

Procédé béton

Version mise en ligne en 2013

1 Unité fonctionnelles

L'unité fonctionnelle est « la production d'un mètre cube de béton en centrale ». Le procédé étudié ici est la centrale BPE (Béton Prêt à l'Emploi). On suppose que le procédé de production dans la centrale BPE ne change pas selon les différentes formules de béton produites. Ceci est justifié pour des formules classiques de bâtiment ou d'ouvrage d'art (inférieurs à 60 MPa). Au-delà et plus particulièrement pour des bétons à très haute performance (BTHP) ou des bétons fibrés ultra performants (BFUP), les conditions de malaxage vont changer fortement selon les formules.

2 Présentation des process donnant un Inventaire de Cycle de vie (ICV)

En général, le béton est fabriqué en centrale. Il existe trois types de centrales : centrale BPE, centrale mobile de chantier et centrale du béton de préfabrication. Les procédés de fabrication et les installations sont variés selon les types de centrale. Le type de béton le plus fabriqué est le béton prêt à l'emploi produit en centrale BPE sur lequel on se focalise plus particulièrement. Différentes étapes et paramètres de production sont ainsi analysables dans une optique d'évaluation environnementale.

En France, la majorité de production BPE sont assurées par les centrales avec un débit variant entre 20000 m³ et 40000 m³ par an. (Tableau 1) ; les centrales BPE avec grand débit (>40000 m³) se trouvent souvent en île de France en raison de grands besoins en bétons.

Industriel	Production annuelle de la centrale	Pourcentage de BPE produits en France ce type de centrale
Centrale 1	$P > 40000 \text{ m}^3$	25%
Centrale 2	$20000 \text{ m}^3 < p < 40000 \text{ m}^3$	45%
Centrale 3	$P < 20000 \text{ m}^3$	30%

Tableau 1: production des bétons prêts à l'emploi [FDES de SNBPE, 2006, source Chen 2009]

La centrale BPE fabrique les bétons les plus courants de façon continue. La Figure 1 montre un site de centrale BPE en île de France. Tout d'abord, les granulats, ciments, additions et adjuvants arrivent sur site soit en camion, soit en bateau. Ils sont ensuite transportés par les bandes transporteuses et conservés dans des lieux de stockage adaptés, disposant de dispositifs de sécurité spécifiques. Les équipements mis en place sont dotés de commandes numériques. Ensuite, les constituants sont dosés en trémie de pesage et malaxé dans le malaxeur avec des adjuvants et des eaux de gâchage. Le temps de malaxage est recommandé minimum 35 secondes. A la fin, le béton prêt à emploi est acheminé par camions malaxeurs jusqu'au chantier de construction.

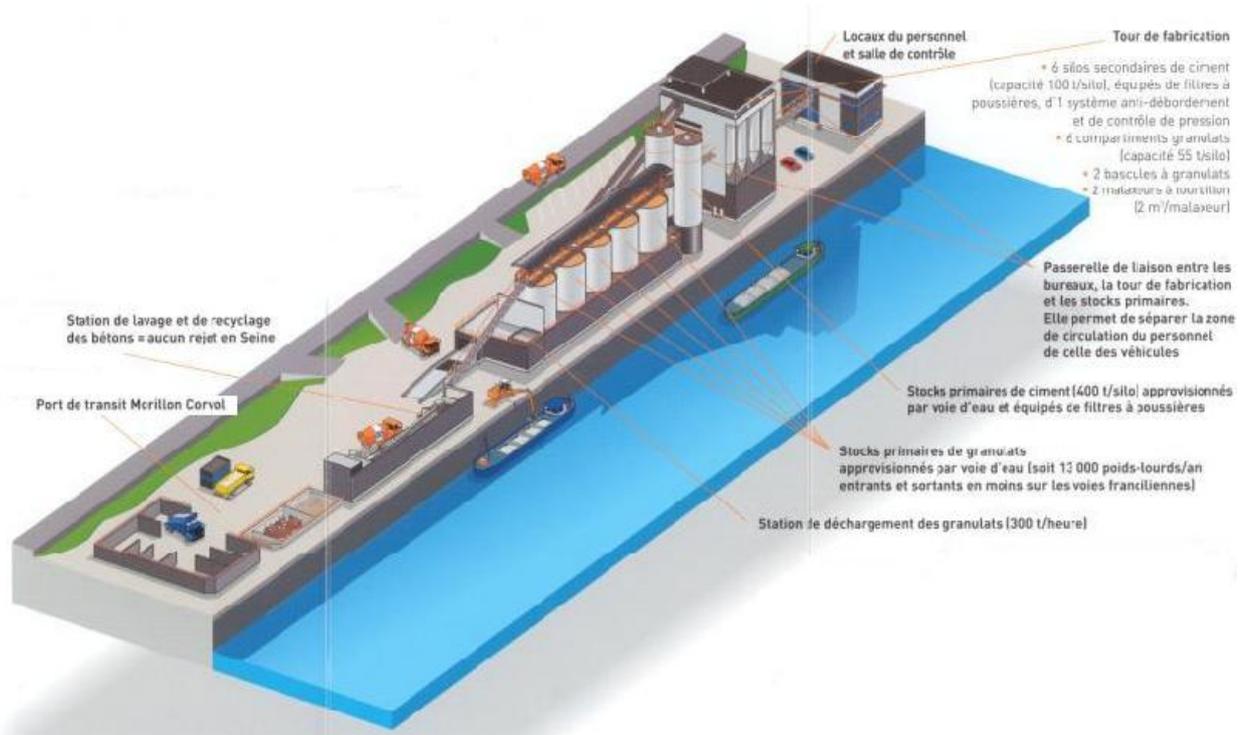


Figure 1 : description d'un site de centrale BPE

2.1 Analyse des inventaires

La définition du système béton pour la constitution d'ICV est la suivante :

Système : production du matériau, transports	Production de granulats	Production de ciment CEM I	Transport granulats + ciment jusqu'à la centrale à béton	Engins (Fonctionnement)	Procédé de production	Production d'énergie
ICV	X	X	X	X	X	X

Tableau 2: Description du système « béton »

3 Données disponibles

3.1 Analyse de différents aspects de production du béton en centrale BPE

Plusieurs aspects sont à considérer dans le cadre de la conduite d'une ACV et notamment l'étendue du système à prendre en compte. Des travaux de thèse se sont centrés en détails sur cette question [Chen, 2009] afin de proposer une approche détaillée de la production du béton. Pour représenter la contribution relative de différents aspects pris en compte dans le système 'centrale BPE', les impacts totaux sont fixés à

100% et le pourcentage du chaque aspect environnemental pris en compte dans l'ACV est calculé à partir des impacts totaux. De plus, des plages de variation liées à la contribution de chaque aspect environnemental du système 'centrale BPE' est aussi affiché (figure 2).

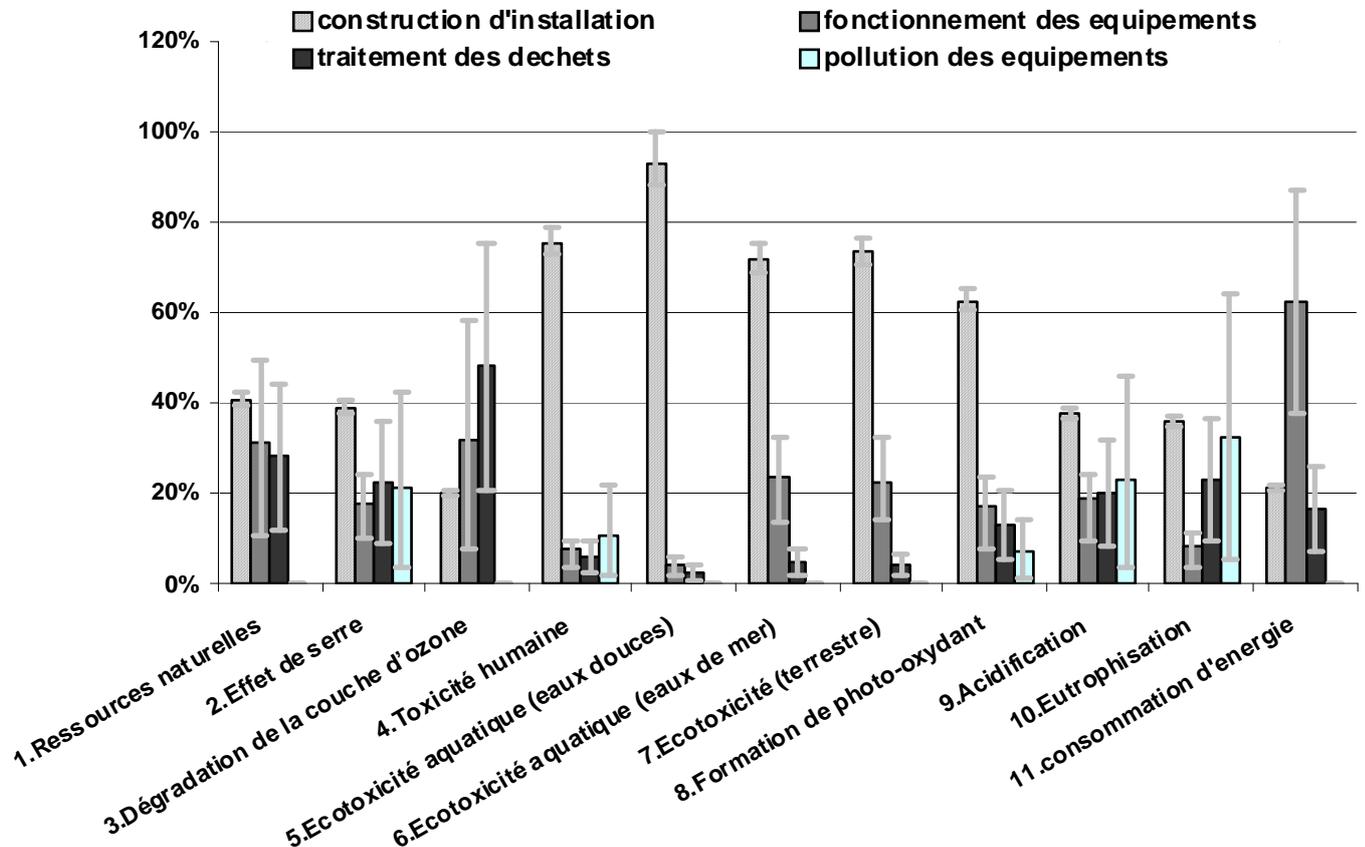


Figure 2 : Contributions relatives de différents aspects du système 'centrale BPE' pour la production de $1m^3$ de béton avec leurs variations d'après Chen (2009).

On remarque que :

1. L'aspect 'construction de l'installation' fournit la contribution principale pour le calcul des indicateurs : 'toxicité humaine' (70%), 'écotoxicité'(65-90%) et 'formation de photo-oxydant'(55%). Cet aspect pris en compte dans cette étude réalisée avec Ecoinvent mérite d'être souligné.
2. L'aspect 'traitement des déchets' est la contribution principale pour l'indicateur 'dégradation de la couche d'ozone' (50%).
3. Les aspects 'fonctionnement des équipements' et 'pollution des équipements' représentent une partie assez importante des impacts (plus 20%) pour tous les indicateurs sauf les indicateurs 'toxicité humaine' et 'écotoxicité aquatiques eaux douces'.

4. La variabilité induite par la prise en compte de l'aspect 'construction d'installation' selon les différentes pratiques industrielles est faible (moins 8%) par rapport aux variabilités totales. Au contraire, pour les aspects 'fonctionnement des équipements' et 'traitement des déchets', les différentes pratiques industrielles modifient largement les impacts.

3.2 Influence de la construction de l'installation

3.2.1 Impacts du poste 'stockage'

Les impacts varient seulement en fonction des masses totales utilisées pour les installations (Tableau 3).

Catégorie d'impact	Unité	Installation du poste 'stockage'
		moyenne
1.Ressources naturelles	kg Sb eq	8,34E-04
2.Effet de serre	kg CO ₂ eq	8,80E-02
3.Dégradation de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	4,94E-09
4.Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	2,60E-01
5.Ecotoxicité aquatique (eaux douces)	kg 1,4-DB eq	8,86E-02
6.Ecotoxicité aquatique (eaux de mer)	kg 1,4-DB eq	1,08E+02
7.Ecotoxicité (terrestre)	kg 1,4-DB eq	2,05E-03
8.Formation de photo-oxydant	kg C ₂ H ₄	5,25E-05
9.Acidification	kg SO ₂ eq	5,46E-04
10.Eutrophisation	kg PO ₄ --- eq	8,98E-05
11. Consommation totale d'énergie	MJ	1,66

Tableau 3 : poste 'stockage' pour l'aspect 'construction d'installation' du système 'centrale BPE' (par m³ du béton)

3.2.2 Impacts du Poste 'transport interne'

Les impacts du poste 'transport interne'» sont listé dans le tableau 4.

Catégorie d'impact	Unité	Installation du poste 'transport interne'
		moyenne
1.Ressources naturelles	kg Sb eq	4,82E-04
2.Effet de serre	kg CO ₂ eq	5,22E-02
3.Dégradation de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	3,28E-09
4.Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	1,03E-01
5.Ecotoxicité aquatique (eaux douces)	kg 1,4-DB eq	6,22E-02
6.Ecotoxicité aquatique (eaux de mer)	kg 1,4-DB eq	5,95E+01
7.Ecotoxicité (terrestre)	kg 1,4-DB eq	8,97E-04
8.Formation de photo-oxydant	kg C ₂ H ₄	2,62E-05
9.Acidification	kg SO ₂ eq	2,48E-04
10.Eutrophisation	kg PO ₄ --- eq	4,67E-05
11. Consommation totale d'énergie	MJ	9,86 E-01

Tableau 4 : poste transport interne pour l'aspect 'construction d'installation' du système 'centrale BPE' (par m³ du béton)

3.2.3 Impacts du Poste 'Malaxage'

Les impacts pour l'installation du poste 'malaxage' sont présentés dans le tableau 5.

Catégorie d'impact	Unité	Installation du poste 'malaxage'
1.Ressources naturelles	kg Sb eq	6,94E-03
2.Effet de serre	kg CO ₂ eq	7,32E-01
3.Dégradation de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	4,11E-08
4.Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	2,17E+00
5.Ecotoxicité aquatique (eaux douces)	kg 1,4-DB eq	7,37E-01
6.Ecotoxicité aquatique (eaux de mer)	kg 1,4-DB eq	8,96E+02
7.Ecotoxicité (terrestre)	kg 1,4-DB eq	1,71E-02
8.Formation de photo-oxydant	kg C ₂ H ₄	4,37E-04
9.Acidification	kg SO ₂ eq	4,55E-03
10.Eutrophisation	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	7,47E-04
11. Consommation totale d'énergie	MJ	1,38E+01

Tableau 5 : Résultat pour l'installation du poste 'malaxage' pour l'aspect 'construction d'installation' du système 'centrale BPE' (par m³ du béton)

3.2.4 Impacts du Poste 'Bâtiment'

Pour le poste 'bâtiment', les impacts sont présentés dans le tableau 6.

Catégorie d'impact	Unité	Installation du poste 'bâtiment'
1.Ressources naturelles	kg Sb eq	1,91E-03
2.Effet de serre	kg CO ₂ eq	3,14E-01
3.Dégradation de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	2,23E-08
4.Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	2,20E-01
5.Ecotoxicité aquatique (eaux douces)	kg 1,4-DB eq	5,16E-02
6.Ecotoxicité aquatique (eaux de mer)	kg 1,4-DB eq	1,97E+02
7.Ecotoxicité (terrestre)	kg 1,4-DB eq	2,04E-03
8.Formation de photo-oxydant	kg C ₂ H ₄	1,10E-04
9.Acidification	kg SO ₂ eq	2,27E-03
10.Eutrophisation	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	4,08E-04
11. Consommation totale d'énergie	MJ	4,65

Tableau 6 : Résultat pour l'installation du poste 'bâtiment' pour l'aspect 'construction d'installation' du système 'centrale BPE' (par m³ du béton)

3.3 Fonctionnement des équipements

Les résultats pour l'aspect 'fonctionnement des équipements' sont présentés dans le tableau 7.

Catégorie d'impact	Unité	Détail aspect 'fonctionnement des équipements'
		moyenne
1.Ressources naturelles	kg Sb eq	7,78E-03
2.Effet de serre	kg CO ₂ eq	5,39E-01
3.Dégradation de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	1,13E-07
4.Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	2,75E-01
5.Ecotoxicité aquatique (eaux douces)	kg 1,4-DB eq	4,38E-02
6.Ecotoxicité aquatique (eaux de mer)	kg 1,4-DB eq	4,10E+02
7.Ecotoxicité (terrestre)	kg 1,4-DB eq	6,75E-03
8.Formation de photo-oxydant	kg C ₂ H ₄	1,75E-04
9.Acidification	kg SO ₂ eq	3,84E-03
10.Eutrophisation	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	3,09E-04
11. Consommation totale d'énergie	MJ	62,3

Tableau 7 : Comparaison des 3 options pour l'aspect 'fonctionnement des équipements' du système 'centrale BPE' (par m³ du béton)

3.4 Pollution des équipements

L'aspect 'pollution des équipements' est totalement liée au fonctionnement des engins sur le site de production, c'est à dire aux pollutions émises lors de la combustion du diesel dans les engins. Cet aspect peut être calculé avec la quantité de diesel consommé par les engins et l'a été en utilisant la base de données d'engins d'écoinvent en 2009 (Tableau 8). Nous avons eu depuis l'occasion de produire de nouvelles données engins d'émissions dans la thèse de Capony [Capony, 2013] et le projet SEMET [ADEME-CORTEA, 2013]

Catégorie d'impact	Unité	Détail aspect 'pollution des équipements'
		moyenne
1.Ressources naturelles	kg Sb eq	9,45E-07
2.Effet de serre	kg CO ₂ eq	6,46E-01
3.Dégradation de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	1,66E-11
4.Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	4,00E-01
5.Ecotoxicité aquatique (eaux douces)	kg 1,4-DB eq	3,13E-04
6.Ecotoxicité aquatique (eaux de mer)	kg 1,4-DB eq	5,16E-01
7.Ecotoxicité (terrestre)	kg 1,4-DB eq	8,05E-06
8.Formation de photo-oxydant	kg C ₂ H ₄	7,16E-05
9.Acidification	kg SO ₂ eq	4,67E-03
10.Eutrophisation	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	1,16E-03
11. Consommation totale d'énergie	MJ	0

Tableau 8 : Comparaison des 3 options pour l'aspect 'pollution des équipements' du système 'centrale BPE' (par m³ du béton)

4 Bibliographie

4.1 Les Aspects réglementaires

AFNOR, Association Française de Normalisation. 2004. Norme NF P 01-010: « *Qualité environnementale des produits – Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction* ».

AFNOR, Association Française de Normalisation, 2001. NF EN 197-1, « *Liants hydrauliques – ciment courants, composition, spécifications et critères de conformité* ». AFNOR, 30 pp.

AFNOR, Association Française de Normalisation, 1998. NF EN ISO 14041, « *Management environnemental – analyse du cycle de vie – définition de l'objectif et du champ et analyse de l'inventaire* ». AFNOR. 30 pp.

AFNOR, Association Française de Normalisation, 1997. NF EN ISO 14040, « *Management environnemental – analyse du cycle de vie – Principes et cadres* ». AFNOR.

FD P01015, 2006 : « *Qualité environnementale des produits de construction* ». Fascicule de données énergie et transport.

Le fascicule de données énergie et transport publié par l'AFNOR propose des valeurs de consommation de carburant et d'électricité.

4.2 Les aspects environnementaux

ADEME-CORTEA, 2003. Appel à projets R&D « *Connaissances, Réduction à la source et Traitement des Emissions dans l'Air* », projet SEMET, « *Suivi à la source des Emissions liées aux Modes d'usage des Engins de Terrassement* ».

Capony A., 2013. « *Evaluation environnementale d'un chantier de terrassement - mise au point d'un outil paramétrable de mesures d'émissions relatives aux engins de terrassement* », thèse de l'Ecole Centrale de Nantes, soutenue le 10 janvier 2013.

Chen C, 2009. « *Une étude des bétons de construction classiques et alternatifs par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie* », Thèse de l'UTT, soutenue le 30 octobre 2009, 256p.

Ecoinvent, 2002 : Database ecoinvent data v2.2.

SNBPE, Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi, 2006. « *Béton prêt à l'emploi, commentaires sur la Fiche de déclaration environnementale et Sanitaire* ». 36pp.

5 Auteurs et relecteurs

Auteurs OFRIR2	Thèse Cong Chen (IFSTTAR), Michel Dauvergne (IFSTTAR), Agnès Jullien (IFSTTAR)
Relecture d'experts et contributeurs OFRIR2	Youcef Bouzidi (Université de Troyes), Rabia Badreddine (INERIS)
Relecture bureau	Agnès Jullien (IFSTTAR)
Date de mise en ligne	10 janvier 2014