852 693	57 485 963	- 6 633 270	1,13
		Energie renouvelable	MJ	2 213 702	9 172 231	- 6 958 529	4,14
		Energie non renouvelable	MJ	48 297 342	47 997 855	299 487	1,01
2	Epuisement de ressources (ADP)		kg éq. antimoine	19 938	19 901	37	1,00
3	Consommation d'eau totale		litre	22 270 701	23 597 095	- 1 326 394	1,06
4	Déchets solides						
		Déchets valorisés (total)	kg	5 953 982	6 125 733	- 171 751	1,03
		Déchets éliminés :					
		Déchets dangereux	kg	3 974	4 282	- 308	1,08
		Déchets non dangereux	kg	687 361	929 387	- 242 026	1,35
		Déchets inertes	kg	10 132 682	9 307 884	824 799	1,09
	Déchets radioactifs	kg	338	353	- 14	1,04	
5	Changement climatique		kg éq. CO2	3 314 827	2 911 193	403 634	1,14
6	Acidification atmosphérique		kg éq. SO2	13 137	13 552	- 414	1,03
7	Pollution de l'air		m3	268 050 929	266 854 929	1 196 000	1,00
8	Pollution de l'eau		m3	437 893 762	437 868 624	25 138	1,00
9	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique		kg CFC éq. R11	3,13E-17	0	0	NG
10	Formation d'ozone photochimique		kg éq. éthylène	818 865	819 025	- 340	1,00

DVT 100 ans
NG négligeable

 en faveur du béton
 en faveur du bois LC

Soit 2 pour le béton
Soit 14 neutres

**Bilan environnemental comparé - Bâtiment de 12000 m2 clos et couvert –
Durée de vie 100 ans**

			Ossature en béton précontraint	Ossature mixte: béton - bois lamellé collé			
N°	Indicateurs environnementaux	Unités	Valeur de l'indicateur pour toute la DVT	Valeur de l'indicateur pour toute la DVT	Ecart pour toute la DVT	Rapport = Sup/Inf	
1	Consommation de ressources énergétiques						
		Energie primaire totale	MJ	24 835 762	32 144 497	- 7 308 735	1,29
		Energie renouvelable	MJ	1 164 521	8 176 502	- 7 011 982	7,02
		Energie non renouvelable	MJ	23 493 611	23 806 089	- 312 478	1,01
2	Epuisement de ressources (ADP)		kg éq. antimoine (Sb)	9 785	9 982	- 197	1,02
3	Consommation d'eau totale		litre	10 784 482	12 644 233	- 1 859 751	1,17
4	Déchets solides						
		Déchets valorisés (total)	kg	2 148 842	2 350 303	- 201 461	1,09
		Déchets éliminés :					
		Déchets dangereux	kg	1 729	2 058	- 329	1,19
		Déchets non dangereux	kg	332 863	577 767	- 244 903	1,74
		Déchets inertes	kg	4 956 691	4 131 904	824 787	1,20
	Déchets radioactifs	kg	170	185	- 15	1,09	
5	Changement climatique		kg éq. CO2	1 574 695	1 213 858	360 836	1,30
6	Acidification atmosphérique		kg éq. SO2	6 262	6 846	- 584	1,09
7	Pollution de l'air		m3	128 370 525	133 334 537	- 4 964 012	1,04
8	Pollution de l'eau		m3	219 812 046	219 789 656	22 390	1,00
9	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique		kg CFC éq. R11	3,13E-17	0	0	NG
10	Formation d'ozone photochimique		kg éq. éthylène	417 572	417 736	- 164	1,00

DVT 30 ans

NG négligeable



en faveur du béton

en faveur du bois LC

Soit 5 pour le béton

Soit 2 pour le bois LC et 9 neutres

**Bilan environnemental comparé - Bâtiment de 12000 m2 clos et couvert –
Durée de vie 30 ans**

5.5 Augmentation de la durée de stabilité au feu des ossatures:

Par rapport à notre étude de référence, nous portons la durée de stabilité au feu des ossatures d'une demi-heure à une heure.

- Pour ce qui concerne l'ossature béton, il n'y a strictement aucune incidence, celle-ci est stable une heure.
- Pour l'ossature mixte, afin de permettre l'anti-déversement des poutres, la section des pannes en bois lamellé collé passe de R10 x 50 à R18 x 65 correspondant à un facteur de 2,34 sur les pannes et 1,5 sur la globalité.

Les assemblages nécessitent des dispositions particulières (augmentation des masses d'acier, voir protection par flocage, ou par peinture intumescente, etc...).

Les impacts environnementaux seront donc plus conséquents, mais n'ont pas été calculés dans notre étude.

5.6 Carbonatation du béton:

Au cours de sa vie, le béton par le phénomène chimique de carbonatation absorbe du CO₂ atmosphérique. Ce phénomène n'a pas été comptabilisé dans notre étude.

Les recommandations actuelles conduisent, pour le différentiel de béton exposé entre le bâtiment à ossature béton et celui à ossature mixte –béton et bois lamellé collé-, (en ne tenant donc pas compte des poteaux et fondations) à une absorption d'environ 18 tonnes de CO₂ sur les 100 ans d'exploitation.

5.7 Impact sanitaire:

L'impact sanitaire ne fait pas l'objet de notre étude puisqu'il s'agit d'une Analyse de Cycle de Vie, néanmoins des informations sont données dans les FDES.

5.8 Comparaison en cas d'incendie généralisé de l'entrepôt étudié:

En cas d'incendie généralisé de l'ouvrage, 387 000 kg d'équivalent CO₂ stockés dans le système étudié en bois lamellé collé sont émis dans l'air (selon la FDES « Poutre en bois lamellé collé »), ce qui correspond à l'écart entre les deux systèmes analysés !!! Cela détruit instantanément et en seul lieu toute la contribution à lutter contre le changement climatique.

Les éventuels effets toxiques des colles n'ont pas été pris en compte dans notre étude.

6. Conclusions

6.1 Bilan environnemental comparé des deux types d'ossatures:

6.1.1. Importances relatives des phases du cycle de vie:

La production des produits est l'étape déterminante dans la contribution à l'impact environnemental.

6.1.2. Fin de vie:

Les deux structures sont considérées totalement mises en décharge. Les volumes sont identiques.

- Décharge « surveillé » pour le bois L.C – ce qui est absurde : le bois devrait être brûlé en fin de vie mais évidemment tout le bénéfice CO₂ sera éliminé !
- Décharge « ordinaire » pour le béton.

6.1.3. Comparaison des performances:

Pour les deux cas de durées de vie étudiés -100 et 30 ans-, sur les 16 critères environnementaux de la norme NF P 01-010:

- 8 sont favorables au béton,
- 3 sont favorables au bois L.C,
- 5 sont considérés équivalents (écarts inférieurs à 15 %).

6.1.4. Durée de vie:

Compte tenu de l'absence totale d'entretien des deux types d'ossature et du renouvellement du bac acier de toiture au bout de 50 ans, les impacts environnementaux sont modifiés à cette date mais restent fixes sur les périodes antérieures et postérieures.

6.2 Bâtiment de 12000 m² en clos et couvert sur des durées de vie de 100 et 30 ans:

6.2.1. Part de l'ossature dans l'impact environnemental global sur 100 ans:

Cette analyse globale permet de déterminer la part relative des deux types d'ossature. Celle-ci fait apparaître que les éléments communs sont en fait prépondérants.

- Consommation de ressources énergétiques –énergie primaire totale-:
 - ✓ Ossature béton : 14 %
 - ✓ Ossature mixte : 25 %
- Changement climatique :
 - ✓ Ossature béton : 15 %
 - ✓ Ossature mixte : 4 %
- Acidification atmosphérique :
 - ✓ Ossature béton : 15 %
 - ✓ Ossature mixte : 18 %
- Epuisement des ressources :
 - ✓ Ossature béton : 12 %
 - ✓ Ossature mixte : 12 %

6.2.2. Ecart des impacts environnementaux entre les deux systèmes constructifs pour 100 ans et 30 ans:

- Pour 100 ans :

Les écarts entre les deux systèmes se réduisent pour finalement être dans leur quasi-totalité inférieur au seuil fixé de 15 % (deux critères sont en faveur de l'ossature en béton et 14 sont considérés équivalents).

- Pour 30 ans :

Les écarts se contractent mais restent sensibles (cinq critères sont en faveur de l'ossature en béton, deux pour l'ossature mixte, neuf sont considérés équivalents).

6.3 Synthèse:

- Des critères importants sont favorables au béton : consommation de ressources énergétiques, consommation d'eau, acidification atmosphérique, formation d'ozone photochimique.
- Il y a plus de critères favorables au béton qu'au bois lamellé collé.
- L'écart défavorable au béton et mis en évidence par le bois lamellé collé concerne l'émission de CO₂, mais qui est en effet très faible :

400.000 kg éq CO₂ = 1 camion parcourant 134.000 km en 100 ans !

Cet écart mérite des commentaires complémentaires :

Il est absurde de mettre en décharge une structure bois alors qu'elle pourrait être valorisée en chaufferie. Mais dans ces conditions, tout le CO₂ stocké se retrouve dans l'atmosphère (380.000 kg), ce qui entrainerait un écart nul avec la structure béton.

N'est-il pas plus intéressant pour l'environnement de n'avoir que des matériaux recyclables ?

Le béton l'est totalement et ceci sera mis en œuvre le jour où l'équilibre financier entre production de matières premières et concassage du béton sera réalisé.

7. Conclusion de la revue critique – Extrait :

« Le panel tient à féliciter l'ACOB pour sa saine initiative de recourir à la revue critique avant publication de son étude. L'étude comparative avait été menée avec soin avant la revue critique et l'ACOB a cherché systématiquement à enrichir son étude en tenant compte des avis du panel. L'ACOB a réalisé un important effort de rationalisation, clarification et de neutralité. Il persiste quelques commentaires manquant de neutralité et le panel pense que de nombreux résultats mériteraient une exploitation plus détaillée. Cependant, au regard du tableau précédent, le panel de revue critique estime que l'étude ne comporte pas d'écart majeur avec les principes et lignes directrices des normes ISO 14040 et 14044 sur la communication de résultats d'ACV au grand public.

Par ailleurs, l'étude est assez pédagogique tant par sa richesse que par ses conclusions. Outre les principaux résultats, la conclusion contient une synthèse portant les messages essentiels ».