

CONSTRUIRE AVEC LE DEVELOPPEMENT DURABLE

Evaluer l'impact de la
construction sur l'effet de serre

Est-il possible à l'heure actuelle, pour un bureau d'études en
urbanisme de définir avec une relative précision les émissions
de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle ?



2007-2008

Directrice de recherche :
Frédérique HERNANDEZ

Astrid
DHERBECOURT-MEURICE

Projet de Fin d'Etudes

CONSTRUIRE AVEC LE DEVELOPPEMENT DURABLE

Evaluer l'impact de la construction sur l'effet de serre

Est-il possible à l'heure actuelle, pour un bureau d'études en urbanisme de
définir avec une relative précision les émissions de CO₂ lors de la
construction d'une maison individuelle ?

Réalisation :

Astrid DHERBECOURT-MEURICE

Directrice de recherche :

Frédérique HERNANDEZ

2007-2008

Formation par la recherche et Projet de Fin d'Etudes

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer tout une partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

REMERCIEMENTS

Ce projet de fin d'études a été réalisé dans le cadre de la formation à la recherche des étudiants en cinquième année au Département Aménagement de l'Ecole Polytechnique de Tours.

Ce mémoire de recherche a été dirigé par Madame Hernandez (maître de conférences à l'Ecole Polytechnique de Tours). *Je tiens sincèrement à vous remercier pour vos conseils méthodologiques qui ont permis de faire avancer ce travail, et pour avoir su débloquer des situations difficiles où le doute s'emparait de moi.*

Cette étude est née sur la base d'une proposition de Monsieur Borme (architecte). *Merci à vous d'avoir proposé un travail de recherche appliquée qui, au final, fut un plaisir à traiter ! Merci aussi pour votre accueil à Martigues : ces quelques jours m'ont été très profitables, tant sur le plan professionnel, qu'humain.*

Merci à tous les scientifiques que j'ai pu contacter au moment de la mise en place de l'outil. Merci pour vos conseils scientifiques et techniques, vos critiques constructives et vos conseils avisés. Un merci plus particulier à Monsieur Chevalier (ingénieur environnement au département développement durable du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) et Monsieur Decousser (responsable du pôle environnement et santé du Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton), qui tous deux, se sont montrés très disponibles.

Merci aussi à toutes les personnes, qui, de près ou de loin, ont pu collaborer à cette étude en me fournissant des données recherchées.

Enfin, merci à mes parents. Merci à vous deux pour ces nombreuses et fructueuses discussions autour de ce projet. *Merci à toi Moune pour tes relectures assidues en quête de coquilles ! Et merci à toi Pou de m'avoir permis un accès à tous les fonds bibliographiques de l'Université Paris-Est de Marne-la-Vallée, véritable support pour toute cette étude.*

SOMMAIRE

Remerciements	1
Sommaire	2
Liste des figures	5
Liste des Sigles	7
 Introduction	 8
 Partie 1 : Le secteur de la construction et les émissions de CO ₂	 10
 <u>CHAPITRE 1</u> : CONSTRUIRE AVEC LE DEVELOPPEMENT DURABLE	 11
 <u>CHAPITRE 2</u> : D'UNE QUESTION OPERATIONNELLE A UNE QUESTION DE RECHERCHE	 14
1/ <i>Problématique initiale</i>	14
2/ <i>Inventaire des systèmes existants d'évaluation de l'impact environnemental des bâtiments</i>	15
2.1/ Le système américain avec le label LEED	15
2.2/ La grille d'évaluation britannique BREEAM	16
2.3/ La grille hollandaise DCBA	16
2.4/ Le concept suisse Minergie	17
2.5/ Le label Passivhaus en Allemagne	18
2.6/ La certification Total Quality en Autriche	18
2.7/ La méthode HK-Beam	18
2.8/ CASBEE au Japon	19
2.9/ La démarche HQE française	19
2.10/ Synthèse	21
2.11/ Logiciels français d'Analyse de Cycle de Vie	22
2.11.1/ Equer	22
2.11.2/ Team	23
2.11.3/ Bilan Carbone	23
2.11.4/ Papoose	23
2.11.5/ Escale	23
2.11.6/ Elodie	24
2.12/ Conclusion	24
3/ <i>Question de recherche</i>	24
 <u>CHAPITRE 3</u> : UNE QUESTION DE RECHERCHE EN LIEN AVEC DES PROBLEMATIQUES D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE	 25
1/ <i>CO₂ et effet de serre</i>	25
2/ <i>Phase de construction : une « fraction de vie » intéressante</i>	27
3/ <i>Hypothèse</i>	28
4/ <i>Ossature du travail de recherche</i>	29

Partie 2 : Le choix et l'organisation des recherches afin de tester l'hypothèse 30

CHAPITRE 1 : METHODE GENERALE DU PROJET DE FIN D'ETUDES	31
CHAPITRE 2 : RECHERCHE D'UN OUTIL « CLE EN MAIN »	32
CHAPITRE 3 : DEMANDE DE RENSEIGNEMENTS ET DE CONSEILS AUPRES D'EXPERTS	34
CHAPITRE 4 : MISE EN PLACE DE LA DEMARCHE SCIENTIFIQUE	36
1/ Philosophie du calcul.....	36
2/ Trame de calcul.....	37
3/ Données nécessaires	40
3.1/ Descriptif quantitatif	40
3.2/ Quantité élémentaire des sous détails.....	40
3.3/ Emissions liées aux variables de chantier	41
3.3.1/ Emissions de CO ₂ liées aux aménagements de chantier	41
3.3.2/ Emissions de CO ₂ liées aux variables de chantier.....	42
3.3.2.1/ Transport des matériaux	42
3.3.2.2/ Approvisionnement du matériel.....	43
3.3.3/ Tableau récapitulatif	43
3.4/ Emissions élémentaires de CO ₂ relatives aux matériaux.....	44
3.4.1/ Bases de données existantes.....	44
3.4.2/ La base de données INIES	44
3.4.2.1/ Fonctionnement de la base de données	45
3.4.2.2/ Pourquoi ce choix ?	46
3.4.2.3/ Analyse d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)	46
3.4.2.4/ Extraction de données.....	49
3.4.2.5/ Importance des annexes techniques	49
3.4.2.6/ Limites de ce choix.....	52
3.4.3/ Tableau récapitulatif	53
3.5/ Emissions élémentaires de CO ₂ relatives au matériel.....	54
3.5.1/ Taux d'émissions de CO ₂ relatives au fonctionnement sur chantier de « matériel thermique ».....	54
3.5.1.1/ Passage d'une consommation de carburant (L) à des émissions de CO ₂ (kg).....	54
3.5.1.2/ Unité de fonctionnement	55
3.5.1.3/ Calcul	55
3.5.2/ Taux d'émissions de CO ₂ relatives au fonctionnement sur chantier du matériel électrique.....	56
3.5.2.1/ Passage d'une consommation électrique (kWh) à des émissions de CO ₂ (kg).....	56
3.5.2.2/ Calcul	57
3.5.3/ Tableau récapitulatif	57
3.6/ Emissions élémentaires de CO ₂ relatives à la main d'œuvre.....	58

Partie 3 : Application sur une maison en bois et terre des Bouches-du-Rhône..... 59

CHAPITRE 1 : GENERALITES	60
1/ Localisation du chantier	60
2/ Plans	61
2.1/ Plan détaillé.....	61
2.2/ Coupes	62
2.3/ Axonométrie	63
CHAPITRE 2 : UNE MAISON Pensee DANS UN CONTEXTE LOCAL : LA PROVENCE.....	64
1/ Importance du foncier.....	64
2/ Quelques principes bioclimatiques	64

CHAPITRE 3 : UNE MAISON CONSTRUITE A PARTIR D'UN MEME ELEMENT DE BASE : UNE PLANCHE DE BOIS	66
1/ Principes pour l'ensemble du gros œuvre (hors fondation)	66
2/ Identification du bois	67
3/ Du bois pour lutter contre l'effet de serre.....	67
CHAPITRE 4 : UNE BASE DE DONNEES DIFFICILE A CONSTRUIRE	68
1/ Grille de lecture du document Excel « base-donnees-tauxCO2.xls »	68
2/ Hypothèses initiales pour le calcul des émissions liées aux variables de chantier	69
2.1/ Aménagements de chantier	69
2.2/ Distances au chantier	70
2.2.1/ Approvisionnement des matériaux.....	70
2.2.2/ Approvisionnement du matériel.....	71
2.2.3/ Spatialisation des distances au chantier	72
3/ Données concernant les composantes des ouvrages élémentaires.....	73
3.1/ Matériaux.....	73
3.2/ Matériel.....	75
3.3/ Main d'œuvre.....	77
4/ Conclusions liées à l'élaboration de la base de données.....	78
CHAPITRE 5 : UN CALCUL RESOLU LAISSANT SUBSISTER DES INCERTITUDES.....	80
1/ Grille de lecture du document Excel « MaisonBOIS-calculCO2.xls».....	80
2/ Taux d'émissions de CO ₂ pour l'ensemble des variables de chantier	81
3/ Taux d'émissions de CO ₂ pour l'ensemble des ouvrages élémentaires (T _{OE}).....	81
4/ Total des émissions de CO ₂ engendrées par la construction de la maison bois-terre (T _{FINAL}) ...	83
CHAPITRE 6 : INTERPRETATION DES RESULTATS.....	84
1/ Analyse des résultats.....	84
2/ Analyse de sensibilité.....	85
3/ Un manque de données ?	86
3.1/ Indicateurs de qualité des données	87
3.2/ Différents types d'incertitude des données.....	88
 Conclusion	 90
 Bibliographie	 96
 Annexes	 100

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Répartition sectorielle des émissions de CO2 en 2004	13
Figure 2 : 14 cibles pour la Haute Qualité Environnementale	20
Figure 3 : Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) et contribution aux émissions françaises des différents gaz à effet de serre	26
Figure 4 : Les phases dans le cycle de vie d'un bâtiment	27
Figure 5 : Publicités prônant les blocs béton comme des matériaux écologiques	28
Figure 6 : Tableau général du calcul des émissions de CO2 lors de la construction d'une maison	38
Figure 7 : Tableau de décomposition des ouvrages élémentaires	39
Figure 8 : Les différentes étapes de transport possible pour les matériaux	42
Figure 9 : Organisation de la base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des matériaux et produits de construction : la base INIES	45
Figure 10 : Sommaire de la fiche FDES mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010	46
Figure 11 : Informations allant à l'essentiel, tableau récapitulatif des impacts environnementaux pour le produit mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010	47
Figure 12 : Synthétisation des informations sur les données du produit mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010	48
Figure 13 : Où se situent les données nécessaires ? Exemple sur la fiche FDES du mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010	49
Figure 14 : Extrait du détail de la description du cycle de vie du mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010	50

Figure 15 : Extrait du détail des hypothèses choisies pour la réalisation des calculs lors de l'analyse du cycle de vie du mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010	50
Figure 16 : Extrait de la fiche FDES du mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010 avec la provenance des données et leur représentativité	51
Figure 17 : Émissions de CO2 des centrales électriques (en gCO2/kWh)	56
Figure 18 : Émissions moyennes de CO2 des kWh du parc électrique français	56
Figure 19 : Evolution de la production nette d'électricité par filière de 1970 à 2006, en TWh	57
Figure 20 : Différence de position du soleil couchant entre l'été et l'hiver sous 45° de latitude (Bordeaux)	64
Figure 21 : Fonctionnement du puits provençal en hiver	65
Figure 22 : Fonctionnement du puits provençal en été	65
Figure 23 : Localisation des différents points d'approvisionnement	72
Figure 24 : Extrait du document « <i>base-donnees-tauxCO2.xls</i> », onglet matériaux	73
Figure 25 : Détail de la construction de la base de données des émissions de CO2 engendrées par les matériaux	74
Figure 26 : Extrait du document « <i>base-donnees-tauxCO2.xls</i> », onglet matériel	75
Figure 27 : Détail de la construction de la base de données des émissions de CO2 engendrées par le matériel	76
Figure 28 : Extrait du document « <i>base-donnees-tauxCO2.xls</i> », onglet main d'œuvre	77
Figure 29 : Détail de la construction de la base de données des émissions de CO2 engendrées par la main d'œuvre	77
Figure 30 : Matrice avec cinq indicateurs de qualité des données	87

LISTE DES SIGLES

AIMCC : Association des Industries de produits de construction

ACV : Analyse de Cycle de Vie

Ademe : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AFNOR : Agence Française de Normalisation

ANAH : Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat

BRE : Building Research Establishment

BREEAM : Building Research Establishment Environmental Assessment Method

CAPEB : Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment

CERIB : Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton

CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

CAE : Conseil des Architectes Européens

CO₂ : Formule chimique du dioxyde de carbone

CNDB : Comité National pour le Développement du Bois

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

FDES : Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires

FFB : Fédération française du Bâtiment

HQE : Haute Qualité Environnementale

LEED : Leadership Energy Environment Design

MIES : Mission Interministérielle de l'Effet de Serre

PRG : Pouvoir de Réchauffement Global

Tec : tonne-équivalent carbone

UNSFA : Union Nationale de Syndicats Français d'Architectes

INTRODUCTION

Les questions environnementales prennent une place sans cesse croissante dans les prises de décisions politiques, économiques, industrielles et individuelles. Au delà des modes passagères, l'attention portée aux problèmes environnementaux est liée à un constat fondamental : l'environnement pose une limite concrète au développement de la société en ne pouvant absorber tous les effets de l'activité humaine. Il est maintenant reconnu que l'environnement ne peut supporter une charge toujours plus grande si nous voulons assurer aux générations futures des perspectives acceptables.

S'il est facile voire commun de parler de développement durable, passer de la parole aux actes est plus délicat. Pour l'avenir de notre société, il est important que les affirmations s'accompagnent d'actions efficaces conduisant à une réduction effective des impacts environnementaux. Pour qu'une action soit efficace, il faut à la fois disposer de solutions technologiques satisfaisantes mais aussi déterminer quelles sont les priorités d'action en tenant compte de leur efficacité environnementale, leurs coûts et les contraintes économiques qu'elles impliquent. L'outil développé dans le cadre de ce travail de fin d'études, ayant une application dans le secteur du bâtiment, qui a lui seul est responsable d'environ 23 % des émissions de CO₂, est l'un des outils d'aide à la décision qui répond à ces besoins.

Le point de départ de cette étude est la volonté d'un architecte, Monsieur Borme, d'établir un bilan CO₂ lié à la construction d'une maison individuelle en bois et terre qu'il a conçue. Outre un argument écologique, il s'agit de positionner son produit au sein d'un discours cacophonique sur les nouvelles maisons écologiques où chacun y va de ses arguments. Assez rapidement la faisabilité du calcul sous-tendu par ce bilan CO₂ est remise en cause. La question de recherche est donc redéfinie de la façon suivante : Est-il possible à l'heure actuelle, pour un bureau d'études en urbanisme, de définir avec une relative précision les émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle ?

Pour y répondre, nous considérerons dans un premier temps le rapport entre le secteur de la construction et les émissions de CO₂. Cette partie s'attache tout d'abord à décrire le contexte actuel autour du thème : Construire avec le développement durable, puis met en évidence le raisonnement qui nous a permis de passer d'une question opérationnelle initiale proposée par l'architecte à la question de recherche.

Dans un second temps, le choix et l'organisation des recherches sont développés. Il s'agit de faire partager au lecteur le cheminement élaboré pour répondre à la problématique et mettre en lumière la trame de calcul. Suivre la réflexion menée pour

tester l'hypothèse selon laquelle il existe actuellement un réel manque de données pour parvenir simplement au résultat du calcul des émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle.

Enfin, la troisième partie est la mise en application concrète de l'outil élaboré. La maison en bois et terre pensée et définie par l'architecte sert de base à cette étude de cas. Cette mise en situation : création d'une base de données puis résolution du calcul, est une étape essentielle qui permet de véritablement tester l'hypothèse.

Ce travail va démontrer qu'à l'heure actuelle, du fait qu'il est difficile de trouver suffisamment de données fiables, homogènes, détaillées etc., il est préférable de se focaliser sur l'analyse du processus employé et sur la valeur, la crédibilité du résultat, que sur l'analyse du résultat chiffré en tant que tel.

PARTIE 1 :

LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION ET LES EMISSIONS DE CO₂

CHAPITRE 1 :

CONSTRUIRE AVEC LE DEVELOPPEMENT DURABLE

Aujourd'hui, les modifications climatiques amorcées au XX^{ème} siècle deviennent de plus en plus sensibles. Face aux dangers qu'elles représentent, l'opinion publique et les décideurs politiques commencent à prendre conscience de la nécessité de protéger le milieu naturel. Pour assurer la qualité de vie des générations futures, la maîtrise du développement durable des ressources de la planète est devenue indispensable. Son application à l'architecture, l'urbanisme et l'aménagement du territoire concerne tous les intervenants : maîtres d'ouvrage publics ou privés, décideurs politiques, ingénieurs, architectes, paysagistes, industriels, ouvriers du bâtiment...

Le thème de cette recherche « **Construire avec le développement durable** » est réellement au cœur de ces nouveaux enjeux.

En 1987, le rapport Brundtland ayant pour titre « Notre avenir à tous » (« *Our common future* ») introduit la notion de développement durable (*sustainable development*). Il met l'accent sur le fait que l'appauvrissement de la majorité de la population est une des raisons principales des problèmes environnementaux à l'échelle de la planète.

Puis, au début des années 1990, le Sommet de la terre organisé par les Nations unies à Rio de Janeiro a alerté l'opinion sur les conséquences du pillage des matières premières, sur l'augmentation inquiétante de l'effet de serre et sur les dégradations rapides et spectaculaires des équilibres écologiques. Les engagements pris à Rio se sont concrétisés par de nombreuses mesures touchant entre autres l'activité industrielle, les transports, la maîtrise de l'énergie et la gestion des déchets. Ils incitent aussi les habitants des pays industrialisés à préserver les ressources naturelles en remettant en question leur manière de vivre et d'habiter. C'est lors de ce Sommet que les chefs d'Etats se sont engagés à rechercher ensemble les voies d'un « développement qui réponde aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Ce concept de développement durable repose sur trois principes :

- 1/ la prise en considération de l'ensemble du cycle de vie des matériaux¹ ;
- 2/ le développement de l'utilisation des matières premières et des énergies renouvelables ;
- 3/ la réduction des quantités de matière et d'énergie utilisées lors de l'extraction des ressources naturelles, de l'exploitation des produits et de la destruction ou du recyclage des déchets.

¹ Le concept de cycle de vie d'un bâtiment est développé plus loin, page 22.

La notion de développement durable exprime une prise de conscience des risques environnementaux, mais c'est aussi un projet de société qui cherche à concilier des critères écologiques, économiques et sociaux.

En 1996, lors du Protocole de Kyoto, les chefs d'Etats présents se sont engagés à suivre un calendrier de réduction des six gaz à effet de serre qui sont considérés comme la cause principale du réchauffement climatique des cinquante dernières années. Il s'agit, sur les années 2008 à 2012, de ne pas dépasser en moyenne le niveau d'émission des six gaz à effet de serre de 1990. Cette marche arrière signifie en France une réduction de 16 millions de tonnes-équivalent carbone (tec).² S'ils veulent tenir leurs engagements, les pays industrialisés doivent mener parallèlement trois types d'actions : réduire la consommation d'énergie, remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables et stocker du carbone. D'autres Sommets internationaux ont eu lieu, mais c'est celui de Kyoto qui a marqué les esprits en ayant une vocation plus opérationnelle.

La concrétisation des engagements pris à Kyoto a une grande influence notamment sur l'aménagement du territoire, l'urbanisme et l'architecture. C'est en effet dans le secteur du bâtiment et des travaux publics que l'effort à faire est le plus important sur le plan des économies d'énergie et de matières premières, de la réduction des gaz à effet de serre et de la diminution du volume des déchets.³ Près de 2 millions d'entreprises européennes aménagent, avec leurs 11 millions de collaborateurs, le cadre de vie de 380 millions d'Européens⁴. La réalisation et l'usage des bâtiments a un impact important sur l'environnement. Ils consomment environ 50 % des ressources naturelles, 40 % de l'énergie et 16 % de l'eau⁵. En France, où on dispose d'une électricité nucléaire « propre », d'après les chiffres du Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, **le secteur du bâtiment en 2004 est responsable d'environ 23 % des émissions de CO₂.**

2 Sources : [BEGUIER S., 2007] et [SERVEAU L., 2007.]

3 Source : [GAUZIN-MULLER D. et al., 2007]

4 Source : [GAUZIN-MULLER D. et al, 2007]

5 Source : Site Internet FTB

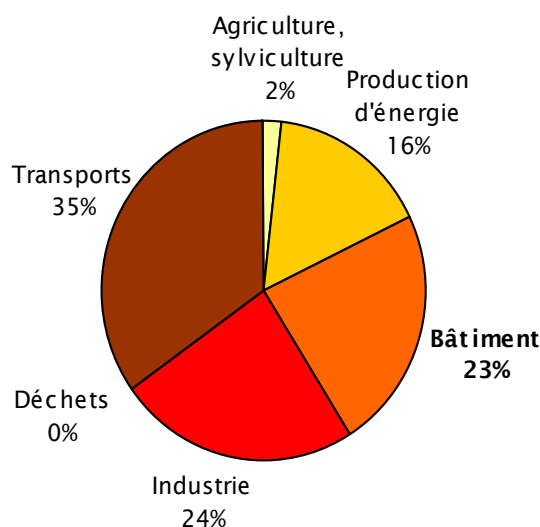


Figure 1 : Répartition sectorielle des émissions de CO₂ en 2004
Réalisation : ADM, Source : CITEPA

La réalisation de bâtiments dans le souci du développement durable est une des réponses les plus efficaces pour réduire l'effet de serre et la dégradation des milieux naturels. Elle est fondée sur trois objectifs complémentaires et indissociables : l'équité sociale, la prudence écologique, l'efficacité économique. Les implications sociales de la qualité environnementale ne peuvent pas laisser les professionnels du bâtiment indifférents. Une construction durable doit être « abordable » (*affordable*), donc accessible au plus grand nombre. Cela donne à la réalisation du cadre bâti une dimension citoyenne et pose la question de la productivité du secteur de la construction. Finalement, une réalisation durable abordable suppose à la fois l'association des utilisateurs à la conception et à la gestion de leur cadre de vie et la collaboration des professionnels, pour une optimisation de la relation architecture, technique, coût.

En 1996, pendant la conférence Habitat II d'Istanbul, les professionnels ont défini ce que pouvait être l'application du développement durable au secteur du bâtiment.⁶ Parallèlement, la médiatisation des sommets internationaux et les scandales liés aux risques présentés par certains matériaux de construction, tel l'amiante, ont suscité l'intérêt croissant de l'opinion publique pour la préservation de l'environnement naturel et la création d'un cadre de vie sain et confortable. Répondant à ces évolutions culturelles, **les filières professionnelles et les industriels européens du bâtiment commencent à prendre en compte les aspects écologiques.**⁷

⁶ Source : Sites Internet Conférence Istanbul

⁷ En France, on voit apparaître le label Chantier Bleu, visant à reconnaître les chantiers phare en matière de Qualité Sécurité et Environnement (label desservi par Bouygues Construction).

CHAPITRE 2 :

D'UNE QUESTION OPERATIONNELLE A UNE QUESTION DE RECHERCHE

1 / Problématique initiale

C'est dans ce contexte très actuel que Monsieur Borme, qui dirige un cabinet d'architecture, a proposé à l'école un sujet de recherche : Evaluer la consommation totale en CO₂ liée à la construction d'une maison individuelle construite selon des principes innovants. La question posée en ces termes souligne l'importance de la phase de construction pour les architectes. C'est en effet à ce moment là, lors de cette phase « d'action », que les choix constructifs et technologiques de l'architecte sont validés. C'est véritablement la phase de concrétisation et de vérification du projet. Cette phase est entièrement suivie par l'architecte lui-même.

Ce travail de recherche est l'occasion, pour Monsieur Borme, de mesurer avec une relative précision l'impact écologique de son nouveau modèle constructif : une maison conçue en bois et terre.

Au départ, ce projet architectural n'est pas véritablement lié à des préoccupations écologiques. L'architecte a réellement voulu se focaliser sur la technique liée au bois et à la construction. Il a donc mis en place un nouveau système constructif surprenant non pas par sa forme architecturale mais par sa planification, sa conception. Cette démarche créative repose sur trois aspects principaux :

- l'ensemble de la structure est conçu avec un seul et même élément : une planche de bois ;
- la volonté de l'architecte d'avoir un « chantier doux », un chantier à main d'œuvre réduite se rapprochant du concept de l'auto-construction ;
- la possibilité de considérer cette maison individuelle comme une composante d'un lotissement, comme un module d'un quartier plus dense, répondant ainsi aux objectifs de la loi de Solidarité et du Renouvellement Urbain du 13 décembre 2000.

Enfin, **cette proposition de réflexion d'évaluation des impacts environnementaux d'une éco-construction souligne l'intérêt que suscitent ces nouveaux modes de conception et construction.** Notons que cette étude permet aussi à l'architecte de positionner son produit au sein d'un discours cacophonique sur les nouvelles maisons écologiques où chacun y va de ses arguments.

La recherche d'une alternative écologique dans le secteur du bâtiment a déjà été amorcée à l'échelle internationale avec, par exemple, en janvier 1999, la participation du Conseil des Architectes Européens (CAE) à la rédaction d'un ouvrage intitulé *The Green Vitruvius* où les principes et les pratiques de la conception architecturale durable sont énoncés. Les initiatives internationales sont nombreuses et suivent des directions différentes selon leur contexte de création ou la culture de leur pays. Elles participent à une maturation des réflexions sur l'approche la plus pertinente et la plus adaptée pour arriver à concevoir et réaliser des bâtiments où qualité et environnement ont été pris en compte de manière optimale.

L'étude des différents systèmes existants d'évaluation de l'impact environnemental montre l'intérêt que porte le secteur du bâtiment à la qualité environnementale et met en évidence un manque d'uniformisation européenne, voire internationale de tous ces outils. Un inventaire des tous ces outils existants permet à la fois d'évoquer les potentialités et les limites de ces outils, mais aussi de voir si certains peuvent aider à répondre à la question.

2/ Inventaire des systèmes existants d'évaluation de l'impact environnemental des bâtiments

2.1 / Le système américain avec le label LEED⁸



L'US Green Building Council⁹ gère un label appelé LEED pour *Leadership Energy Environment Design*, certification environnementale des bâtiments d'habitation et du secteur tertiaire. Un bâtiment peut atteindre quatre niveaux : certifié, argent, or et platine. Les critères d'évaluation incluent : l'efficacité énergétique, l'efficacité de la consommation d'eau, l'efficacité du chauffage, l'utilisation de matériaux de provenance locale et la réutilisation de leur surplus.

Cette méthode ne prend pas en compte le contexte local et l'utilisation d'une note globale fixée sur des coefficients arbitraires présente l'inconvénient d'une méthode subjective. Ce système privilégie l'approche « produit » de l'opération, avec des objectifs mesurables à atteindre.

⁸ Sources : Site Internet label LEED et Outil d'évaluation

⁹ Association internationale à but non lucratif (USA, Mexique, Brésil Japon, Italie, Espagne, Emirats Arabes Unis, Australie, Chine et Corée) créée en 1994.

2.2/ La grille d'évaluation britannique BREEAM¹⁰



La méthode BREEAM (*Building research establishment environmental assessment method*) a été mise au point en Angleterre en 1990 par le *Building research establishment* (BRE), équivalent britannique du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), pour évaluer l'impact environnemental d'un bâtiment depuis sa conception jusqu'à sa démolition. Il s'agit en fait d'une approche « système » basée sur un référentiel transversal. Ce système multicritère, pionnier en matière de démarche environnementale, était d'abord destiné aux immeubles de bureaux. Il existe désormais des versions spécifiques pour quatre types de programmes : habitat, secteur tertiaire, commerce et industrie. Les bâtiments sont notés à partir d'un index contenant des objectifs quantifiés : le management (*management*), la santé et le bien-être (*health and wellbeing*), l'énergie (*energy*), le transport (*transport*), la consommation d'eau (*water*), l'impact environnemental des matériaux et les déchets (*material and waste*), l'utilisation du terrain et la mise en valeur écologique du site (*landuse and ecology*) et la pollution de l'air (*pollution*). Selon le nombre de points obtenus pour chaque critère, le bâtiment reçoit l'appréciation passable, bon, très bon ou excellent.

Cette méthode a été largement diffusée dans le monde (Canada, Norvège, Hong-Kong...). En Angleterre, c'est plus de 25 % des immeubles de bureaux qui se sont construits en utilisant cette méthode. Vu son succès, la méthode Breeam a été mis à jour en 1998 et complétée d'un nouvel outil en 2000, le logiciel Invest, pour calculer directement les impacts environnementaux du bâtiment au même titre qu'une analyse de cycle de vie.

2.3/ La grille hollandaise DCBA¹¹

Le système de référence généralisé aux Pays-Bas pour les opérations de construction est la grille DCBA. Ce système a été mis au point pour la réalisation du quartier Nieuwland à Amersfoort dans les années 90. Il s'agit de mettre une « note » pour chaque aspect environnemental (type de matériau, provenance, qualité, agrément...) entre un niveau de base "D" et un niveau optimum "A". Elle établit donc une hiérarchie entre les différents niveaux d'intervention et caractérise quatre échelles d'objectifs et de résultats, ce qui permet d'obtenir une grille d'évaluation des projets :

- A = bâtiment autonome avec un impact minimum sur l'environnement ;
- B = bâtiment avec un impact environnemental très réduit ;
- C = bâtiment conventionnel avec une correction des nuisances environnementales ;
- D = projet de bâtiment conventionnel.

¹⁰ Sources : Site Internet label BREEAM, Outil d'évaluation et [DUFASNES E., 2007]

¹¹ Sources : Site Internet grille DCBA et Outil d'évaluation

Pour l'horizon 2002, de nouveaux objectifs ont été fixés : une baisse de 25 % de la consommation d'énergie dans les bâtiments neufs, une réduction de 10 % de la consommation d'eau et une diminution sensible des émissions de gaz à effet de serre.

2.4/ Le concept suisse Minergie¹²



La confédération helvétique s'est fixée pour objectif une diminution de 10 % des émissions de CO₂ avant l'an 2010. Le concept Minergie a été créé dans ce contexte. C'est une marque déposée appartenant aux cantons de Zurich et de Berne. Ses droits d'exploitation sont gérés par la Confédération, 25 cantons et environs 50 entreprises, associations et écoles. Minergie vise à promouvoir une utilisation rationnelle de l'énergie, l'emploi d'énergies renouvelables, l'amélioration de la qualité de vie, la compétitivité économique et la diminution des nuisances sur l'environnement. Les objectifs du concept Minergie sont définis par des exigences quantifiées avec des valeurs maximales de consommation de chauffage et d'électricité. Les réalisations Minergie ne consomment qu'environ 35 % de l'énergie utilisée par une construction neuve conventionnelle.

Le label Minergie fait l'objet d'une promotion intensive. A sa création, il concernait essentiellement l'habitat et en particulier les maisons individuelles. En 2000, la Confédération a annoncé qu'il serait appliqué à tous les bâtiments fédéraux et aux opérations qu'elle subventionne. Plusieurs cantons ont rendu le label obligatoire pour leurs propres constructions et offrent des aides financières pour les projets Minergie. Lorsque le bâtiment répond aux exigences du label, certaines banques proposent une réduction d'environ 1 % des crédits consacrés à la construction pendant les deux, voire les cinq premières années de remboursement.

Note : Le standard « E-2000 éco-construction » complète l'approche (exigences énergétiques) avec des critères écologiques comme les matériaux, la gestion de l'eau, les transports ou les coûts de construction.

12 Sources : Site Internet label Minergie, Outil d'évaluation et [DUFRASNES E., 2007]

2.5/ Le label Passivhaus en Allemagne¹³



PASSIV HAUS INSTITUT

L'objectif du Passivhaus est de réduire la consommation d'énergie des immeubles d'habitation tout en assurant un climat intérieur confortable. Ainsi, il vise la réduction des consommations énergétiques des immeubles d'habitation en assurant l'apport en énergie solaire passive, en renforçant l'isolation des bâtiments, en utilisant des énergies renouvelables, récupérant la chaleur. Ce label a donné naissance en 2002 à une nouvelle réglementation thermique allemande qui reprend les objectifs-cibles du label : 65 kWh/m².an pour le chauffage, 25 kWh/m².an pour l'eau chaude sanitaire, 30 kWh/m².an pour la consommation électrique. De plus, la réglementation demande qu'une « carte d'identité énergétique » du bâtiment soit communiquée lors de la location ou de l'achat d'un bâtiment.

2.6/ La certification Total Quality en Autriche¹⁴

Certification développée par les Ministères du Transport, Logement et de l'Innovation, ce système intégré d'évaluation des bâtiments permet d'adjoindre aux critères environnementaux des critères de qualité globale. Des valeurs cibles sont fixées pour chaque critère. Une documentation spécifique du projet permet d'en établir l'évaluation et de délivrer le certificat au final. Encore peu utilisée, elle se distingue par son approche transversale et sa recherche d'exhaustivité.

2.7/ La méthode HK-Beam¹⁵



HK-BEAM Society

香港環保建築協會

HONG KONG BUILDING ENVIRONMENTAL

ASSESSMENT METHOD

香港建築環境評估法

Sous le nom de "HK-Beam" (*Hong-Kong building environmental assesment method*), l'Université Polytechnique de Hong-Kong en partenariat avec le *Real estate developers estate* propose depuis décembre 1996 une méthode d'évaluation des performances environnementales des immeubles de bureaux neufs et existants. S'inspirant de la méthode Breeam (Angleterre), elle définit 56 critères allant de la programmation à la gestion des bâtiments.

13 Sources : Sites Internet label Passivhaus, Outil d'évaluation et [DUFRASNES E., 2007]

14 Sources : Outil d'évaluation et [DUFRASNES E., 2007]

15 Sources : Site Internet méthode HK-Beam, Outil d'évaluation et [DUFRASNES E., 2007]

2.8/ CASBEE au Japon¹⁶



Déclinaison de LEED, CASBEE signifie *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*, introduit la notion de culture et de caractère régional de la construction.

2.9/ La démarche HQE française¹⁷



En France, le concept le plus répandu est celui de la « Haute Qualité Environnementale ». Contrairement aux outils anglais ou hollandais, l'objectif n'est pas d'évaluer les bâtiments mais de certifier une démarche.

Dès 1993, une cellule du ministère de l'Équipement et de logement français lance, sous le programme « Ecologie et Habitat », plusieurs réalisations expérimentales à « Haute Qualité Environnementale ». Parallèlement, il impulse plusieurs travaux visant à conjuguer au sein d'une même démarche « respect de l'environnement » et « management de la qualité ». Tous ces travaux ont conduit à l'élaboration de cinq référentiels des caractéristiques HQE. Les principaux ont été déposés par l'Association HQE¹⁸ en novembre 2001 lors de la première édition des Assises nationales de la démarche HQE à Bordeaux. Suivant ces cadres de références, la démarche HQE conjugue deux types d'approches :

1/ Une approche par exigences, voire par la performance, sous forme de grille d'évaluation comprenant 14 cibles regroupées en quatre thèmes : écoconstruction, écogestion, confort et santé. Chaque cible est ensuite décomposée en sous-cibles plus opérationnelles. Cette grille synthétise des objectifs qui visent à préserver l'environnement et la qualité de vie et répondent ainsi aux aspects quantifiables du développement durable.

¹⁶ Sources : Site Internet Casbee et Outil d'évaluation

¹⁷ Sources : Site Internet Association HQE, Bâtir sain, sdec-energie, [DUFRASNES E., 2007] et [NIBEL S. et al., 2001]

¹⁸ L'Association HQE fut créée en 1996. Elle fédère aujourd'hui directement ou indirectement la plupart des acteurs concernés par la démarche HQE.

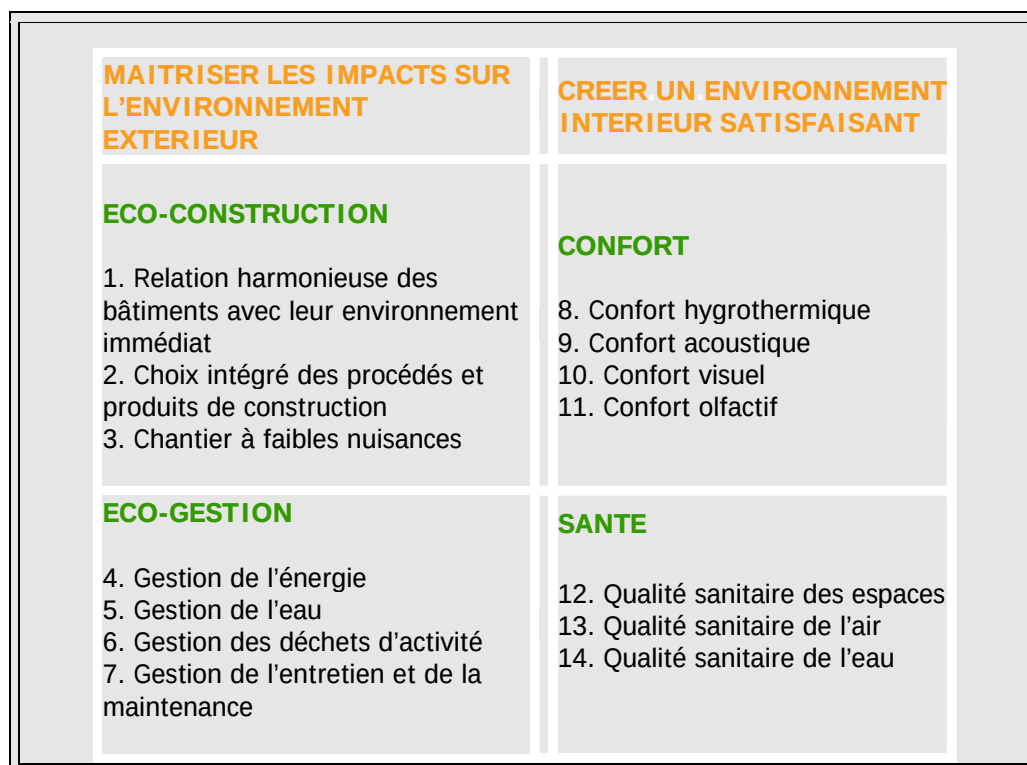


Figure 2 : 14 cibles pour la Haute Qualité Environnementale

Source : Association HQE

2/ Une approche « gestion de projet » développant de manière opérationnelle la démarche à suivre au travers d'un système de management environnemental (SME) adapté à l'opération.¹⁹

En correspondance avec la norme NF EN ISO 8402 « Management de la qualité et assurance de la qualité » (ancienne ISO 9000), l'Atèque (atelier d'évaluation de la qualité environnementale) de l'Association HQE propose une première définition de la qualité environnementale des bâtiments : « *La qualité environnementale d'un bâtiment correspond aux caractéristiques du bâtiment et du reste de la parcelle de l'opération de construction ou d'adaptation du bâtiment qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins de maîtrise des impacts du bâtiment sur l'environnement extérieur et de création d'un environnement intérieur sain et confortable* ». Cette démarche globale de management de projet visant à traduire le concept de « développement durable » dans le secteur du bâtiment s'inscrit également dans une recherche de la qualité : qualité architecturale, qualité fonctionnelle, qualité technique, pérennité, maîtrise des coûts...

¹⁹ Sources : Site Internet HQE et [DUFRASNES E., 2007]

Avec le soutien de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe) et de plusieurs conseils généraux, les opérations HQE se sont largement multipliées depuis plus de dix ans. Les organismes de logements sociaux ont rapidement et largement appuyé cette démarche qui correspond parfaitement à leurs missions : maîtrise des coûts et réflexion en coût global, intégration sociale des personnes défavorisées, réduction des dépenses énergétiques...

2.10/ Synthèse

NOM	ORIGINE	CIBLE					
		APPLICATIONS	CHANTIER	ENERGIE	PRODUITS	EAU	GESTION
HQE	France	Tous					
LEED	Etats-Unis	Tous					
BREEAM	Grande Bretagne	Tous					
DCBA	Pays-Bas	Tous					
MINERGIE	Suisse	Tous					
PASSIVHAUS	Allemagne	Logements					
TOTAL QUALITY	Autriche	Tous					
HK-BEAM	Hong Kong	Tertiaire et Logements					
CASBEE	Japon	Tous					

La plupart de ces systèmes d'évaluation sont évolutifs et font l'objet de modifications tenant compte des résultats et des réalisations expérimentales. Bien sûr, quelle que soit l'approche choisie, le succès de la démarche environnementale est indissociable d'une forte volonté de la maîtrise d'ouvrage et la capacité de l'architecte à conduire l'équipe de la maîtrise d'œuvre.

Finalement, la majorité de ces concepts sont transversaux. Ils représentent un aboutissement de réflexions sur l'approche environnementale. **Ces systèmes de labellisation sont « généralistes ».** Ils intègrent l'ensemble des évaluations environnementales et répondent généralement à des besoins à court terme qui, le plus souvent, résultent de démarches plus politiciennes que techniques. Ainsi, **ils ne conduisent pas toujours à réduire les impacts environnementaux des bâtiments.** C'est pourquoi, en France, au cours des années 1990, des systèmes d'évaluation fondés sur des logiciels informatiques ont vu le jour. Ces outils sont généralement basés sur une analyse complète du cycle de vie.

2.11/ Logiciels français d'Analyse de Cycle de Vie

2.11.1/ Equer²⁰

Logiciel développé par l'école de Mines de Paris, EQUER est un outil d'évaluation du cycle de vie des matériaux s'appuyant sur des bases de données suisses et allemandes.

Une analyse de cycle de vie (ACV) étudie les impacts sur l'environnement (milieux physiques, ressources naturelles et êtres vivants) d'un système comprenant l'ensemble des activités associées à un produit. Il s'agit d'étudier un produit, depuis sa fabrication (le berceau), en prenant en compte ses composants et donc remontant aux ressources puisées dans l'environnement, jusqu'à sa fin de vie (la tombe), y compris le traitement des déchets ultimes créés, en passant par toutes les étapes de son utilisation. Cette méthode consiste donc à évaluer les aspects quantifiables de la qualité environnementale et laisse de côté des aspects plus qualitatifs (comme l'atteinte aux paysages, la qualité de vie...).

Ce logiciel est associé au programme informatique d'analyse énergétique COMFIE qui prend en compte douze indicateurs environnementaux et permet de réaliser des simulations dynamiques de l'enveloppe du bâtiment dès les premières esquisses d'un projet. Le logiciel Comfie est lui aussi généralement associé à un autre logiciel, PLEIADES, une interface développée et diffusée par la société IZUBA énergies.

Finalement, l'ensemble Pléiades, Comfie et Equer permet maintenant d'aborder la qualité environnementale depuis la simulation heure par heure des ambiances jusqu'à l'analyse globale environnementale sur la durée de vie du bâtiment.

20 Sources : [IBPSA, 2004] et [PEUPORTIER B.,2003]

2.1.1.2/ Team²¹

Outil TEAM BATIMENT développé par la société Ecobilan, dont l'équipe fait aujourd'hui partie du groupe Pricewaterhousecoopers, permet d'effectuer l'analyse de cycle de vie d'un bâtiment connaissant les quantités de chaque matériau et les consommations énergétiques.

2.1.1.3/ Bilan Carbone²²

Le bilan carbone est une méthode de calcul, supervisée en France par l'Ademe, qui offre la possibilité à une entreprise de réaliser un bilan chiffré de ses émissions de gaz à effet de serre afin de faciliter la mise en place de mesures visant à les réduire et donc à lutter contre le réchauffement climatique. L'esprit général de la méthode est de prendre en compte tous les flux physiques qui concernent une certaine activité (flux de personnes, d'objets, d'énergie) et de leur faire correspondre les émissions de gaz à effet de serre qu'ils engendrent.

L'outil, qui se présente sous format Excel, est accompagné d'un manuel d'utilisation et d'un guide méthodologique. Les résultats cherchent à donner le panorama le plus large possible des émissions qui sont associées aux processus utilisés, ainsi qu'aux produits et services générés par une activité.

2.1.1.4/ Papoose²³

Outil d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage, ce logiciel du bureau d'études Tribu, couvre les différentes phases de conception et traite une douzaine de thèmes environnementaux, avec une attention particulière à l'énergie et au confort des usagers. Il tient compte des aspects économiques.

2.1.1.5/ Escale²⁴

Méthode conçue par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et l'université de Savoie, Escale permet d'évaluer les qualités environnementales d'un bâtiment tout au long des phases de conception. Elle définit onze critères principaux : ressources énergétiques, autres ressources, pollution à grande échelle, pollution locale, déchets, adaptation au site, confort, santé, management environnemental maintenance et adaptabilité.

21 Sources : Site Internet Team et [VIGNERON J., PATINGRE J.F., 2001]

22 Sources : Site Internet Ademe, AlternConsult, blog de Monsieur Janovici

23 Source : Site Internet Papoose

24 Source : Site Internet Escale

2.1.1.6/ Elodie²⁵

Avec le soutien de la Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction, le projet ELODIE a vu le jour début 2006 au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

Il s'agit d'un logiciel permettant d'évaluer les propriétés environnementales intrinsèques d'un bâtiment dans son ensemble. Concrètement, ce logiciel transpose les données « produit » contenues dans les Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires (FDES) à l'échelle d'un ouvrage entier. L'objectif est simple : considérer l'impact global des constructions sur l'environnement. Ceci s'inscrit dans la droite ligne de l'approche HQE.

2.1.2/ Conclusion

Il ressort deux types d'outils d'évaluation de l'impact environnemental : les labels et les logiciels informatiques. Ces derniers étant plus « techniques », ils sont souvent utilisés pour l'obtention de bons niveaux dans le système de labellisation. Ainsi en France, Equer ou Team peuvent être utilisés pour atteindre les objectifs de la démarche HQE. **Cette étude met en avant la multitude de méthodes d'évaluation de l'impact environnemental et montre que cette diversité nuit à la clarté des outils disponibles.** Et l'on remarque que dès que l'on se pose une question précise, que l'on cherche à cibler l'évaluation des impacts environnementaux, les outils à disposition ne sont plus adaptés ou n'existent pas.

3/ Question de recherche

Finalement le sujet proposé par Monsieur Borme ne semble pas si évident et la faisabilité même du calcul est remise en cause. Il est donc nécessaire de reformuler sa question et de passer d'une question opérationnelle à une question de recherche qui appelle des hypothèses. La question de recherche qui aboutit est : **Est-il possible à l'heure actuelle pour un bureau d'études en urbanisme de définir avec une relative précision les émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle ?**

²⁵ Source : Site Internet Elodie

CHAPITRE 3 :

UNE QUESTION DE RECHERCHE EN LIEN AVEC DES PROBLEMATIQUES D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

Est-il possible à l'heure actuelle pour un bureau d'études en urbanisme de définir avec une relative précision les émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle ?

Enoncer une question précise comme celle-ci, implique d'être conscient des limites des résultats obtenus et de leur champ de validité mais aussi de poser la question de la pertinence de la restriction du sujet à cette seule question. En quoi est-ce intéressant de se focaliser sur les émissions de CO₂ ? Pourquoi ne regarder que la phase de construction ?

1 / CO₂ et effet de serre

Le dioxyde de carbone (CO₂) est l'un des six gaz à effet de serre pris en compte dans le protocole de Kyoto. Les cinq autres gaz concernés sont : le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆). Les différents gaz ne contribuent pas tous à la même hauteur à l'effet de serre. Tous les gaz à effet de serre n'ont pas le même Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)²⁶. Le Pouvoir de Réchauffement Global d'un gaz se définit comme le « forçage radiatif » (c'est-à-dire la puissance radiative que le gaz à effet de serre renvoie vers le sol) cumulé sur une durée de 100 ans. Généralement, on mesure cette valeur relativement au CO₂.²⁷

²⁶ Global Warming Potential (GWP)

²⁷ Source : [CROS C., TABET J.P., 2000]

Gaz	CO ₂ Dioxyde de carbone	CH ₄ Méthane	N ₂ O Protoxyde d'azote	HFC Hydrofluoro-carbures	PFC Perfluoro-carbures	SF ₆ Hexafluorure de soufre
PRG	1	21	310	140 – 11 700 *	6 500 – 9 200 *	23 900
Emissions françaises en 2005	341 Mt	2,664 Mt	0,231 Mt			
Emissions françaises en équivalent CO ₂	341 Mt	55,94 Mt	71,61 Mt	10,69 Mt	1,80 Mt	1,39 Mt

* Les HFC et PFC sont des catégories de gaz regroupant différents gaz, dont les PRG sont différents. Les valeurs indiquées dans le tableau sont les valeurs minimales et maximales des PRG de ces gaz. Il a été calculé une valeur pondérée pour ces deux gaz en 2005 : pour HFC, elle est de 1 608 et pour PFC de 7 113.

Figure 3 : Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) et contribution aux émissions françaises des différents gaz à effet de serre

Réalisation : ADM, Source : [CROS C., TABET J.P., 2000]

En 2005, le CO₂ représentait 341 Mt sur un total de 482 d'équivalent CO₂, soit environ 71 % des émissions de gaz à effet de serre prises en compte dans le protocole de Kyoto. C'est ce chiffre de 71 % qui justifie le choix de limiter notre étude d'évaluation des impacts environnementaux à la prise en compte des seules émissions de dioxyde de carbone.

2/ Phase de construction : une « fraction de vie » intéressante

La restriction de l'étude des émissions de CO₂ d'un bâtiment à la seule phase de construction du projet peut sembler peu pertinent au vu de l'importance de la notion de durabilité d'un bâtiment. La construction est, en effet, une action temporaire qui ne s'inscrit pas dans le « temps long ». Cette période ne représente qu'un fragment de la « vie » d'un bâtiment.

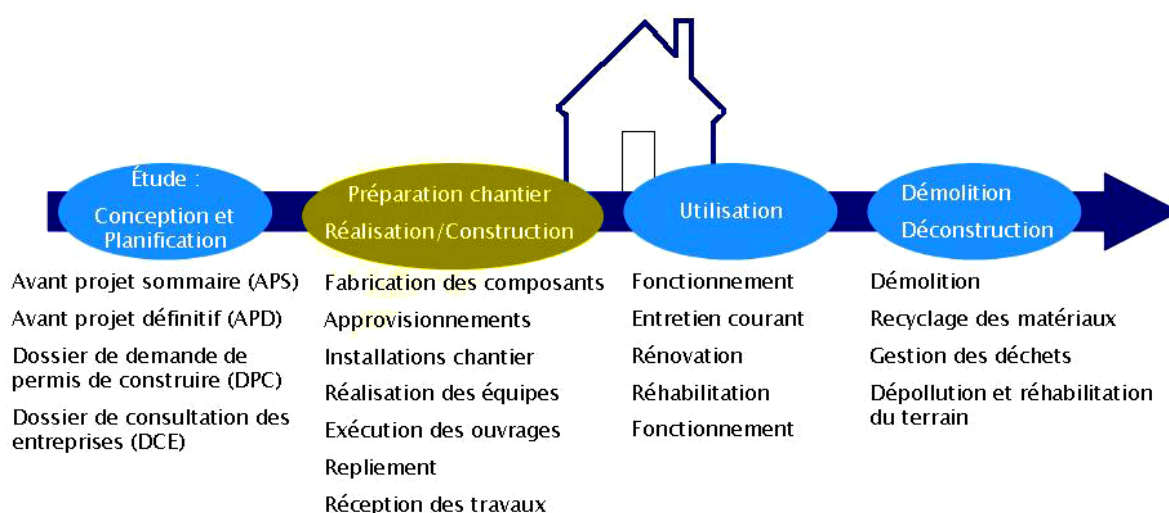


Figure 4 : Les phases dans le cycle de vie d'un bâtiment

Réalisation : ADM, Source : [POLSTER B.,2005]

Cependant, ce recentrage sur la phase de construction est intéressant puisque peu d'études ont été réalisées sur ce sujet. Beaucoup ne concernent que les consommations CO₂ lors de l'utilisation du bâtiment. De plus, même si la question de départ proposée par Monsieur Borne a été reformulée, il est important de ne pas trop s'écarter de la problématique initiale. Par ailleurs, **c'est lors de la phase de construction que l'on peut vérifier les impacts des différents produits du marché d'un point de vue opérationnel** puisqu'il s'agit de la concrétisation du projet de l'architecte. Enfin, on remarque que s'intéresser à la seule phase de construction est étroitement lié à des discours promotionnels actuels sur des prétendus produits de construction écologiques. Il semble donc intéressant de pouvoir vérifier la véracité ou non de ces discours. D'autant que selon la Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (DGCCRF), 60 % des arguments des messages écologiques affichés par des fabricants sont fallacieux ou n'ont aucune base réelle (cf. figure 5 page 28).²⁸

²⁸ Source : [VISSCHER C. et al., 2007]



Figure 5 : Publicités prônant les blocs béton comme des matériaux écologiques²⁹

Source : Site Internet Blocaliens

3/ Hypothèse

Pour traiter ce sujet de recherche appliquée, la méthode hypothético-déductive a été sélectionnée. Il s'agit donc de formuler une hypothèse afin d'en déduire des conséquences observables permettant au final de déterminer la validité ou non de l'hypothèse proposée initialement.

Après quelques mois de recherches pour mener à bien le calcul demandé, on se trouve face à la difficulté de trouver les informations nécessaires. Les données sont inexistantes ou non accessibles librement. Ainsi, l'hypothèse qui sera retenue pour ce mémoire de recherche est : **Actuellement, il existe un réel manque de données pour parvenir simplement au résultat du calcul des émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle.**

²⁹ Cf. annexe 2 page 104

4/ Ossature du travail de recherche

Thème	Construire avec le développement durable
Problème général	Compatibilité des termes : Construction et Développement durable
Problème spécifique	Emissions de CO ₂ lors de la construction d'une maison individuelle innovante
Problématique	Est-il possible à l'heure actuelle, pour un bureau d'études en urbanisme, de définir avec une relative précision les émissions de CO ₂ lors de la construction d'une maison individuelle ?
Hypothèse	Actuellement, il existe un réel manque de données pour parvenir simplement au résultat du calcul des émissions de CO ₂ lors de la construction d'une maison individuelle

PARTIE 2 :

LE CHOIX ET L'ORGANISATION DES RECHERCHES AFIN DE TESTER L'HYPOTHESE

CHAPITRE 1 :

METHODE GENERALE DU PROJET DE FIN D'ETUDES

Afin de valider ou réfuter l'hypothèse définie, **la méthode choisie est de se livrer à l'exercice en tant que tel**, d'être dans la situation d'un employé d'un bureau d'études en urbanisme qui chercherait à calculer les émissions de CO₂ émises lors de la construction d'une maison individuelle donnée. Si l'exercice s'avère réalisable dans le temps imparti pour ce mémoire, alors nous montrerons qu'il est finalement possible de réaliser un tel calcul et notre hypothèse initiale se verra réfutée.

Le cas concret de cette étude a été proposé par Monsieur Borme, architecte. Il s'agit d'une maison individuelle : type 4 en bois et terre de 120 m² de surface habitable, sur un terrain de 750 m², implantée sur la commune de Martigues (13).

CHAPITRE 2 :

RECHERCHE D'UN OUTIL « CLE EN MAIN »

Chercher à répondre à la question spécifique, c'est essayer de « calculer » les émissions de CO₂ émises lors de la construction d'une maison individuelle. Ainsi, s'approprier l'un des outils d'évaluation environnementale et l'adapter au calcul rendrait celui-ci plus « simple » : méthode de résolution (trame du calcul) donnée et base de données associée, donc accessible de façon « transparente ».

Après l'étude des outils existants présentés dans la partie précédente page 15, il ressort que les logiciels : Bilan carbone, Equer et Elodie sont les plus proches de la problématique. On peut :

- considérer le calcul demandé comme un bilan carbone « trafiqué ». Le bilan carbone du bâtiment en phase de construction peut être assimilé à une méthode d'évaluation de la quantité de dioxyde de carbone stocké ou émis dans l'atmosphère pour l'édification de ce bâtiment.
- envisager d'utiliser le logiciel Equer en ne comptabilisant que les émissions de CO₂ sur certaines périodes du cycle de vie : conception et construction.
- mettre en place un système de calcul basé sur le même type d'approche que celui développé pour le logiciel Elodie du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), c'est-à-dire évaluer les émissions de CO₂ sur la base des fiches de déclarations environnementales et sanitaires (FDES) pour les matériaux, les produits qui constituent la maison individuelle, et ajouter les émissions de CO₂ émises pour tout ce qui concerne le matériel et la main d'œuvre.

Il serait donc intéressant d'essayer de se procurer ces logiciels afin de mieux connaître chacun des outils et de se les approprier sous l'angle de notre problématique.

Obtenir le logiciel Bilan carbone développé par l'Ademe n'est envisageable qu'après avoir suivi une formation. A la fin de la formation, une licence d'utilisation de la méthode Bilan carbone comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre est délivrée. Cette formation coûte environ 2 000 euros. Il m'est donc impossible d'étudier par moi même le logiciel Bilan carbone. Concernant le logiciel Equer, il existe, sur Internet³⁰, une version de démonstration téléchargeable du logiciel. La version

³⁰ Source : Site Internet Izuba

proposée permet de visualiser des résultats, mais ne permet pas d'effectuer un calcul. Il est impossible de faire varier les paramètres. Finalement l'utilité de la version trouvée est réduite. Quant au logiciel développé par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), le logiciel Elodie, il devait être disponible à l'automne 2007 selon leur site Internet. Or en janvier 2008, il était toujours impossible de se le procurer.

Note : Le 8 janvier 2008, Monsieur Chevalier est contacté. Il me propose une version de démonstration du logiciel Elodie mais sans suite jusqu'au 24 avril 2008, où je reçois un mail annonçant la mise à disposition du beta-test gratuit de l'outil Elodie dès le 15 mai 2008.

En résumé, aucun outil « clé en main » n'a pu être testé. Il est donc impossible de savoir si les outils existants auraient pu être adaptés à notre calcul. De plus, il faut noter que les progiciels, tels que Bilan Carbone, Equer, Elodie... sont soumis au copyright et que leur « adaptation » aurait nécessité l'accès au code source, ce qui aurait engendré encore d'autres problèmes ! L'intérêt principal était donc de réfléchir à l'utilisation ou non des bases de données associées aux progiciels.

Au final, il faut mettre en place notre propre démarche scientifique pour aboutir à l'élaboration d'un outil de calcul adapté à la problématique.

CHAPITRE 3 :

DEMANDE DE RENSEIGNEMENTS ET DE CONSEILS AUPRES D'EXPERTS

En dehors d'une recherche bibliographique approfondie³¹, **contacter des experts est très important afin de mettre rigoureusement en place l'ensemble de la démarche scientifique**. D'autant que le thème « Construire avec le développement durable » est un thème « très intéressant au sujet duquel il n'y a, pour le moment, pas beaucoup d'écrits... »³². Ainsi, dialoguer avec des enseignants chercheurs, des professeurs agrégés, des doctorants, des directeurs d'association ou d'entreprises du bâtiment... permet de recueillir des points de vue, des réactions professionnelles, des critiques concernant le thème, la question spécifique, l'hypothèse choisie ou plus précisément la méthode même de résolution du calcul.

Par exemple, mon entretien avec Monsieur Janovici, l'ingénieur qui a collaboré avec l'Ademe pour mettre au point le bilan carbone en 2001, a permis de bien cerner les différences entre les outils d'évaluation des impacts environnementaux. Converser avec un ingénieur environnement au département Développement Durable du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Monsieur Chevalier, a mis en lumière la richesse des informations mises à disposition dans la base de données INIES : une centaine de Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) de produits de construction. Tandis que le responsable du Pôle Environnement et Santé du Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB), Monsieur Decousser, a bien insisté sur le champ de validité du calcul envisagé et de sa pertinence au vu de la restriction du sujet à la phase de construction et à l'unique gaz à effet de serre qu'est le CO₂.³³

Au final **ce sont plus de 80 mails envoyés et environ trente heures de communications téléphoniques et entretiens auprès d'acteurs divers et variés** : agences locales de l'énergie, ADEME, CSTB, Effinergie, CR3E, Association Française des Organismes de Certification des produits de construction, AlternConsult, ACERMI, IZUBA énergies, Union Nationale des constructeurs de Maisons Individuelles... plus toutes les personnes contactées afin d'obtenir des renseignements sur les émissions de CO₂ par matériau ou matériel (Centre d'études et de recherche de l'industrie du béton, Fédération de l'industrie du béton, Syndicat national des fabricants de laines minérales, Fédération française des tuiles et briques, Knauf, CTBA, Sélection Vosges, Mercedes...).

31 Cf. bibliographie page 96

32 Extrait d'un mail de Monsieur Decousser (Responsable du Pôle Environnement et Santé du Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton) de novembre 2007.

33 Cf. annexe 1 page 101

Avoir un contact régulier avec des professionnels a permis de remettre en cause fréquemment la méthode de recherche choisie ou les aboutissements de la réflexion. Ecouter les critiques, noter les renseignements, suivre les conseils a permis sans cesse de relativiser le modèle d'analyse constitué. Outre un apport de réflexion globale sur le sujet, certains experts ont fourni des informations « concrètes ».

Grâce à tous ces échanges, ces débats, la démarche scientifique s'est petit à petit mise en place et a mis en évidence la nécessité de :

- connaître toutes les étapes de la phase de construction et les descriptifs quantitatifs afin de déterminer les quantités d'ouvrages élémentaires et les différents postes d'émissions ;
- accéder à une base de données des émissions élémentaires de CO₂ (fabrication des matériaux, utilisation sur place du matériel...) ;
- déterminer les variables de chantier et définir les hypothèses limites du calcul.

CHAPITRE 4 :

MISE EN PLACE DE LA DEMARCHE SCIENTIFIQUE

Note : Pour la réalisation de ce chapitre, je me suis appuyée sur un ensemble de connaissances personnelles issues d'une analyse bibliographique très vaste (cf. bibliographie page 96), d'un échange fréquent avec divers experts mais aussi d'une expérience personnelle professionnelle en tant qu'assistante chargée d'opérations.

1 / Philosophie du calcul

La trame du calcul est basée sur les différents postes d'émissions de CO₂ par ouvrage élémentaire. Le principe du calcul est basé sur l'analyse des émissions de CO₂ de chaque ouvrage élémentaire de la construction. Il s'agit donc de :

- définir l'ensemble des ouvrages élémentaires relatifs à la construction et leurs quantités ;
- d'analyser pour chaque unité d'ouvrage élémentaire les composantes, en matériaux, matériel et main d'œuvre, et leurs émissions élémentaires de CO₂.

Cette méthode a été choisie car elle repose sur une idée simple qui découle de la lecture de la problématique : définir avec une relative précision les émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle. La construction d'une maison individuelle correspond à sa phase chantier. Un chantier se décompose en différentes phases d'exécution (terrassment général, fondations, planchers, murs...), constituées elles-mêmes d'un ensemble d'ouvrages élémentaires. Ainsi, **afin de n'oublier aucun poste d'émissions de CO₂, il est judicieux de considérer successivement les trois composantes de chaque ouvrage élémentaire : les matériaux, le matériel et la main d'œuvre, et regarder s'il y a des émissions de CO₂.**

Note : Cette approche par ouvrage élémentaire et non par produit a l'avantage de pouvoir être rapidement prise en main par les architectes qui manient fréquemment le "métré" : analyse qualitative et quantitative de l'ensemble des travaux nécessaires à la réalisation des projets afin de pouvoir, en fin de compte, en déterminer le prix.

2/ Trame de calcul

Connaissant les quantités d'ouvrages élémentaires, les émissions élémentaires de CO₂ et les différentes variables de chantier, la trame du calcul peut être élaborée. L'idée générale est de procéder grâce à une méthode analytique déductive, c'est-à-dire une division du problème général complexe en sous-problèmes plus simples (méthode énoncée par Descartes dans *Discours de la méthode*³⁴ publié en 1637).

L'ensemble des émissions de CO₂ émises lors de la construction d'une maison (T_{Final}) correspond à la somme des émissions de CO₂ par ouvrage élémentaire (T_{OE}), et à une partie fixe liée aux aménagements de chantier et à un sous détail propre à des variables de chantier (T_{VC}).

$$T_{\text{Final}} = T_{\text{OE}} + T_{\text{VC}}$$

34 Extrait du *Discours de la méthode* publié en 1637 de René Descartes : « ...diviser chacune des difficultés que j'examinerais, en autant de parcelles qu'il se pourrait, et qu'il serait requis pour les mieux résoudre. »

Figure 6 : Tableau général du calcul des émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison

Ouvrages élémentaires	Unité d'ouvrage élémentaire	Quantité d'ouvrage élémentaire	Taux de CO ₂ par unité d'ouvrage élémentaire	Taux de CO ₂
OE 1	U 1	X 1	T 1	= X 1 * T 1
OE 2	U 2	X 2	T 2	= X 2 * T 2
...	...	...	...	...
OE i	U i	X i	T i	= X i * T i
...	...	...	...	...
OE n	U n	X n	T n	= X n * T n
OE i et X i sont des données provenant des descriptifs quantitatifs fournis par l'architecte				$T_{OE} = \Sigma (X_i * T_i)$ pour i variant de 1 à n
Taux d'émissions de CO ₂ pour l'ensemble des variables de chantier (cf. tableau page 43)				T _{VC}
				$T_{Final} = T_{OE} + T_{VC}$

Pour trouver les taux de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire (T_i), il est nécessaire de détailler les émissions de CO₂ d'une unité d'ouvrage élémentaire dans un autre tableau.

Réalisation : ADM

Figure 7 : Tableau de décomposition des ouvrages élémentaires

Unité d'ouvrage élémentaire	Désignation suivant les composantes de l'ouvrage élémentaire		Main d'œuvre			Fournitures (matériels et matériaux)				Taux de CO ₂ total par unité d'ouvrage élémentaire (kgCO ₂ /U)
			Temps unitaire (J/U)	Taux de CO ₂ unitaire (kgCO ₂ /J)	Taux de CO ₂ (kgCO ₂ /U)	Unité élémentaire (u)	Quantité élémentaire (u/U)	Taux de CO ₂ élémentaire (kgCO ₂ /u)	Taux de CO ₂ (kgCO ₂ /U)	
U	Matériaux :	...				α1	α2	α3	α2 * α3 = teα	teα
	Matériel :	...				β1	β2	β3	β2 * β3 = teβ	teβ
	Main d'œuvre :	...	γ1	γ2	γ1 * γ2 = teγ					teγ
										= teα + teβ + teγ = T i

γ1 = Temps unitaire de réalisation de l'ouvrage élémentaire

β2 = Temps d'utilisation du matériel pour la mise en œuvre de l'ouvrage élémentaire

α2 = Quantité de matériaux nécessaire à la réalisation de l'ouvrage élémentaire

Le temps d'utilisation du matériel pour la mise en œuvre de l'ouvrage élémentaire (β2) et le temps unitaire lié à la réalisation de l'ouvrage élémentaire (γ1) sont obtenus par chronométrage ou dans des recueils de temps unitaires utilisés par les bureaux d'études.

La prise en compte des pertes de matériaux et des divers aléas se fait en augmentant forfaitairement de 10 % les quantités élémentaires.

Réalisation : ADM

γ2, α3 et β3 sont des données disponibles propre à chaque étude de cas. Leurs valeurs se trouvent dans la base de données établie pour chaque chantier étudié

teα correspond au taux d'émissions de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire concernant les matériaux. Il s'agit en fait de comptabiliser les émissions de CO₂ liées à la production des matériaux considérés (= aux élémentaire de CO₂, α3) et de multiplier par la quantité de matériaux nécessaire à la réalisation de l'ouvrage élémentaire (α2).

teβ correspond au taux d'émissions de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire concernant le matériel. Il s'agit d'évaluer les émissions de CO₂ engendrées par le fonctionnement du matériel sur le chantier, c'est-à-dire lors de la mise en œuvre des matériaux (= taux élémentaire de CO₂, β3) et de multiplier par le temps d'utilisation du matériel pour la mise en œuvre de l'ouvrage élémentaire (β2).

Note : On ne prend pas en compte les émissions de CO₂ produites lors de la fabrication du matériel.

teγ correspond au taux d'émissions de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire dû à la Main d'œuvre. Il s'agit de multiplier les émissions de CO₂ émises par l'ouvrier lors de ses déplacements Domicile/Chantier (= taux unitaire de CO₂, γ2) par le temps unitaire lié à la réalisation de l'ouvrage élémentaire (γ1), exprimé en jours.

Ce tableau de décomposition des ouvrages élémentaires permet donc d'obtenir les taux de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire (T i).

3/ Données nécessaires

Pour réaliser les calculs et donc remplir les différents tableaux, il faut préalablement déterminer les quantités d'ouvrages élémentaires et établir un recueil de données regroupant les émissions élémentaires des matériaux, du matériel et des variables de chantier. **Le recueil de ces données est primordial et conditionnera la fiabilité des calculs.**

3.1/ Descriptif quantitatif

Le descriptif quantitatif correspond au détail méthodique et analytique des quantités d'ouvrage d'après leur nature, leur qualité et leur mise en œuvre. Il est mis en place à partir des plans et du descriptif du bâtiment projeté. Il est fourni par l'architecte lui-même ou par un métreur.³⁵

Un descriptif quantitatif renseigne sur les différentes phases d'exécution décomposées en ouvrages élémentaires (OE_i). A chaque ouvrage élémentaire est associé une unité (U_i) et une quantité (X_i) que l'on peut donc obtenir grâce à ce document.

Cette partie revient à recueillir dans le descriptif quantitatif les OE_i, U_i et X_i associés qui sont des inconnues pour le calcul du taux d'émissions de CO₂ par ouvrage élémentaire.

3.2/ Quantité élémentaire des sous détails

Afin d'obtenir les émissions de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire (T_i), il est nécessaire de décomposer chaque ouvrage élémentaire. La figure 7 page 39 représente cette décomposition des ouvrages élémentaires et met en évidence le besoin de connaître pour les trois composantes de l'ouvrage élémentaire (matériaux, matériel et main d'œuvre), l'unité élémentaire (α_1 , β_1 ou γ_1) et la quantité élémentaire (α_2 ou β_2) associées. Cette partie revient donc à déterminer α_1 , α_2 , β_1 , β_2 et γ_1 .

Pour la composante « matériaux », il s'agit de déterminer la quantité de matériaux nécessaire à la réalisation de l'ouvrage élémentaire (α_2) et d'y associer une unité (α_1). Ceci se fait à l'aide du descriptif quantitatif. Une marge de 10 % est additionnée à la quantité élémentaire de matériaux nécessaires (α_2) afin de prendre en compte les pertes et les divers aléas possibles.

³⁵ Source : [DIDIER D. et al., 1991]

Pour la composante « matériel », il s'agit de trouver le temps d'utilisation du matériel pour la mise en œuvre de l'ouvrage élémentaire (β_2) et d'y associer une unité (β_1). Ces données sont disponibles dans des recueils de temps unitaires ou obtenues par un chronométrage sur chantier des temps d'utilisation du matériel.

Enfin pour la composante « main d'œuvre », il s'agit d'établir le temps unitaire de réalisation de l'ouvrage élémentaire (γ_1). Là encore il faut rechercher dans des recueils de temps unitaires ou chronométrer sur chantier les temps d'exécution.

3.3/ Emissions liées aux variables de chantier

Les variables de chantier correspondent à tout ce qui est lié à l'environnement propre du chantier étudié. Elles peuvent se décomposer en :

- une partie fixe liée aux aménagements de chantier ;
- une partie variable, étroitement liée à la localisation du chantier, et qui au final dépend de la distance au chantier des matériaux et du matériel.

Note : Les déplacements journaliers des divers employés du chantier (main d'œuvre) sont pris en compte dans les calculs liées à la décomposition en ouvrage élémentaire.

3.3.1/ Emissions de CO₂ liées aux aménagements de chantier

Chaque chantier nécessite des aménagements particuliers qui diffèrent selon la taille du chantier et la construction envisagée. Cette installation de chantier (et son repliement en fin de phase de construction) engendre des émissions de CO₂ qu'il est nécessaire de prendre en compte.

Les installations de chantier sont définies par le bureau des méthodes ou directement par le conducteur de travaux, conformément aux règles d'hygiène et de sécurité et aux conventions collectives. Notre cas d'étude correspond à un « petit chantier ». Les installations de chantier comportent donc un abri sur roues regroupant le réfectoire, les vestiaires et les sanitaires. ³⁶

³⁶ Source : [DIDIER D. et al., 1991]

3.3.2/ Emissions de CO₂ liées aux variables de chantier

3.3.2.1/ Transport des matériaux

Cette partie correspond à la livraison des matériaux sur le chantier. La livraison des matériaux correspond au transport des matériaux entre le dépôt ou le lieu de production même, et le chantier. Le transport qui peut exister entre le lieu de production et une usine (pour assemblage par exemple) puis entre l'usine et le dépôt, ou entre le lieu de production et le dépôt, est pris en compte dans le taux de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire (T_i).

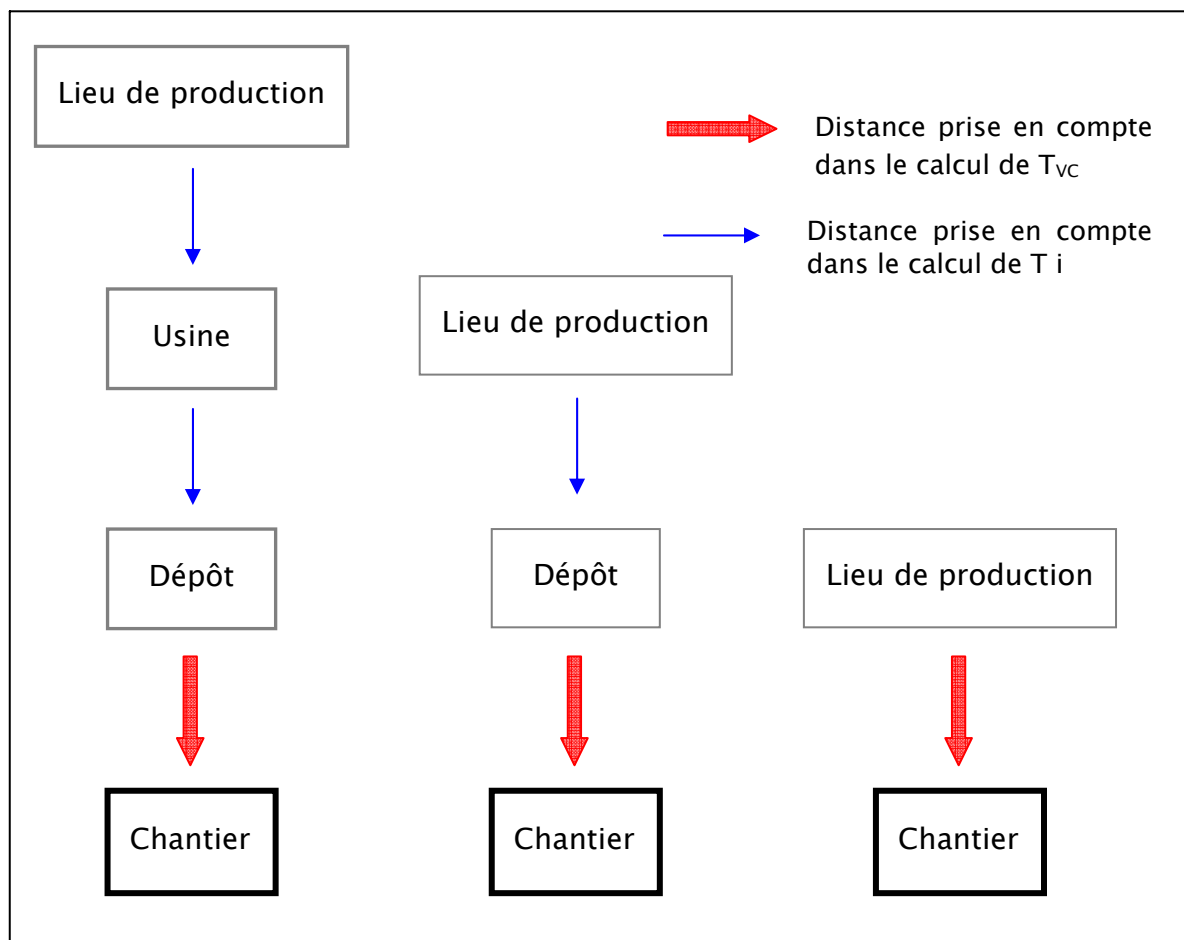


Figure 8 : Les différentes étapes de transport possible pour les matériaux
Réalisation : ADM

Pour chaque matériau employé, il faut évaluer quel type de matériel sera utilisé pour le transport et donc trouver le taux d'émissions de CO₂ lié à la consommation du matériel (kg CO₂/km) et ensuite multiplier par la distance au fournisseur (km). Au final, on obtient la consommation de CO₂ engendrée par le transport des matériaux.

3.3.2.2/ Approvisionnement du matériel

Il s'agit ici de prendre en compte les émissions engendrées par l'utilisation du matériel sur la distance entre le fournisseur de matériel et le chantier.

Note : Les émissions de CO₂ dues au fonctionnement du matériel sont prises en compte dans les calculs liés à la décomposition en ouvrage élémentaire.

3.3.3/ Tableau récapitulatif

Cette partie revient à déterminer les émissions liées aux variables de chantier. Ce qui correspond au final à une partie fixe attachée aux aménagements de chantier (installation et repliement de chantier) et une partie variable étroitement liée à la localisation du chantier (distance au chantier des matériaux et du matériel).

L'objectif est d'arriver à un tableau récapitulatif de la forme suivante :

Désignation	Fournitures (matériels et matériaux)				Taux de CO ₂ (kg CO ₂ /U)
	Unité (U)	Quantité	Taux de CO ₂ élémentaire (kg CO ₂ /km)	Référence distance (km)	
Aménagement de chantier :					
...					VC 0
...					
Ouvrages élémentaires :					
OE 1 :	...				VC 1
...					
OE i :	...				VC i
...					
OE n :	...				VC n
VC 0 : Emissions de CO ₂ liées à l'installation/repliement de chantier					$T_{VC} = \Sigma (VC i)$ pour i variant de 0 à n
Emissions de CO ₂ liées à l'approvisionnement en matériaux et matériels					

3.4/ Emissions élémentaires de CO₂ relatives aux matériaux

Cette partie revient à déterminer le coefficient α_3 du tableau de décomposition des ouvrages élémentaires. C'est-à-dire qu'il faut trouver le taux d'émissions de CO₂ pour chaque unité élémentaire des matériaux constituant un ouvrage élémentaire. L'unité de ce coefficient est le kg CO₂ par unité élémentaire.

La livraison des matériaux sur le chantier fera l'objet d'un calcul séparé dans un sous v appelé « variable chantier ». On ne considère ici que le taux d'émissions de CO₂ relatives à la fabrication d'une unité élémentaire d'un matériau.

3.4.1 / Bases de données existantes

Obtenir des données fiables, clairement décrites et régulièrement mises à jour n'est pas aisé et peut rendre délicat le calcul en lui même. Un certain nombre de base de données sont disponibles dans la littérature permettant de faciliter le travail. G. Norris et P. Notten, dans « *Current availability of LCI databases in the world* » (2002), répertorient l'ensemble des bases de données existantes à travers le monde et accessibles au public. Un tableau récapitulatif met en évidence les différentes caractéristiques de chacune d'entre elles : nom, contact, les moyens pour se la procurer (*availability ?*), couverture géographique, langue, type de données, quantité de données... Concernant l'Europe, une grande partie des premières bases de données élaborées à partir du milieu des années 1980 était développée dans le cadre d'études effectuées par des instituts universitaires ou des consultants, pour caractériser des secteurs industriels ou des groupes de produits spécifiques. On se retrouve donc avec des bases de données très diversifiées et fragmentées, avec un faible niveau d'harmonisation.³⁷

3.4.2 / La base de données INIES

La base de données INIES est la base de données choisie pour extraire les données nécessaire à la réalisation de notre calcul.

INIES est une base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des matériaux et produits de construction sous l'égide de différents ministères. Elle met à disposition une centaine de Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) de produits de construction fournies par les fabricants ou syndicats professionnels au format de la norme française P01-010.

³⁷ Source : [CURRAN M.A., NOTTEN P., 2006]



Figure 9 : Organisation de la base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des matériaux et produits de construction : la base INIES

Source : Site Internet Inies

3.4.2.1/ Fonctionnement de la base de données³⁸

Le fonctionnement de la base INIES est assuré par le conseil de surveillance et le comité technique. Le conseil de surveillance présidé par la Direction générale de L'Urbanisme de L'Habitat et de la Construction veille à l'éthique et à la déontologie de fonctionnement de la base INIES. Il est composé des représentants des ministères signataires (Ministère de la Santé et affaires sociales, Ministère de l'Ecologie et du développement durable, Ministère de la Culture, Ministère délégué à l'Industrie), un représentant de l'ADEME, un représentant de l'AFNOR et du président du comité technique. Le comité technique veille à la collecte et au traitement des données ainsi qu'à l'actualisation du contenu de la base. Il est composé d'un représentant de l'ADEME, d'un représentant de l'AIMCC (qui a aussi le poste de président du comité), d'un représentant du CSTB (qui a aussi le poste de secrétaire du comité), d'un représentant de la FFB, d'un représentant de la CAPEB, d'un représentant de l'UNSFA, d'un représentant de l'ANAH, d'un représentant de l'association QUALITEL et d'un représentant de l'Union Sociale pour Habitat.

³⁸ Source : [LAURENT V., 2004]

3.4.2.2/ Pourquoi ce choix ?

Le choix de cette base de données n'est pas anodin. L'accès libre et gratuit sur Internet³⁹ est un argument majeur. Une inscription suffit pour accéder à l'ensemble des FDES disponibles. Un autre avantage est le « cadre réglementaire » imposé par la norme française NF P01-010. Celle-ci considère deux types d'informations dans une déclaration environnementale : les données d'inventaires du cycle de vie (ICV) et les valeurs des indicateurs d'impacts du cycle de vie du produit. Connaître ces informations nécessite de réaliser un bilan environnemental du produit que l'on appelle une analyse du cycle de vie (ACV). Ainsi, toutes les FDES mises à disposition suivent les mêmes méthodes de calcul, ont les mêmes hypothèses... Cette norme fournit en quelque sorte un cadre d'interprétation pour traduire ces données chiffrées en impacts environnementaux.

3.4.2.3/ Analyse d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)

La base INIES met à disposition les fiches FDES complètes et propose aussi une synthèse de l'ensemble des informations contenues sur les fiches FDES pour que le public accède directement aux données recherchées.

Une fiche FDES fait environ une vingtaine de pages. L'Inventaire du Cycle de Vie du produit est présenté dans des tableaux qui suivent généralement le plan ci-dessous (cf. figure 10).

Figure 10 : Sommaire de la fiche FDES mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010
Source : Site Internet Inies

Note : Par la suite, pour nos illustrations nous utiliserons toujours l'exemple de la Fiche FDES du mur en maçonnerie de blocs béton.⁴⁰

SOMMAIRE	
Résumé.....	5
Avant propos	7
1. Caractérisation du produit.....	9
1.1 Définition de l'Unité Fonctionnelle (UF)	9
1.2 Masse de produit nécessaire pour l'UF.....	9
1.3 Caractérisations techniques utiles non contenues dans la définition de l'UF.....	9
2. Données d'inventaire et autres données - Commentaires relatifs à la maîtrise des effets environnementaux et sanitaires du produit.....	10
2.1 Consommation de ressources naturelles.....	10
2.2 Émission dans l'environnement (eau, air, sol)	14
2.3 Production des déchets.....	18
3. Contribution du produit aux impacts environnementaux.....	20
4. Contribution du produit à la maîtrise des risques sanitaires et à la qualité de vie à l'intérieur du bâtiment.....	21
4.1 Contribution du produit à la maîtrise des risques sanitaires.....	21
4.2 Contribution du produit au confort.....	24
5. Autres contributions du produit notamment par rapport à des préoccupations d'écogestion du bâtiment	25
Annexe technique.....	25

³⁹ Source : Site Internet Inies

⁴⁰ Choix effectué suite à un entretien téléphonique avec Monsieur Decousser le 21 janvier 2008.

Une première partie concerne la caractérisation du produit selon la norme NF P01-010. On y définit l'Unité Fonctionnelle (UF) qui est l'unité de compte à laquelle va se référer le bilan environnemental (ou ACV). L'unité fonctionnelle prend aussi en compte une durée appelée Durée de Vie Typique (DVT).

La deuxième partie s'attache aux données relatives aux effets environnementaux et sanitaires du produit selon la norme NF P01-010. Il s'agit donc des données de consommation des ressources naturelles (consommation de ressources naturelles énergétiques et indicateurs énergétiques, consommation de ressources naturelles non énergétiques et consommation d'eau), des données des émissions dans l'air, l'eau et le sol, et des données concernant la production des déchets (déchets valorisés, déchets éliminés).

INIES BASE DE DONNÉES FRANÇAISE DE RÉFÉRENCE SUR LES CARACTÉRISTIQUES ENVIRONNEMENTALES ET SANITAIRES DES PRODUITS DE CONSTRUCTION			
Accueil	Trouver un produit	Documents	Lexique FAQ 
Recherche par nom de produit			
Mur en maçonnerie de blocs en béton			
Identification du produit Indicateurs environnementaux Santé Confort FDES complète et autres infos			
Durée de vie typique (DVT) :			
100 ans			
Indicateurs environnementaux :			
Impact environnemental	Valeur total cycle de vie/UF par annuité	Valeur total cycle de vie/UF pour toute la DVT	Unité
Epuisement de ressources	0,000574	0,0574	kg Antimoine équivalent
Consommation de ressources énergétiques - énergie primaire totale	1,74	174	MJ
Consommation de ressources énergétiques - énergie renouvelable	0,15	15	MJ
Consommation de ressources énergétiques - énergie non renouvelable	1,58	158	MJ

Figure 11 : Informations allant à l'essentiel, tableau récapitulatif des impacts environnementaux pour le produit mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010

Source : Site Internet Inies

La troisième partie décrit les impacts environnementaux représentatifs des produits de construction, toujours selon la norme NF P01-010.

La quatrième partie concerne la contribution du produit à l'évaluation des risques sanitaires et de la qualité de vie à l'intérieur du bâtiment selon la norme NF P01-010 avec des informations utiles à l'évaluation des risques sanitaires, et la contribution du produit au confort.

La cinquième partie concerne les autres contributions du produit, notamment par rapport à des préoccupations d'écogestion du bâtiment, d'économie et de politique environnementale globale.

Enfin, la sixième partie regroupe diverses annexes qui permettent généralement de caractériser les données pour le calcul de l'Inventaire de Cycle de Vie (définition du système ACV, sources de données et traçabilité).

INIES BASE DE DONNÉES FRANÇAISE DE RÉFÉRENCE
SUR LES CARACTÉRISTIQUES ENVIRONNEMENTALES ET SANITAIRES
DES PRODUITS DE CONSTRUCTION

Accueil Trouver un produit Documents Lexique FAQ

Recherche par nom de produit

Mur en maçonnerie de blocs en béton

[Identification du produit](#) | [Indicateurs environnementaux](#) | [Santé](#) | [Confort](#) | [FDES complète et autres infos](#)

Nom du produit :
Mur en maçonnerie de blocs en béton

Organisme(s) responsable(s)

- CERIB
BP 30059
28231 Epernon
Tél : 02 37 18 42 00

Contact :
DECOUSSER Nicolas (envir@cerib.fr)
tel: 02 37 18 48 00

Fabricant(s) concerné(s)
FIB

Références commerciales couvertes par la FDES :

Figure 12 : Synthétisation des informations sur les données du produit mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010

Source : Site Internet Inies

3.4.2.4/ Extraction de données

Pour notre calcul, l'objectif est de trouver les émissions élémentaires de dioxyde de carbone lors de la fabrication des produits finis cités ci-dessus. Il s'agit donc d'extraire des fiches FDES de la base de données INIES ces informations précises. Celles-ci se trouvent dans la deuxième partie des fiches FDES, au niveau du tableau des émissions dans l'air. Ainsi, on ne considèrera que la ligne correspondant aux flux de dioxyde de carbone et la colonne de production.

2.2 Émissions dans l'environnement (eau, air et sol)								
2.2.1 Émissions dans l'air								
Flux	Unités	Production	Transport	Mise en œuvre	Vie en œuvre	Fin de vie	Total cycle de vie	
							Par annuité	pour toute la DVT
Hydrocarbures (non spécifiés)*	g							
Hydrocarbures (non spécifiés, excepté méthane)	g	5,91E-02	2,66E-02	2,14E-02		5,92E-02	1,66E-01	1,66E+01
HAP (non spécifiés)	g							5,97E-05
Méthane (CH ₄)	g	4,60E-02	1,20E-02	1,77E-02		2,67E-02	1,02E-01	1,02E+01
Composés organiques volatils (ex : acétone, acétate...)	g	8,76E-03	8,77E-04	4,39E-03		1,95E-03	1,60E-02	1,60E+00
Dioxyde de Carbone (CO ₂)	g	1,06E+02	7,87E+00	5,67E+01	-1,75E+01	4,48E-02	1,53E+02	1,53E+04
Monoxyde de Carbone (CO)	g	1,98E-01	2,03E-02	9,94E-02		4,53E-02	3,63E-01	3,63E+01
Oxydes d'Azote (NO _x en NO ₂)	g	2,87E-01	9,32E-02	1,27E-01		2,07E-01	7,14E-01	7,14E+01
Protoxyde d'Azote (N ₂ O)	g	1,28E-03	1,01E-03	3,41E-04		2,26E-03	4,89E-03	4,89E-01
Ammoniaque (NH ₃)	g	5,50E-03		3,08E-03			8,58E-03	8,58E-01
Poussières (non spécifiées)	g	2,75E-01	5,39E-03	4,85E-02		1,20E-02	3,41E-01	3,41E+01
Oxydes de Soufre (SO _x en SO ₂)	g	1,24E-01	3,42E-03	6,30E-02		7,62E-03	1,98E-01	1,98E+01
Hydrogène Sulfureux (H ₂ S)	g	9,45E-05		4,03E-05		1,66E-06	1,37E-04	1,37E-02
Acide Cyanhydrique								

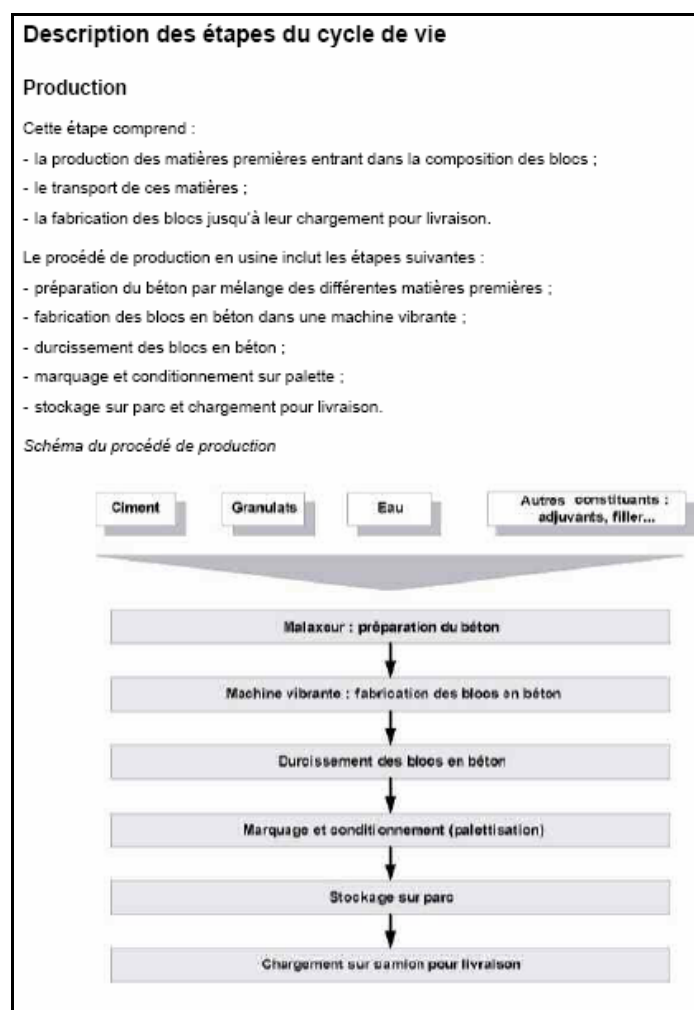
Figure 13 : Où se situent les données nécessaires ? Exemple sur la fiche FDES du mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010

Source : Site Internet Inies

3.4.2.5/ Importance des annexes techniques

Les annexes techniques caractérisent les données principales (les différentes étapes du cycle de vie) et énoncent les principales hypothèses.

Si l'on continue avec l'exemple de la Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire du Mur en maçonnerie de blocs béton, on trouve au niveau des annexes techniques les différentes étapes de la production et le procédé correspondant.



On constate que l'étape de production du cycle de vie du mur en maçonnerie correspond en fait à la fourniture bloc béton d'un ouvrage de construction.

Figure 14 : Extrait du détail de la description du cycle de vie du mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010

Source : Site Internet Inies

C'est aussi dans les annexes technique que les hypothèses sont rappelées.

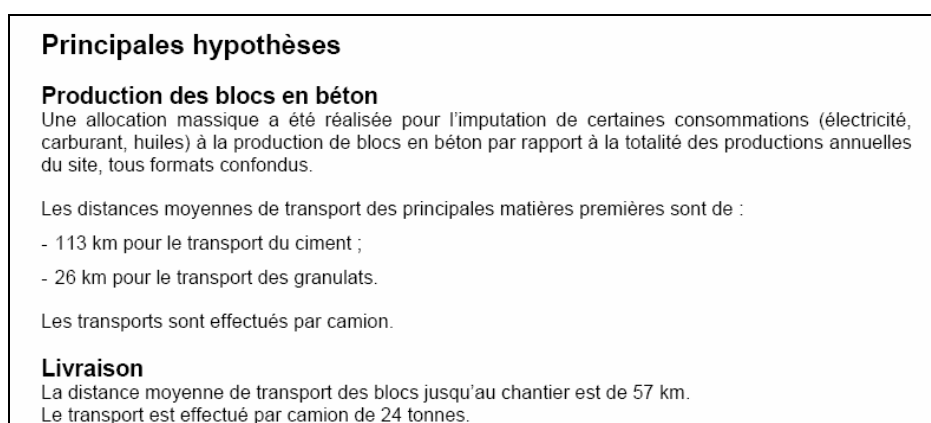


Figure 15 : Extrait du détail des hypothèses choisies pour la réalisation des calculs lors de l'analyse du cycle de vie du mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010

Source : Site Internet Inies

Connaître les étapes et procédés de production des divers matériaux permet de réaliser la diversité des différents postes d'émissions possibles. Tout comme les hypothèses, ces informations en annexe technique permettent de comprendre d'où viennent les chiffres des différents tableaux et de bien voir ce qui est ou non pris en compte. Ainsi, chacun peut décider d'extraire les valeurs qu'il souhaite en fonction de ces hypothèses de chantier.

Par exemple dans notre cas, il a été décidé de ne pas prendre les valeurs de la base INIES concernant la livraison des matériaux. On a préféré se rapprocher de la réalité en estimant nous même la distance de transport des matériaux, le type de matériel utilisé pour le transport.

Puis dans ces annexes, des informations complémentaires concernant la représentativité des données sont énumérées.

• **Données principales :**

[1] Les données de production des blocs en béton ont été collectées par questionnaires et visite de trois sites représentatifs de la production française. Elles ont été moyennées et pondérées pour ces productions.

Ces données d'origine ont été traitées par Ecobilan (2000) avec l'aide du CERIB et actualisées pour tenir compte des moyennes nationales en 2005.

Représentativité des données de production des blocs

- Année : 1999-2005.
- Zone géographique : France.
- Représentativité :
Le bloc en béton étudié (de classe B40 et de dimensions nominales 500 x 200 x 200 mm) représente environ 55 % de la production nationale de blocs.
Pour ce type de bloc, la production des sites ayant fait l'objet d'une collecte de données approfondie représente environ 2 % de la production annuelle en France en 2005. Certaines données (distances de transport notamment) proviennent de moyennes nationales sur l'ensemble des sites fabriquant des produits certifiés.
La représentativité des sites ayant fait l'objet d'une collecte directe est à considérer au regard de la très large représentativité technologique des process présentée ci-dessous.

Technologie

Le processus de production des usines étudiées dans le cadre de cette fiche correspond au processus rencontré dans la très grande majorité des usines françaises et européennes. Il comprend, après une préparation du béton dans une centrale à béton, un formage à l'aide d'une presse vibrante de type européenne à démoulage immédiat sur des planches, un durcissement par auto étuvage dans des cellules partiellement isolées et une palettisation sur palette en bois. Les matières premières et les dosages utilisés sont représentatifs de ceux de la plupart des usines françaises pour les blocs à enduire de la classe B40.

• **Autres données :**

[2] **Production du ciment CEM I 52,5 :** Données moyennes pour un ciment du type CEM I 52,5 de production française (source : Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques (ATILH/Ecobilan 2002).

[3] **Production du ciment CEM II 32,5 (L) :** Données moyennes pour un ciment du type CEM II 32,5 (L) de production française (source : Association Technique de l'Industrie des Liants

Figure 16 : Extrait de la fiche FDES du mur en maçonnerie de blocs béton conforme à la norme NF P01-010 avec la provenance des données et leur représentativité
Source : Site Internet Inies

Toutes ces informations sont indispensables à la compréhension même de la fiche. Il est important de bien les prendre en considération afin de bien maîtriser ce qui est ou non pris en compte dans le chiffre que l'on extrait des tableaux de la fiche FDES. Une analyse fine de chaque fiche utilisée est donc indispensable.

3.4.2.6/ Limites de ce choix

Trouver l'existence de la base de données Inies a été relativement rapide puisque dès les premiers entretiens, c'est vers cette base de données que les professionnels nous ont guidés, même si, à l'heure actuelle, celle-ci n'est que peu fournie. En effet, le plan d'élaboration des fiches FDES a été lancé en 2005 dans le cadre du Plan National Santé Environnement. A terme cette base sera très complète et fournira des informations sur les caractéristiques environnementales des différents matériaux.

Comprendre le fonctionnement de cette base de données et le principe d'élaboration des fiches FDES s'avère assez aisé à condition d'avoir quelques notions sur le thème du développement durable et de connaître le matériau considéré (sa mise en œuvre, son fonctionnement et tout le vocabulaire associé).

La base de données INIES met à disposition un ensemble de fiches FDES sur des produits finis de construction, comme « mur en maçonnerie de blocs en béton », « panneau en laine de verre », « revêtement de sol stratifié »... A l'heure actuelle, aucune fiche FDES n'existe sur des produits de construction « bruts », sur des matériaux « bruts » tel que le béton, le sable, l'acier, le polystyrène...

Cette base de données ne nous permet donc pas de pouvoir établir un recueil de données complet sur les émissions élémentaires de CO₂ émises lors de la fabrication de tous les matériaux et produits constituant notre étude de cas (exemple : aucune données concernant les émissions engendrées par la production du béton X2 C 20/25 utilisé pour les fondations). Il est cependant important d'avoir le plus de chiffres provenant d'une même base de données. Par conséquent, l'architecte de la maison bois-terre et moi-même avons donc modifié le descriptif initial de la maison individuelle afin que le plus de matériaux possibles soit référencé dans cette base INIES.

Malgré cette « adaptation » à la base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des matériaux et produits de construction, on fait face à un manque de données. L'ensemble des fiches FDES disponibles en février 2008 ne permet pas d'avoir les émissions élémentaires de CO₂ relatives à la fabrication de l'ensemble des matériaux utilisés dans notre cas concret.

Afin de mener à bien l'évaluation demandée et de pallier aux manques de données concernant les matériaux « bruts », on a recours à une autre base de données : Ecoinvent Data⁴¹. Cette base de données est aussi utilisée par certains fabricants pour l'établissement de fiches FDES. Elle regroupe en fait un ensemble de données d'inventaire existantes qui sont compilées. Les thèmes répertoriés dans la base de données sont : l'approvisionnement en énergie, les matériaux et processus de construction, les produits chimiques, les détergents, les papiers graphiques, les services de traitement des déchets, les produits et processus agricoles, et les transports. Le livre *Analyse du cycle de vie – Comprendre et réaliser un écobilan* de O. Jolliet, M. Saadé et P. Crettaz propose en annexe des extraits de cette base de données. Plus précisément, le tableau fournit pour une cinquantaine de processus les valeurs de consommation d'énergie primaire non renouvelable, les émissions atmosphériques de CO₂ d'origine fossile, le rapport émissions de CO₂/énergie primaire non renouvelable.

3.4.3/ Tableau récapitulatif

Cette partie revient à déterminer la constante α_3 du tableau de décomposition des ouvrages élémentaires. C'est-à-dire qu'il faut trouver le taux d'émissions de CO₂ pour chaque unité élémentaire de tous les matériaux constituant un ouvrage élémentaire. L'unité de cette constante est le kg CO₂ par unité élémentaire.

La livraison des matériaux sur le chantier fera l'objet d'un calcul séparé dans un sous détail appelé « variable chantier ». On ne considère ici que le taux d'émissions de CO₂ relatives à la fabrication d'une unité élémentaire d'un matériau.

L'objectif est d'arriver à un tableau récapitulatif de la forme suivante :

Désignation du matériau	Unité élémentaire (u)	Taux de CO ₂ élémentaire (kg CO ₂ /u)
	α_1	α_3
...	...	...
...	...	...

Réalisation : ADM

Dès lors le calcul du taux d'émissions de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire émises par les matériaux, tel est possible.

⁴¹ Source : [FRISCHKNECHT R., 2005]

3.5/ Emissions élémentaires de CO₂ relatives au matériel

Cette partie revient à déterminer le coefficient β_3 du tableau de décomposition des ouvrages élémentaires. C'est-à-dire qu'il faut trouver le taux d'émissions de CO₂ pour tout le matériel en fonctionnement sur le chantier lors de la réalisation d'un ouvrage élémentaire. L'unité de ce coefficient est le kg CO₂ par unité élémentaire.

L'approvisionnement du matériel sur le chantier fera l'objet d'un calcul séparé dans un sous détail appelé « variable chantier ». On ne considère ici que le taux d'émissions de CO₂ relatives au fonctionnement sur chantier du matériel.

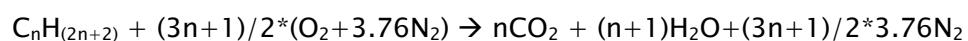
Un chantier nécessite toujours des machines pour soulever, porter, couper, percer, enduire... Suivant le matériel, l'énergie utilisée n'est pas la même. Pour le matériel de chantier, on peut distinguer deux types de fonctionnement : thermique (énergie=pétrole) et électrique. Le calcul des émissions de CO₂ pour le matériel en fonctionnement n'est pas le même que l'on considère l'un ou l'autre type puisqu'il faut « convertir » leur consommation d'énergie en émissions de CO₂.

3.5.1/ Taux d'émissions de CO₂ relatives au fonctionnement sur chantier de « matériel thermique »

3.5.1.1/ Passage d'une consommation de carburant (L) à des émissions de CO₂ (kg)

Pour convertir une consommation de carburant à des émissions de CO₂, il faut étudier la combustion complète d'un hydrocarbure et étudier les rejets massiques de l'équation.

Formule générique de combustion complète des alcanes :



On considère les gaz d'échappement en Conditions Normales de Pression et Température (CNPT) et on applique la combustion au gasoil.

Données :

Formule d'un carburant : $C_nH_{(2n+2)}$
Mole de gaz = 25 Litres (car CNPT)

$[CO_2] = 12 + 2 \cdot 16 = 44$ g/mol
Masse du CO₂ = 44n

Le gasoil est constitué d'alcanes ayant un n variant entre 12 et 22. Généralement, on prend n=21.

Formule chimique du gasoil : **C₂₁H₄₄**

$$[C_{21}H_{44}] = 21 \cdot 12 + 44 \cdot 1 = 296 \text{ g/mol}$$

La masse de CO₂ rejetée par mole d'octane consommée est de : $44 \cdot 21 = 924 \text{ g}$

Le rapport consommation de gasoil sur rejets de CO₂ est de : $924/296 = 3,12$

Comme l'unité de volume est plus usuelle lorsque l'on parle de carburant, il est préférable de passer ce rapport en gramme de CO₂ par litre de carburant consommé.

Sachant que :

- la masse volumique du gasoil est de 0,85 kg/L
- 1 gramme de gasoil brûlé rejette 3.12 grammes de CO₂

il vient : $0,85 \cdot 3,12 = 2,65 \text{ kg de CO}_2 \text{ par litre de gasoil brûlé}$

Un véhicule consommant 1 litre de gasoil va donc rejeter environ 2,65 kg de CO₂.

3.5.1.2/ Unité de fonctionnement

Tout matériel a des caractéristiques propres et suivant l'utilisation qui en est faite, son fonctionnement est comptabilisé en heures ou en kilomètres.

3.5.1.3/ Calcul

Le calcul du taux d'émissions de CO₂ relatives au fonctionnement sur chantier du « matériel thermique » aura la forme suivante :

$$\text{Taux CO}_2 \text{ MI thermique} = \text{conso MI} \cdot 2,65$$

(kgCO₂/h ou kgCO₂/km)

(L/h ou L/km) (kgCO₂)

3.5.2/ Taux d'émissions de CO₂ relatives au fonctionnement sur chantier du matériel électrique

3.5.2.1/ Passage d'une consommation électrique (kWh) à des émissions de CO₂ (kg)

Les centrales électriques génèrent des émissions de CO₂ différentes suivant le combustible utilisé.

Charbon	Fioul	Gaz/cycle combiné	Cogénération gaz	UIOM*	Nucléaire	Hydraulique	Eolien
915	676	404	230 à 380**	860 à 1548	0	0	0

* UIOM : Unité d'incinération des ordures ménagères

** Les émissions de la cogénération gaz dépendent des techniques (turbines ou moteurs) et des rendements.

Figure 17 : Émissions de CO₂ des centrales électriques (en gCO₂/kWh)

Réalisation : ADM, Source : [CROS C., TABET J.P., 2000]

Dans la mesure où la provenance d'un kWh électrique ne peut pas être précisément déterminée, une des solutions proposée pour évaluer le contenu carbone du kWh est de rapporter l'ensemble des émissions du parc électrique français à l'ensemble de la production électrique annuelle. Le contenu carbone du kWh varie suivant les années, et les aléas de la production d'électricité.

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Moyenne gCO ₂ /kWh	104,01	124,42	97	65,27	69,05	74,1	81,82	75,79

Figure 18 : Émissions moyennes de CO₂ des kWh du parc électrique français

Réalisation : ADM, Source : [CROS C., TABET J.P., 2000]

Remarque⁴² :

La part de production d'électricité par filière est aujourd'hui à peu près la même qu'en 1997 à l'exception de la production nucléaire en très faible hausse (cf. figure 19 page 57). Ainsi, on peut considérer qu'aujourd'hui les émissions moyennes de CO₂ des kWh du parc électrique français sont à peu près les mêmes qu'en 1997.

⁴² Source : [RTE, 2007]

Finalement, on décide de prendre comme valeur pour nos calculs : 0,75 kgCO₂/kWh.

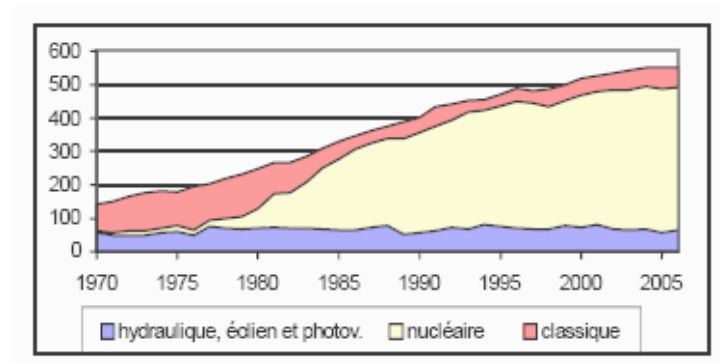


Figure 19 : Evolution de la production nette d'électricité par filière de 1970 à 2006, en TWh

Source : Site Internet Observatoire de l'énergie

3.5.2.2/ Calcul

Le calcul du taux d'émissions de CO₂ relatives au fonctionnement sur chantier du matériel électrique aura la forme suivante :

$$\text{Taux CO}_2 \text{ MI électrique} = \text{conso MI} * 0,75$$

(kgCO₂/h) (kWh/h) (kgCO₂/kWh)

3.5.3/ Tableau récapitulatif

Cette partie revient à déterminer la constante β_3 du tableau de décomposition des ouvrages élémentaires. C'est-à-dire qu'il faut trouver le taux d'émissions de CO₂ pour chaque unité élémentaire de tout le matériel en fonctionnement sur le chantier lors de la réalisation d'un ouvrage élémentaire. L'unité de cette constante est le kgCO₂ par unité élémentaire.

L'approvisionnement du matériel sur le chantier fera l'objet d'un calcul séparé dans un sous détail appelé « variable chantier ». On ne considère ici que le taux d'émissions de CO₂ relatives au fonctionnement sur chantier du matériel.

L'objectif est d'arriver à un tableau récapitulatif de la forme suivante :

Désignation du matériel	Unité élémentaire (u)	Taux de CO ₂ élémentaire (kgCO ₂ /u)
	β_2	β_3
Thermique :		
...	...	conso MI * 2,65 = ...
...	...	conso MI * 2,65 = ...
Electrique :		
...	...	conso MI * 0,75 = ...
...	...	conso MI * 0,75 = ...

Réalisation : ADM

Dès lors le calcul du taux d'émissions de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire émises par le matériel, te β est possible.

3.6/ Emissions élémentaires de CO₂ relatives à la main d'œuvre

Cette partie revient à déterminer te γ du tableau de décomposition des ouvrages élémentaires. C'est-à-dire qu'il faut trouver le taux d'émissions de CO₂ dû à la main d'œuvre, par unité d'ouvrage élémentaire. En fait, il s'agit de multiplier les émissions de CO₂ émises par l'ouvrier lors de ses déplacements Domicile/Chantier (= taux unitaire de CO₂, γ_2) par le temps unitaire lié à la réalisation de l'ouvrage élémentaire (γ_1), exprimé en jours.

Pour évaluer γ_2 , il faut connaître pour chaque ouvrier son moyen de locomotion et son lieu de résidence (afin de calculer la distance Domicile/chantier). On peut ainsi évaluer pour chaque ouvrier les émissions de CO₂ engendrées par ses trajets journaliers (γ_2 = taux unitaire de CO₂).

PARTIE 3 :

APPLICATION SUR UNE MAISON EN BOIS ET TERRE

DES BOUCHES-DU-RHONE

Afin de répondre à la problématique et de tester l'hypothèse, la méthode choisie est de se livrer à l'exercice en tant que tel. Pour cela Monsieur Borme, architecte, a proposé de faire l'étude d'une maison individuelle en bois et terre qu'il va réaliser sur la commune de Martigues (13).

C'est une maison dont le principe constructif se veut innovant, en voici les principales caractéristiques.

CHAPITRE 1 :

GENERALITES



Maison individuelle type 4

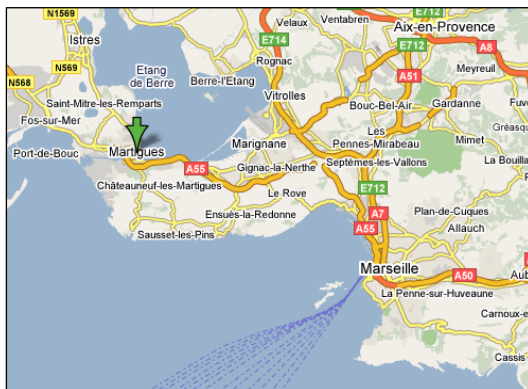
Surface habitable : 120 m²

Terrain de 750 m²

Système constructif en bois et terre

1 / Localisation du chantier

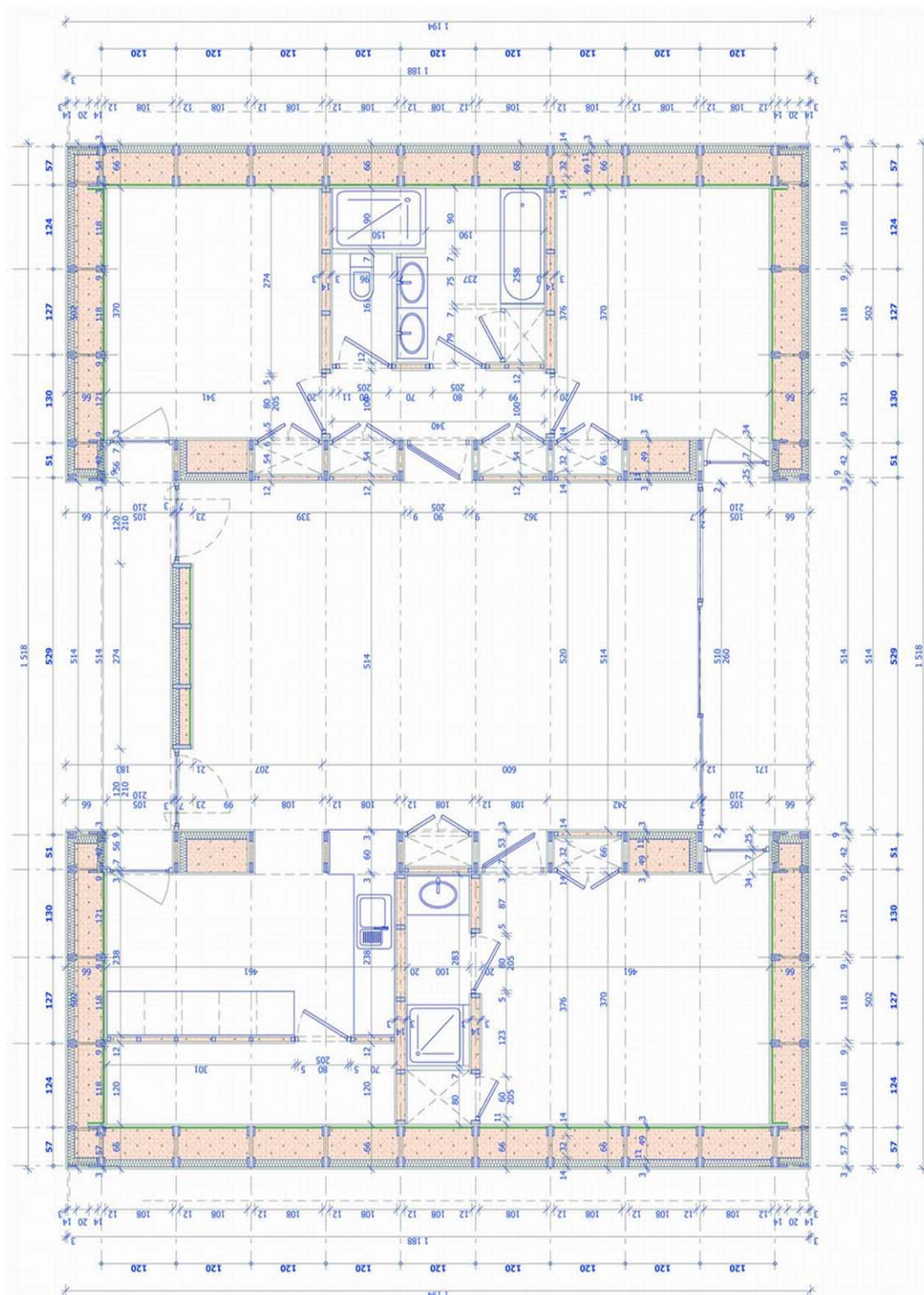
Adresse : 42 avenue du grand parc, 13500 Martigues



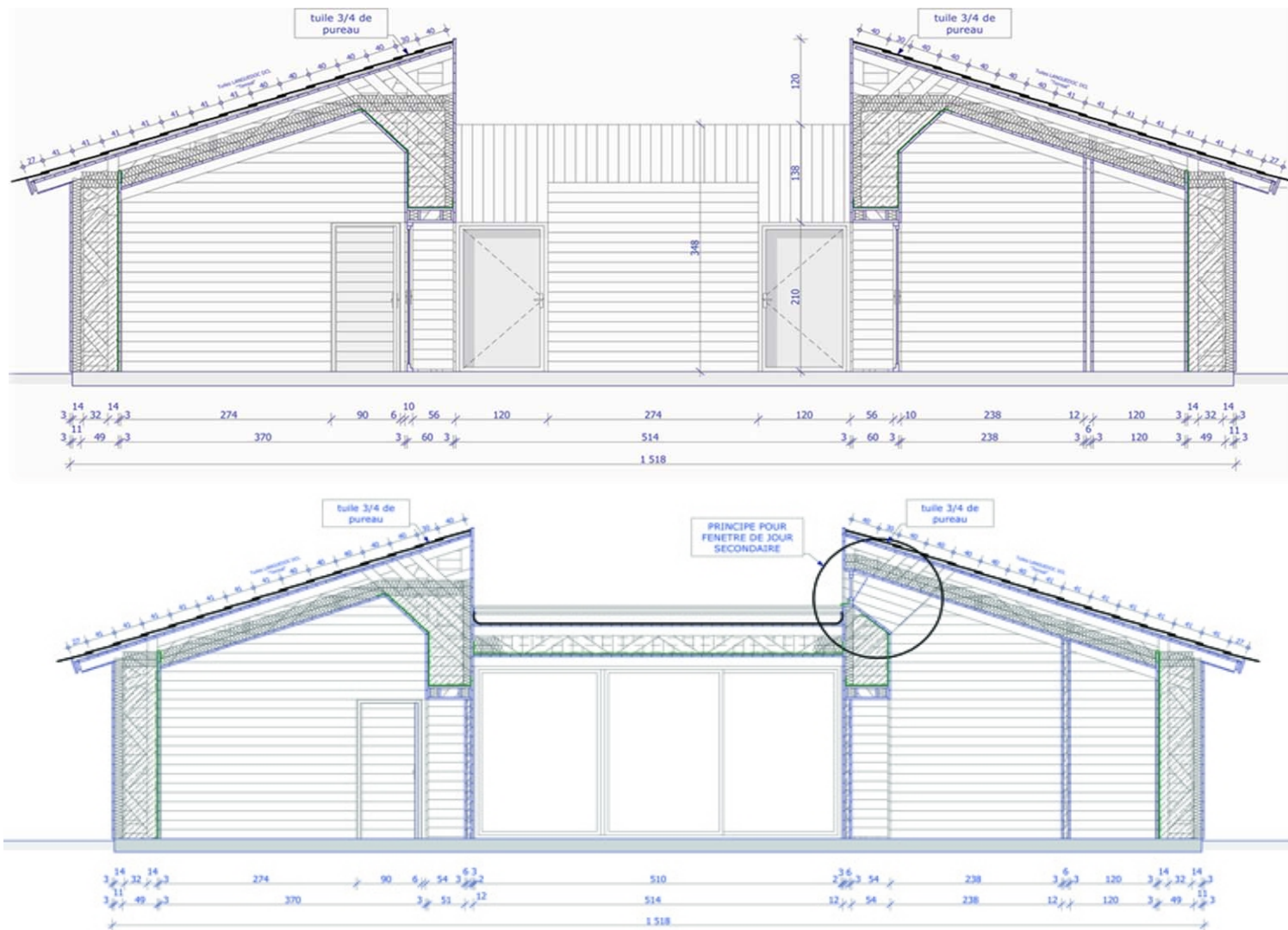
Source : Google Maps

2/ Plans

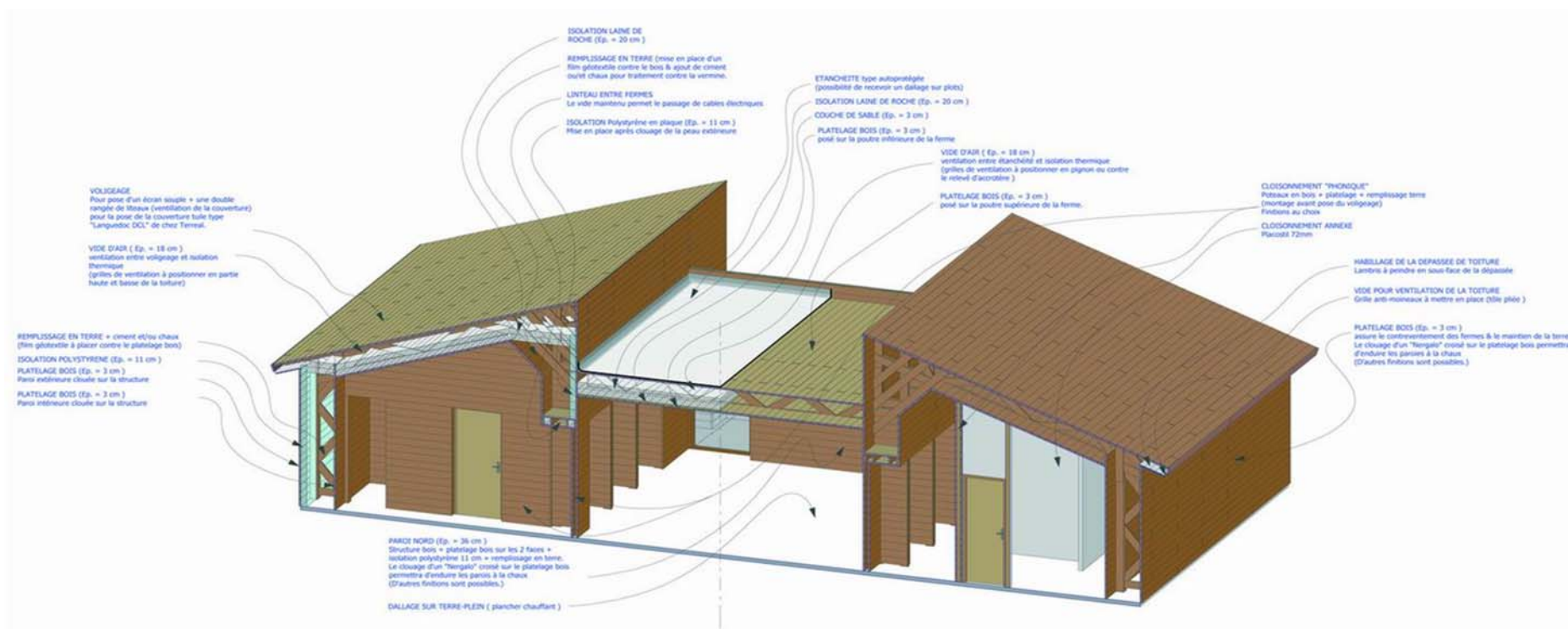
2.1 / Plan détaillé



2.2/ Coupes



2.3/ Axonométrie



CHAPITRE 2 :

UNE MAISON PENSEE DANS UN CONTEXTE LOCAL : LA PROVENCE

1/ Importance du foncier

Le coût du foncier est important à prendre en compte lors de la construction de cette maison. En effet avec des murs d'environ un mètre d'épaisseur, la surface habitable se voit réduite par rapport à la Surface Œuvre Brut. Plus le prix au m² habitable est élevé, plus ce type de construction de maisons très bien isolées est pénalisé.

2/ Quelques principes bioclimatiques

Le projet de construction a été réfléchi en fonction du lieu d'implantation de la maison. Les principes bioclimatiques suivis mettent en évidence que cette maison a été pensée pour le Sud de la France.

Orientation du bâti :

Orientation de la façade principale au Sud pour capter les apports solaires en hiver, pas d'ouverture au Nord, ni à l'Ouest pour limiter la pénétration du soleil aux heures les plus chaudes.

Disposition des pièces :

Pièces de vie au Sud pour bénéficier de la lumière et de la chaleur passive.

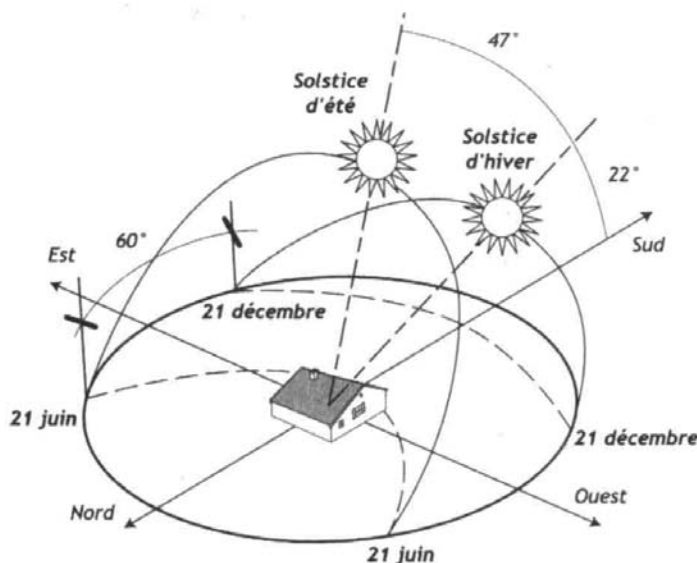


Figure 20 : Différence de position du soleil couchant entre l'été et l'hiver sous 45° de latitude (Bordeaux)

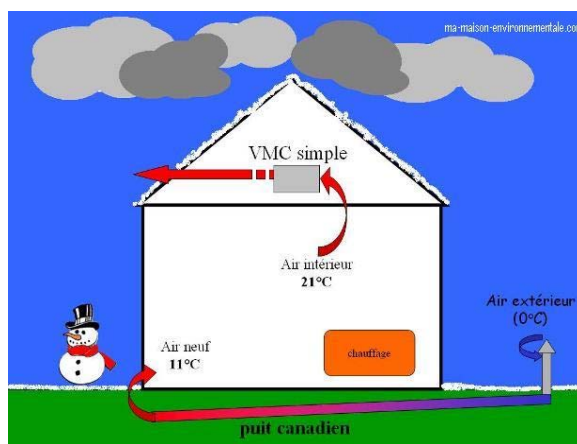
Source : [VISSCHER C. et al., 2007]

Conception du bâti :

Forme compacte, conception autour d'un élément central pour éviter les déperditions énergétiques.

Isolation conçue pour éviter aussi bien les déperditions hivernales que la surchauffe estivale : bonne inertie thermique des murs grâce à la terre, débord de toiture au Sud, double ventilation de la toiture permettant l'été d'extraire les calories accumulées par le rayonnement solaire sur la couverture de la toiture.

Ventilation et respiration par un puits provençal (ou canadien) qui fait passer, avant qu'il ne pénètre dans la maison, une partie de l'air neuf de renouvellement par des tuyaux enterrés dans le sol à une profondeur de l'ordre de deux mètres.



Faire circuler l'air via ce puits permettra de légèrement réchauffer l'air en hiver. Au lieu de faire pénétrer un air proche de 0°C dans la maison il rentrera à une température de 10 ou 11°C. Ceci permettra donc de réaliser une économie de chauffage simplement en utilisant l'inertie thermique du sol.

Figure 21 : Fonctionnement du puits provençal en hiver

Source : Site Internet puits provençal

L'inertie thermique du sol en hiver est aussi valable en été. La température du sol gardera donc une température voisine de 15 °C même au plus chaud de l'été. L'air circulant dans le puits provençal en été permettra donc cette fois-ci de le rafraîchir. Au lieu d'avoir un air rentrant dans la maison proche de 30°C, celui-ci rentrera à une température proche de 15°C agissant comme une climatisation naturelle.

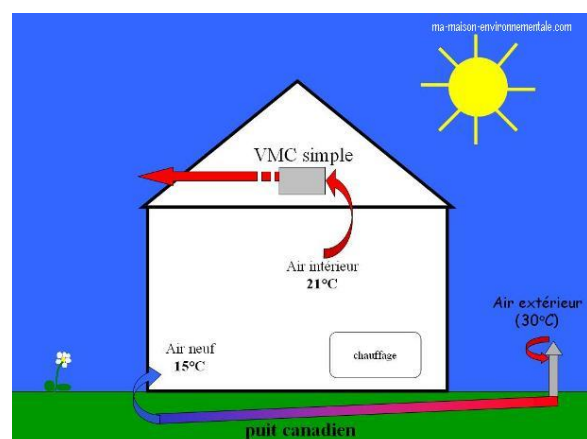


Figure 22 : Fonctionnement du puits provençal en été

Source : Site Internet puits provençal

CHAPITRE 3 :

UNE MAISON CONSTRUITE A PARTIR D'UN MEME ELEMENT DE BASE : UNE PLANCHE DE BOIS

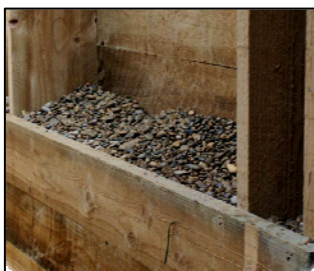
1 / Principes pour l'ensemble du gros œuvre (hors fondation)

Un seul matériau : le bois massif

Une seule section : 30*150 mm² ou 30*140 mm²

Un seul type d'assemblage : clous ou boulons

La structure principale se compose de portiques treillis bois autostables. Les parois intérieures et extérieures viennent fermer l'ensemble, formant des diaphragmes indéformables (contreventements).



Entre les parois verticales, la terre des fondations rendue inerte est renversée. Cette terre va donc noyer les membrures constituant les poteaux de portiques.

2/ Identification du bois

Bois massifs résineux de catégorie 2 de la norme NF P 52.001

Traitement préventif assurant une protection fongicide, insecticide, hydrofuge réalisé par trempage. Traitement agréé par le Centre Technique du Bois (C.T.B.) : label CTBF.



3/ Du bois pour lutter contre l'effet de serre

Le cas concret proposé par l'architecte est basé sur un système constructif novateur mélangeant bois et terre, deux matériaux dits « écologiques ». Les matériaux écologiques répondent aux critères suivants : ils sont renouvelables, abondants, produits localement, peu énergivores à la production, durables, réutilisables ou recyclables⁴³. Le bois est actuellement le matériau de construction écologique le plus en vogue pour la conception d'un habitat écologique.



Une progression sensible de la part de bois dans la construction est un moyen efficace pour lutter contre l'accroissement de l'effet de serre, qui est dû principalement à l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère. Au cours de leur croissance, les arbres absorbent du CO₂ pour fabriquer la cellulose et la lignine qui les constituent. Ils assimilent et fixent le carbone et libèrent de l'oxygène dans l'atmosphère, grâce à la fonction chlorophyllienne. Lorsqu'on transforme un arbre en matériau de construction, on retarde le moment où le carbone, fixé par photosynthèse, sera rejeté dans l'atmosphère par décomposition ou combustion.

D'après le Comité National pour le Développement du Bois (CNDB), 1 tonne de bois mise en œuvre dans le bâtiment représente environ 1,6 tonnes de CO₂ en moins. Si le bois est brûlé en fin de cycle, le gaz carbonique stocké par l'arbre retourne dans l'atmosphère. On peut alors considérer que le bilan du bois vis-à-vis du réchauffement global est nul. On parle ici d'émissions de CO₂ pour le bois brut. Or pour la réalisation d'un ouvrage, le bois est transformé (sciage, rabotage...) et subi des traitements (étuvage, fongicide...). **Le bois en tant que matériau de construction ne peut donc pas être considéré comme un matériau à émission nulle.**

⁴³ Source : [VISSCHER C. et al., 2007]

CHAPITRE 4 :

UNE BASE DE DONNEES DIFFICILE A CONSTRUIRE

La partie 2 a montré le cheminement élaboré pour répondre à la problématique et a mis en lumière la trame de calcul à suivre. Il s'agit maintenant de mettre en place une base de données directement liée à notre étude de cas.

1 / Grille de lecture du document Excel « *base-donnees-tauxCO2.xls* »

Le classeur Excel appelé « *base-donnees-tauxCO2.xls* », regroupe l'ensemble des données des émissions de CO₂ liées aux fournitures et à la main d'œuvre. L'onglet de la feuille de calcul indique de quelle composante il s'agit. Trois feuilles de calcul distinctes ont été créées pour une meilleure lisibilité du classeur : matériaux, matériel, main d'œuvre. C'est la décomposition des phases de construction en ouvrages élémentaires qui a permis d'élaborer un inventaire des matériaux, du matériel et de la main d'œuvre nécessaires à l'élaboration de la maison. Ainsi, la base de données fait correspondre à chaque unité élémentaire des composantes, le taux d'émissions de CO₂ associé.

Valeurs non issues directement d'une base de données → approximations

Le couple code-variable associée

Les cellules en jaune associent systématiquement un résultat à un code. Ainsi par la suite dans les tableaux, la saisie d'un code entraîne la recherche automatique de la variable associée

Les variables propres à notre étude de cas

Numérotation des colonnes → mises en évidence des opérations

Note : Une impression de l'ensemble des feuilles de calcul constituant la base de données est disponible en annexe (cf. page 106).

2/ Hypothèses initiales pour le calcul des émissions liées aux variables de chantier

Les émissions de CO₂ liées aux variables de chantier peuvent se décomposer en :

- une partie fixe liée aux aménagements de chantier ;
- une partie variable, étroitement liée à la localisation du chantier, et qui au final dépend de la distance au chantier des matériaux et du matériel.

2.1/ Aménagements de chantier

L'objectif est de prendre en compte l'ensemble du matériel lié aux aménagements de chantier, immobilisé durant toute la période du chantier. En connaissant l'émission totale de CO₂ engendrée par la fabrication de matériel (par exemple un bungalow de chantier comprenant réfectoire, vestiaire et sanitaires) et en prenant en compte sa durée d'amortissement, il est possible d'en déduire un taux de CO₂ lié à la période de l'immobilisation du matériel sur le chantier.

Or après des contacts auprès des principaux fabricants de bungalows de chantier (Yves Cougnaud, Algéo), il s'avère que le calcul des émissions de CO₂ n'a jamais été réalisé. Nous prendrons donc uniquement en considération le transport aller-retour d'un abri de chantier sur roues.

Ceci n'empêche pas la poursuite de la construction de la base de données. D'autant que l'objectif de la création de cette base de données est aussi de tester l'hypothèse initiale qui soulève le problème du manque de données.

2.2/ Distances au chantier

Rappelons que le cas concret de notre étude se situe :

42 avenue du grand parc

13500 Martigues

2.2.1/ Approvisionnement des matériaux



L'architecte a volontairement choisi de grouper les commandes de matériaux chez un même fournisseur : Point.P, leader de la distribution des matériaux de construction en France.

Le réseau de distribution Point.P couvrant l'ensemble des départements français avec plus de 950 agences dans toute la France permet d'optimiser les distances d'acheminement. Plus la source d'approvisionnement du matériau est éloignée de sa destination finale : le chantier, et plus la quantité d'énergie utilisée pour son transport est importante et donc émettrice de CO₂.

L'approvisionnement en matériaux de construction pour notre cas d'étude se fera à l'agence Point.P de Martigues : Rue James Joule, ZI Ecopolis Sud, 13500 Martigues.

La distance aller retour au chantier pour l'approvisionnement des matériaux est de 13 km.⁴⁴



L'approvisionnement en béton se fait au niveau de la centrale à béton Cemex Sud Est, adhérent au Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE). Sa localisation sur la route d'Arles à Fos-sur-Mer (13270) implique une distance aller retour au chantier d'environ 32 km.⁴⁵

⁴⁴ Estimation réalisée à l'aide du site Internet Viamichelin

⁴⁵ Estimation réalisée à l'aide du site Internet Viamichelin



Le matériau bois, nécessaire à la construction du prototype maison en bois et terre, ne provient pas de Point.P. Monsieur Borme a choisi de faire appel à Fibre Lorraine, le troisième pôle français de bois résineux. Fibre Lorraine est un groupement de vente de sciages résineux réunissant une dizaine de scieries du massif vosgien. Les dix scieries sont installées dans le massif vosgien et exploitent la matière typique régionale : sapin, épicéa et pin sylvestre de haute qualité. La qualité des produits est garantie par la charte "Sélection Vosges".

L'approvisionnement en bois de construction pour notre cas d'étude se fera donc auprès de Fibre Lorraine : 2 rue de la République, 88400 Gerardmer.

La distance aller retour au chantier pour l'approvisionnement en bois est de 1384 km.⁴⁶

2.2.2/ Approvisionnement du matériel



Concernant le matériel, il est tout aussi intéressant de grouper les locations. Pour notre cas concret, on sollicite le groupe Loxam, n°1 de la location de matériels en Europe pour le BTP, l'industrie et l'évènementiel.

L'agence la plus proche du chantier se situe : Z.I. Les Estroublans, 11 boulevard de l'Europe, 13127 Vitrolles.

La distance aller retour au chantier pour l'approvisionnement du matériel est de 72 km.⁴⁷

⁴⁶ Estimation réalisée à l'aide du site Internet Viamichelin

⁴⁷ Estimation réalisée à l'aide du site Internet Viamichelin

2.2.3/ Spatialisation des distances au chantier

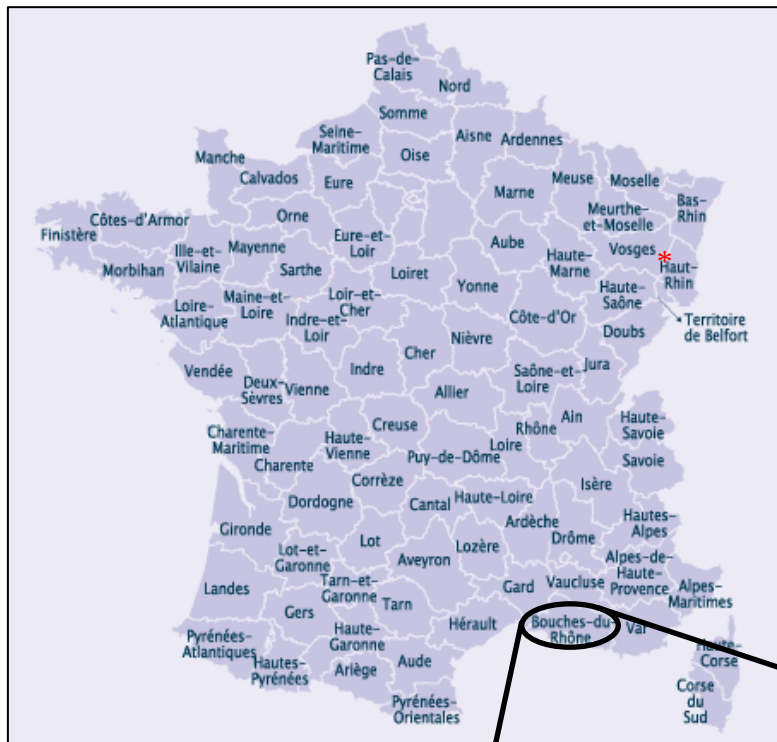


Figure 23 : Localisation des différents points d'approvisionnement

Source : Sites Internet fonds de carte

Martigues (13500)

Localisation du chantier

* Gerardmer (88400)

Approvisionnement en bois de construction

Fibre Lorraine

Fos-sur-Mer (13270)

Approvisionnement en béton

Centrale à béton Cemex Sud Est

Martigues (13500)

Approvisionnement de tous les « autres » matériaux

Point.P

Vitrolles (13127)

Approvisionnement du matériel

Loxam



La localisation des différents points d'approvisionnement permet de spatialiser les distances au chantier existantes. En dehors du bois, provenant des Vosges (88), il ressort que l'approvisionnement des matériaux et du matériel se fait localement. Ceci traduit la réelle volonté de l'architecte d'optimiser ces distances d'acheminement.

3/ Données concernant les composantes des ouvrages élémentaires

3.1/ Matériaux

	A	B	C	D	E	F
10						
11		Sablon				
12						
13		u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
14		1	2	3	4	5 ou 3 x 4
15		m3	Sablon entrepôt-fournisseur	Interpolation Ecoinvent / guide pratique éco-habitat		13,00
16						
17						
18						
19						
20					f5	13,00
21		Béton X0 C 12/15				
22						
23		u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
24		1	2	3	4	5 ou 3 x 4
25		m3	Béton départ centrale BPE	Ecoinvent		255,00
26			Déchargement du camion toupie en H/m3	0,25	f101	2,65
27						
28						
29						
30					f6	257,65
31		Profilé UAP 200 galvanisé				
32						
33		u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
34		1	2	3	4	5 ou 3 x 4
35		kg	Profilé métallique galvanisé départ usine	Interpolation Ecoinvent / guide pratique éco-habitat		2,70
36			Transport usine-entrepôt	cf hypothèses ci-contre	af105	0,13
37						

Figure 24 : Extrait du document « *base-donnees-tauxCO2.xls* », onglet matériaux
Réalisation : ADM

Ce tableau regroupe les différents taux d'émissions de CO₂ pour chaque unité élémentaire des matériaux constituant un ouvrage élémentaire.

La volonté initiale est d'extraire des données d'une seule et même base de données : INIES, la base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des matériaux et produits de construction. Mais très vite, on s'aperçoit que l'accès à cette base de données n'est pas suffisant. Afin de pallier à ce manque de données et de mener à bien l'évaluation demandée, on décide d'avoir recours à une autre base de données : Ecoinvent Data. L'avantage de cette base est qu'elle est elle-même utilisée par les fabricants pour l'élaboration des fiches FDES. Ainsi, les problèmes d'hypothèses, d'homogénéisation des données... sont restreints. Malgré tout, un grand nombre de données manque encore. On a donc l'idée de faire des « interpolations » de données. C'est-à-dire de déterminer une « proportionnalité » entre plusieurs chiffres extraits de différentes bases de données et ainsi d'obtenir pour le matériau considéré une « valeur moyenne » approximative du taux d'émissions de CO₂.

Finalement, pour remplir ce tableau trois méthodes ont été suivies :

- données extraites des fiches FDES de la base de données INIES ;
- données extraites de la base de données Ecoinvent ;
- interpolations de données extraites de différentes bases de données.

Il est important de savoir que des méthodes de calcul différentes produisent des résultats différents d'un facteur multiplicatif pouvant aller jusqu'à cinq. Pour de meilleurs résultats, il est évident qu'il convient de comparer les chiffres fournis par une seule et même source et d'en faire une analyse fondée sur une méthodologie cohérente, avec une base de données suffisante. Ce qui correspond à l'idée initiale énoncée. Mais cela n'a pas été possible. Sachant donc que cette variabilité des résultats existe, et est inévitable, il ne faut pas s'attacher trop sur les chiffres « vrais ». Il est préférable de se fixer une ligne de conduite en tenant compte du caractère relatif des différences d'émissions de CO₂ entre matériaux. Aussi pour garder en mémoire la validité des données, une colonne « Source » est insérée dans le tableau et un surlignement en vert mis en place.

A	B	C	D	E	F	G
10						
11	Sablon					
12						
13	u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)	
14	1	2	3	4	5 ou 3 x 4	
15	m3	Sablon entrepôt-fournisseur	Interpolation Ecoinvent / guide pratique éco-habitat		13,00	
16						
17						
18						
19						
20				f5	13,00	
21	Béton X0 C 12/15					
22	u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)	
23	1	2	3	4	5 ou 3 x 4	
24	m3	Béton départ centrale BPE	Ecoinvent		255,00	
25		Déchargement du camion toupie en Hlm3	0,25	f101	2,65	
26						
27						
28						
29						
30				f6	257,65	
31	Profilé UAP 200 galvanisé					
32	u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)	
33	1	2	3	4	5 ou 3 x 4	
34	kg	Profilé métallique galvanisé départ usine	Interpolation Ecoinvent / guide pratique éco-habitat		2,70	
35		Transport usine-entrepôt	cf hypothèses ci-contre	af105	0,13	
36						
37						
38						
39						
40				f7	2,83	
41	Revue et entrainées					

=D26*RECHERCHEV(E26;matériel!\$H\$17:\$J\$215;2;FAUX)
= 0,25 * f101

La fonction Recherche sous Excel permet d'associer directement à f101 la valeur de 10,6 établie sur la feuille de calcul matériel.

=SOMME(F25:F29) = 255 + 2.65

Dorénavant au code f6 sera associé cette valeur.

=((RECHERCHEV(E36;matériel!\$H\$17:\$J\$215;2;FAUX)*2*I36)/(I37/100))/26000
=(af105*2*880) / (50/100) / 26000

af105 correspond aux émissions de CO₂ engendrées par un camion semi-remorque de 26 tonnes
on multiplie par 2 la distance usine-dépôt pour obtenir l'aller-retour
on divise par le taux de remplissage 50 %
puis par 26000 pour revenir à l'unité attendue le kg

Figure 25 : Détail de la construction de la base de données des émissions de CO₂ engendrées par les matériaux

Réalisation : ADM

3.2/ Matériel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
17										
18										
19	Tractopelle 100 cv		f1	Données						
20				désignations	U	Valeurs				
21									émissions de CO2	
22				consommation sur route	l / 100 km	30,00		a1f	0,795 kgCO2/km	
23				consommation en travail	l/h	15,00		f1	39,750 kgCO2/h	
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30	Tarière mécanique montée sur pelle hydraulique 63 cv									
31										
32										
33				Données et calculs identiques à la pelle mécanique seule :						
34				Le montage de la tarière n'induit pas de surconsommation.						
35				f2 = f3					émissions de CO2	
36								a12	0,398 kgCO2/km	
37								f2	21,200 kgCO2/h	
38										
39										
40										
41										
42										
43	Pelle hydraulique 63 cv		f3	Données						
44				désignations	U	Valeurs				
45									émissions de CO2	
46				consommation sur route	l / 100 km	15,00		a13	0,398 kgCO2/km	
47				consommation en travail	l/h	8,00		f3	21,200 kgCO2/h	
48										
49										

Figure 26 : Extrait du document « *base-donnees-tauxCO2.xls* », onglet matériel

Réalisation : ADM

Ce tableau regroupe deux types de taux d'émissions de CO₂ pour le matériel :

- le taux d'émissions de CO₂ lié au matériel en fonctionnement sur le chantier, c'est-à-dire lors de la réalisation d'un ouvrage élémentaire ;
- le taux d'émissions de CO₂ lié à l'approvisionnement du matériel (ce taux d'émissions de CO₂ lié à l'approvisionnement du matériel sert au calcul du sous détail appelé « variable chantier »).

Ainsi, il a tout d'abord fallu lister l'ensemble du matériel nécessaire à la réalisation de la maison puis chercher à obtenir les consommations des divers « machines ». Initialement il était prévu de contacter un maximum de grands groupes industriels de construction de matériels pour le BTP afin d'avoir des données précises sur les émissions de CO₂. Mais il s'avère que les données recherchées n'ont pas été divulguées souvent par peur d'une remise en cause des chiffres donnés et/ou d'une attaque en justice pour « fausse information » par exemple. Au final, c'est l'entreprise sollicitée pour la location du matériel : Loxam qui a fourni les informations nécessaires. La demande est simple : connaître la consommation de carburant (en litres par heure ou litres par kilomètre), ou la consommation électrique (en kilowatts par heure) par « machine ». Une fois ces valeurs connues, il suffit de passer d'une consommation de carburant (L) ou d'une consommation électrique (kWh) à des

émissions de CO₂ (kg) en suivant le raisonnement décrit page 54. Dès lors les taux de CO₂ émis par le matériel, qu'il soit thermique ou électrique, sont connus.

Là encore il faut être conscient que les chiffres de consommation du matériel ne sont que des approximations, des moyennes. La consommation d'un véhicule par exemple peut varier de 25 % suivant le type de routes (urbaines, rurales), la conduite et le remplissage.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
7										
8	NOTA :									
9	Pour les matériels, deux taux d'émission de CO ₂ seront calculés :									
10	af1 : le taux d'émission du matériel dans un fonctionnement autre que sa fonction principale (phase montage, phase démontage, phase approvisionnement)									
11	fi : le taux d'émission du matériel dans son fonctionnement lié à la mise en œuvre des ouvrages élémentaires sur chantier.									
12										
13	HYPOTHESES :									
14										
15	émissions de CO ₂ liées à la production d'électricité en France =									
16	émissions de CO ₂ liées à la combustion de gasoil par un moteur diesel =									
17										
18										
19	Tractopelle 100 cv									
20		f1		Données						
21				désignations	U	Valeurs				
22				consommation sur route	l / 100 km	30,00				
23				consommation en travail	lh	15,00				
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30	Tarière mécanique montée sur pelle hydraulique 63 cv									
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
51										
52										
53										
54										
55										
56										
57										
58										
59										
60										
61										
62										
63										
64										
65										
66										
67										
68										
69										
70										
71										
72										
73										
74										
75										
76										
77										
78										
79										
80										
81										
82										
83										
84										
85										
86										
87										
88										
89										
90										
91										
92										
93										
94										
95										
96										
97										
98										
99										
100										

Coefficients multiplicateur de « passage » d'une consommation de carburant (L) ou d'une consommation électrique (kWh) à des émissions de CO₂ (kg)

$$= F22 * \$E\$16 / 100$$

$$= 30 * 2,65$$

Figure 27 : Détail de la construction de la base de données des émissions de CO₂ engendrées par le matériel
Réalisation : ADM

3.3/ Main d'œuvre

	A	B	C	D	E	F
7						
8						
9		Distance domicile chantier (km)	Type de véhicule	Taux émission CO2 kilométrique (kgCO2/km)		Taux émission CO2 journalier (kgCO2/J)
10	Chauffeur	19,00	citadine diesel	0,16	o1	6,042
11	Ouvrier type 2	2,00	familiale diesel	0,24	o2	0,954
12	Ouvrier type 3	11,00	familiale diesel	0,24	o6	5,247
13	Ouvrier type 4	8,00	citadine diesel	0,16	o7	2,544
14	Ouvrier type 5	6,00	citadine diesel	0,16	o8	1,908
15						
16				Equipe 2 ouvriers	o3	6,201
17				Equipe 3 ouvriers	o4	8,109
18				Equipe 4 ouvriers	o5	10,653
19						
20						

Figure 28 : Extrait du document « *base-donnees-tauxCO2.xls* », onglet main d'œuvre
Réalisation : ADM

Ce tableau regroupe toutes les informations nécessaires pour l'évaluation des émissions de CO₂ engendrées par les trajets journaliers d'un ouvrier. Il suffit de connaître la distance domicile–chantier pour chaque ouvrier et définir le type de véhicule. Pour notre étude de cas, nous avons développé deux types de véhicules possibles : une citadine diesel, une familiale diesel.

Note : Pour une meilleure compréhension des tableaux de décomposition des ouvrages élémentaires, les ouvriers sont regroupés par équipe. L'émission de CO₂ de l'équipe est égale à la somme des émissions de CO₂ engendrées par chacun des ouvrier constituant l'équipe.

	A	B	C	D	E	F
7						
8						
9		Distance domicile chantier (km)	Type de véhicule	Taux émission CO2 kilométrique (kgCO2/km)		Taux émission CO2 journalier (kgCO2/J)
10	Chauffeur	19,00	citadine diesel	0,16	o1	6,042
11	Ouvrier type 2	2,00	familiale diesel	0,24	o2	0,954
12	Ouvrier type 3	11,00	familiale diesel	0,24	o6	5,247
13	Ouvrier type 4	8,00	citadine diesel	0,16	o7	2,544
14	Ouvrier type 5	6,00	citadine diesel	0,16	o8	1,908
15						
16				Equipe 2 ouvriers	o3	6,201
17				Equipe 3 ouvriers	o4	8,109
18				Equipe 4 ouvriers	o5	10,653

$$=F11+F12+F14 = 0,954+5,247+1,908$$

$$=SI(C10="citadine diesel";materiel!I174;materiel!I180)$$

Utilisation de la fonction Si et de la fonction Recherche afin d'obtenir le taux d'émissions de CO₂ par kilomètre

$$=D12*B12*2 = 11*0,24*2$$

on multiplie par 2 la distance domicile–chantier pour obtenir l'aller-retour

on associe à cette valeur le code o6

Figure 29 : Détail de la construction de la base de données des émissions de CO₂ engendrées par la main d'œuvre
Réalisation : ADM

4/ Conclusions liées à l'élaboration de la base de données

La méthode choisie pour répondre à la problématique et tester l'hypothèse est de se mettre en situation : un employé d'un bureau d'études en urbanisme cherche à calculer les émissions de CO₂ engendrées par la construction d'une maison individuelle donnée. Elaborer une base de données propre à l'étude de cas est une étape essentielle qui met de suite en relief ce qui va limiter le calcul : le manque de données.

La base de données regroupe l'ensemble des données nécessaires au calcul. Son contenu est le support du résultat final. Plus la base de données est complète, détaillée, et plus le calcul des émissions de CO₂ sera précis. Finalement, le rôle du « réalisateur » est primordial : c'est lui qui définit le niveau de détails du calcul, dans la limite des données disponibles. C'est aussi lui qui doit mener une « enquête » auprès de tous les intervenants dans l'acte de construire pour recueillir toutes les informations nécessaires.

Après quelques mois de recherche et une fois la philosophie du calcul définie, il ressort que l'on peut aller très loin dans la recherche de données et remonter étape par étape le parcours de chaque produit de la maison... Au vu du temps imparti pour ce travail de fin d'études, il a été décidé de créer un classeur base de données qui sert de ressource au classeur calcul (lien entre les deux fichiers par la feuille « recap »). La base de données regroupe les hypothèses initiales pour le calcul des émissions liées aux variables de chantier (aménagements de chantier et distances au chantier) et les taux élémentaires d'émissions de CO₂ des trois composantes d'un ouvrage élémentaire (matériaux, matériel, main d'œuvre). L'objectif est bien sûr d'obtenir les valeurs les plus précises possibles, même si l'on peut considérer le calcul comme une approche progressive qui se construit, évolue. Il est possible, par la suite, de réajuster les valeurs de la base de données afin d'optimiser le calcul des émissions de CO₂ engendrées lors de la construction d'une maison.

Il est clair que pour avoir de meilleurs résultats, il convient d'extraire des données d'une seule et même source afin de connaître, après une analyse détaillée, les hypothèses de calcul, la « qualité » des données... Aucune base de données suffisamment fournie n'a pu être exploitée pour ce calcul. Afin d'éviter le raccourci « pas de données, pas d'émissions », on a pris le parti d'utiliser différentes bases de données et parfois même de faire des interpolations qui tiennent compte du caractère relatif des différences d'émissions de CO₂ entre les données trouvées. Dès lors, on reste conscient du fait que le résultat obtenu n'est qu'un ordre de grandeur.

Rechercher les données nécessaires à l'élaboration de la base de données a montré que :

- les données recherchées ne sont pas toujours connues :
Exemple le 24 janvier 2008, le responsable du pôle environnement du groupe Riva Acier S.A. est contacté dans le but d'obtenir le taux élémentaire d'émissions de CO₂ des aciers à béton. Après une longue discussion « transversale » sur le sujet de recherche et un recentrage sur les données recherchées, il est admis que ce n'est une question que très peu abordée pour l'instant au sein de l'entreprise, et que ce n'est pas la première fois qu'un professionnel demande ce genre de chiffres...
- les données recherchées ne sont pas toujours divulguées :
Exemple de la recherche de renseignements concernant les émissions de CO₂ pour certains types de camions Mercedes (cf. page 75).
- à l'heure actuelle, les fabricants témoignent encore peu d'intérêt vis à vis de la question environnementale : « Qu'est ce qu'on en a à faire nous des émissions de CO₂ !! ».

Finalement le manque de données devient un réel frein à l'évaluation des émissions de CO₂. Même lorsque nous pouvons faire des approximations (exemple : substituer le taux d'émissions de CO₂ des aciers à béton par celui de l'acier générique), nous ne pouvons pas quantifier l'erreur. Ainsi aucun calcul d'incertitude n'est possible et donc la tolérance sur le résultat ne peut être donnée. Ce qui est frustrant pour un calcul scientifique ! L'accès à toutes ces données est une condition de réussite du calcul global des émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle et plus généralement de la généralisation de l'alternative écologique.

Note : Dans notre cas d'étude, on ne s'est pas heurté à des difficultés majeures pour la recherche de données concernant les hypothèses des émissions liées aux variables de chantier. Ceci est dû à la taille et au concept du chantier étudié (chantier doux, chantier à main d'oeuvre réduite se rapprochant du concept de l'auto-construction).

CHAPITRE 5 :

UN CALCUL RESOLU LAISSANT SUBSISTER DES INCERTITUDES

1 / Grille de lecture du document Excel « MaisonBOIS-calculCO2.xls »

Le classeur Excel appelé « *MaisonBOIS-calculCO2.xls* », regroupe un ensemble de feuilles de calcul où divers tableaux permettent d'arriver au résultat final : T_{FINAL} .

L'onglet « *estimatif CO2* » correspond au tableau général des émissions de CO_2 lors de la construction d'une maison (cf. figure 6 page 38).

L'onglet « *instal-chantier* » explicite le calcul des émissions de CO_2 liées aux variables de chantier (cf. tableau page 43).

Cinq onglets portant le nom d'une phase d'exécution (terrassement, fondation, dallage, ossature bardage et couverture isolation) détaillant les émissions de CO_2 par ouvrage élémentaire.

Note : Le code couleur pour ce document Excel est le même que celui « *base-donnees-tauxCO2.xls* »

L'ensemble des feuilles de calcul est présenté en annexe (cf. page 113).

2/ Taux d'émissions de CO₂ pour l'ensemble des variables de chantier

	A	B	C	D	E	F	G
3							
4	HYPOTHESES :	les variables à saisir sont en bleu					
5							
6		distance aller retour / fournisseur matériaux =		d1	13,00	Km	
7		distance aller retour / centrale à béton =		d2	32,00	Km	
8		distance aller retour / entrepôt des matériels =		d3	72,00	Km	
9		distance aller retour / fournisseur bois =		d4	1392,00	Km	
10							
11							
12	Terrassement						
13							
14		Désignation	Unité U	Quantité	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/km)	Référence distance (km)	Taux de CO2 (kgCO2/U)
15		1	2	3	4	5	3 x 4 x 5 = 6
16							
17		Livraison sablon 7 m3 = camion 16 T	U	1,000	af104	d1	9,302
18		Tractopelle 100 cv	U	1,000	af1	d3	57,240
19		Tarière mécanique 63 cv	U	0,000	af106	d3	0,000
20		Pelle mécanique 63 cv	U	1,000	af3	d3	28,620
21		Rouleau vibrant 1,4 T sur camion 3,5 T	U	1,000	af102	d3	28,620
22							
23						Vc1	123,782
24							
25	Fondation						
26							
27							
28							
29							
30							
31							

Phases d'exécution

Formules et explication :

```

=D17*RECHERCHEV(E17;'RECAPtaux
CO2'!$A$6:$B$132;2;FAUX)*RECHERCHEV(F17;$E$6:$F$9;2;FAUX)
=D17*af104*d1 = 1*0,716*13

```

La fonction **Recherche** permet d'associer les valeurs aux codes af104 et d1.

Rappelons qu'il s'agit ici de déterminer les émissions liées aux variables de chantier (T_{vc}), c'est-à-dire déterminer les émissions de CO₂ liées aux aménagements de chantier et celles liées à l'approvisionnement en matériaux et matériels du chantier. Afin de n'oublier aucune émission du second type, toutes les phases d'exécution de la période de construction sont détaillées.

3/ Taux d'émissions de CO₂ pour l'ensemble des ouvrages élémentaires (T_{oe})

Afin d'obtenir le taux d'émissions de CO₂ de l'ensemble des ouvrages élémentaires, T_{oe} , on décompose la période de construction en phases d'exécution. Par la suite on détaille pour chaque phase d'exécution, les émissions de CO₂ engendrées par la réalisation d'un ouvrage élémentaire (T_i).

Phase d'exécution considérée : Terrassement

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11	U	Désignation	Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
12	1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 x 9 = 10
13										
14	m3	Tractopelle 100 cv			0,000 J		0,013 f1		0,517	0,517
15		Chauffeur	0,014 o1		0,085				0,085	
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27	U	Désignation	Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
28	1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 x 9 = 10
29										
30										
31	m3	Tarière mécanique 63 cv			0,000 J		0,313 f2		6,636	6,636
32		Chauffeur	0,314 o1		1,897				0,000	1,897
33		Ouvrier type 2	0,314 o2		0,300					0,300
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										

Un sous détail = un ouvrage élémentaire description et choix de l'unité

$=C15 * o1$

$=G14 * f1$

$=SOMME(J14:J17)$

Correspond aux taux d'émissions de CO2 par unité d'ouvrage élémentaire (ici T1)

T1

T2

estimatif CO2 / instal-chantier / terrassement / fondation / dallage / ossature bardage

Note : Là encore on utilise la fonction **Recherche** pour qu'automatiquement une valeur soit associée aux codes 01, f1... de la base de données, « *base-donnees-tauxCO2.xls* », liée à l'outil élaboré.

L'ensemble des cinq onglets, grâce à divers tableaux, nous permet de calculer tous les taux de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire (Ti), qui seront la base du calcul du taux d'émissions de CO₂ de l'ensemble des ouvrages élémentaires, T_{OE}.

Rappel :

$T_{OE} = \Sigma (X_i * T_i)$ pour i variant de 1 à n (c'est-à-dire pour l'ensemble des ouvrages élémentaires constituant la phase de construction)

Avec Xi : Quantité d'ouvrage élémentaire donnée par le descriptif quantitatif

Ti : Taux de CO₂ par unité d'ouvrage élémentaire

4/ Total des émissions de CO₂ engendrées par la construction de la maison bois-terre (T_{FINAL})

Désignation descriptive des ouvrages élémentaires	U	Quantité Xi	Taux de CO ₂ /Unité d'ouvrage élémentaire (kgCO ₂ /U)		Emission de CO ₂ (kgCO ₂)
1	2	3	Ti	4	3 x 4 = 5
TERRASSEMENT GENERAL					
Plateforme mise au niveau -0,50 du sol fini	m3	75,000	T1	0,601	45,100
Fouilles en puits diam 600 mm	m3	6,330	T2	8,832	55,909
Touvenant compacté ép. 30 cm	m3	67,000	T3	14,237	953,861
					1054,870
FONDATION					
Coulage des puits de fondation gros béton dosage 250 kg	m3	6,400	F1	284,389	1820,087
Cadre métallique réalisé en UAP 200 boulonnés compris étrées d'assemblage 150/90	ml	155,000	F2	83,504	12943,122
Coulage des longrines béton armé 350 kg entre UAP + armature métallique 15 x 50	m3	8,200	F3	351,308	2880,725
					17643,934
DALLAGE					
Sable pour réglage ép. 3cm	m2	27,000	D1	0,515	13,895
Dallage béton armé 12 cm finition talochée avec treillis soudé ST10	m2	144,000	D2	40,631	5850,932
Dalle pour plancher chauffant ép. 5 finition pour recevoir un carrelage	m2	144,000	D3	19,490	2806,556
					8671,383
OSSATURE ET BARDAGE					
Pose Ferme de structure	U	10,000	OB1	261,366	2613,658
Pose Pignons	U	4,000	OB2	179,117	716,468
Pose Bardage extérieur et intérieur	m2	449,000	OB3	5,711	2564,378
Pose voligeage toiture	m2	190,000	OB4	5,703	1083,608
Pose Platelage sous face toiture	m2	144,000	OB5	200,795	28914,493
Pose cloison / ossature et bardage	m2	74,000	OB6	11,566	855,867
					36748,472
COUVERTURE ET ISOLATION					
Pose d'un litage et contre litage 27*27 m	m2	137,000	CI1	0,249	34,139
Fourniture et pose de tuiles type DCL avec système bas de pente compris tuiles a douilles et rives d'étrées	m2	137,000	CI2	3,201	438,503
isolation laine minérale 220 mm	m2	137,000	CI3	3,733	511,361
					984,003
Emissions chantier = T _{OE} =					65102,662
Emissions variables chantier = T _{VC} =					3105,429
Emissions totales de CO ₂ de la phase construction = T _{FINAL} =					68 208 kgCO ₂

CHAPITRE 6 :

INTERPRETATION DES RESULTATS

1 / Analyse des résultats

Dès la mise en place de la base de données liée à l'étude de cas, c'est-à-dire lorsqu'on cherche l'ensemble des données nécessaire pour mener à bien le calcul, on perçoit la variabilité possible du résultat. S'attacher à des chiffres « vrais » est impossible. L'intérêt de la question de recherche réside plus dans l'analyse du processus employé et donc dans une réflexion sur la valeur et la crédibilité du résultat, que dans l'analyse du résultat chiffré en tant que tel.

Cependant, l'analyse du tableau des taux d'émissions de CO₂ engendrées par la construction de la maison en bois-terre, présenté page 83, permet tout de même de tirer quelques conclusions.

L'importance relative des émissions de CO₂ dues aux phases d'exécution et aux variables de chantier peut être mise en évidence par le tableau ci-dessous représentant le pourcentage des émissions de CO₂ des différentes phases d'exécution et variables de chantier.

Désignation descriptive des ouvrages élémentaires	Emission de CO ₂ (kgCO ₂)	Part des émissions de CO ₂
Terrassement général	1054,870	1,55 %
Fondation	17643,934	25,86 %
Dallage	8671,383	12,71 %
Ossature et bardage	36748,472	53,85 %
Couverture et isolation	984,003	1,44 %
Emissions chantier = T_{OE} =	65102,67	95,41 %
Emissions variables chantier = T_{VC} =	3134,05	4,59 %
Emissions totales de CO₂ de la phase construction = T_{FINAL} =	68 237 kgCO₂	100 %

Réalisation : ADM

Il ressort que les émissions liées à l'ensemble des variables de chantier représentent à peine 5 % des émissions totales. Ce qui signifie au final que la localisation du chantier n'a que peu d'influence sur les émissions de CO₂ (déplacements domicile-chantier de la main d'oeuvre exclus).

Cette conclusion quelque peu hâtive mériterait d'être complétée par d'autres études analysant la distance à partir de laquelle ces variables de chantier deviennent significatives. Existe t'il une valeur seuil ? Est-elle en adéquation avec le maillage des fournisseurs de matériaux ?

2/ Analyse de sensibilité

L'objectif de l'analyse de sensibilité est de tester les résultats et leur sensibilité aux données et hypothèses utilisées. Pour ce faire, il est intéressant de faire varier de 25 % certains facteurs et de regarder l'influence de cette variation sur le résultat final.

Augmentation de 25 % des facteurs suivants :	Influence relative sur le résultat final
Distance au chantier	+ 1.3 %
<i>Matériaux (fournisseur, centrale à béton et fournisseur bois)</i>	+ 1.1 %
<i>Matériel</i>	+ 0.05 %
<i>Main d'œuvre</i>	+ 0.15 %
Consommation matériel	+ 4.4 %
Taux élémentaire des émissions de CO ₂ des matériaux qui font l'objet d'approximations (valeurs dans les case à fond vert)	+ 18.4 %
<i>Bois brut épicea autoclave classe 3</i>	+ 2.4 %

Réalisation : ADM

Ce tableau conforte l'idée selon laquelle la distance au chantier a peu d'influence sur le résultat final. En effet, une augmentation de 25 % des distances au chantier n'entraîne qu'une augmentation de 1.3 % sur le résultat final. Ce qui par ailleurs est inférieur à une augmentation de 25 % de la consommation du matériel (4.4 %) et très largement inférieur à la seule influence (+25 %) du taux élémentaire approximatif des émissions de CO₂ du bois brut épicea autoclave classe 3 utilisé pour la construction (2.4 %).

Il ressort aussi très clairement que la variabilité prépondérante est obtenue par les valeurs approximées (18.4 %). Ce chiffre de 18.4 % met en évidence qu'il existe une corrélation très forte entre les valeurs ayant été interpolées et le résultat final, et que ces valeurs très « incertaines » ont relativement plus de poids que l'ensemble des autres variables (distance au chantier, consommation du matériel).

Il est donc préférable de s'intéresser à la crédibilité du résultat.

3/ Un manque de données ?

Celui qui réalise le calcul est celui qui définit la méthode d'analyse et donc fixe le niveau de détails voulu. C'est aussi lui qui procède à la récolte des données et donc connaît la qualité, la fiabilité des informations retenues.

Pour pallier à un réel manque de données (aucune base de données suffisamment complète et simplement accessible n'a été trouvée), des « interpolations » de données ont été réalisées par recoupement de plusieurs sources de données, dans le but d'obtenir une estimation du résultat.

Cependant au vu de l'importance relative des taux élémentaires de CO₂ des matériaux faisant l'objet d'approximations (cf. tableau page 85), nous pouvons nous demander s'il est judicieux de chercher à interpoler les données manquantes. Ne serait-il pas plutôt préférable de ne pas donner d'approximations, d'ordres de grandeur ? Dans ce cas, le calcul n'aboutit pas. L'hypothèse est bien vérifiée puisque le manque de données disponibles est le frein réel à cette évaluation des émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle donnée. La question centrale tourne donc autour de la qualité des données.

3.1 / Indicateurs de qualité des données

Puisqu'une seule et unique base de données ne peut être utilisée, il convient d'analyser soigneusement la qualité des données introduites dans la base de données.

Il est possible, par exemple, d'utiliser les indicateurs de qualité des données développés par Weidema et Wesnaes dans « *Data quality management for life cycle inventories : an example of using data quality indicators* » (1996). Des scores allant de 1 (meilleur score) à 5 (score le plus mauvais) peuvent être attribués pour chacun des indicateurs suivants :

- o la fiabilité des données découle de la méthode de mesure utilisée et des procédures de vérification ;
- o l'exhaustivité dépend du nombre d'entreprises considérées sur une période de temps donnée ;
- o les corrélations géographiques, temporelles et technologiques indiquent si les données utilisées couvrent le lieu, la période et la technologie du processus étudié ;
- o la taille de l'échantillon.

Figure 30 :
Matrice avec cinq indicateurs de qualité des données

Source : [JOLLIET O. et al., 2005]

Score de qualité	1	2	3	4	5
Fiabilité	Données vérifiées basées sur des mesures	Données vérifiées partiellement basées sur des hypothèses ou données non vérifiées basées sur des mesures	Données non vérifiées partiellement basées sur des hypothèses	Estimation qualifiée (par exemple par un expert industriel)	Estimation non qualifiée
Exhaustivité	Données représentatives d'un échantillon suffisant d'entreprises sur une période adéquate	Données représentatives d'un petit nombre d'entreprises mais pour des périodes adéquates	Données représentatives pour un nombre adéquat d'entreprises mais pour des périodes plus courtes	Données représentatives mais pour un petit nombre d'entreprises et pour des courtes périodes ou données incomplètes pour un nombre adéquat d'entreprises et périodes	Représentativité inconnue ou données incomplètes provenant d'un petit nombre d'entreprises et/ou pour des périodes plus courtes
Corrélation temporelle	Moins de 3 ans de différence avec l'année de l'étude	Moins de 6 ans de différence	Moins de 10 ans de différence	Moins de 15 ans de différence	Age des données inconnu ou plus de 15 ans de différence
Corrélation géographique	Données de la zone à l'étude	Données moyennes d'une zone plus large dans laquelle la zone à l'étude est incluse	Données d'une zone ayant des conditions similaires	Données d'une zone ayant des conditions légèrement similaires	Données d'une zone inconnue ou zone avec des conditions de production très différentes
Corrélation technologique	Données d'entreprises, de processus et de matériaux à l'étude	Données de processus et matériaux à l'étude mais de différentes entreprises	Données de processus et matériaux à l'étude mais de différentes technologies	Données sur processus ou matériaux relatifs mais de technologies identiques	Données sur processus ou matériaux relatifs mais de technologies différentes
Taille de l'échantillon	>100, mesures continues	>20	>10	≥3	inconnu

Un facteur d'incertitude est ensuite attribué à chacun des scores. Une fois l'incertitude sur chaque donnée individuelle déterminée, il faut les combiner (méthode statistique du type Monte-Carlo) afin d'obtenir l'incertitude sur le résultat final.

L'objectif du sujet n'étant pas la mesure « vraie » des émissions totales de CO₂ engendrées par la construction d'une maison individuelle et au vu du temps imparti, aucune incertitude autour de la qualité des données n'a été chiffrée. Cependant une réflexion sur le type d'incertitude a été menée.

3.2/ Différents types d'incertitude des données

Peut-on avoir confiance dans les résultats de l'étude des émissions de CO₂ ? Même dans le cas d'une étude comparative, comment être sûr que la différence entre deux scénarios peut être significative ? En effet, si l'écart de résultat entre deux scénarios est inférieur à la tolérance sur le résultat final, il est impossible d'en tirer une conclusion. Pour répondre à ces questions, il importe de savoir quels sont les différents types d'incertitude.

Prenons l'exemple de la base de données Inies. Les fiches FDES donnent une estimation des émissions de CO₂, entre autres, pour les différentes phases du cycle de vie du produit considéré : production, transport, mise en œuvre, vie en œuvre et fin de vie.

Si l'on considère toujours le même exemple, la fiche FDES du mur en maçonnerie de blocs béton, il est intéressant de noter que les données de production sont issues d'une moyenne pondérée entre trois sites dits représentatifs de la production française de blocs béton. Dans quelles mesures ces sites sont considérés comme représentatifs ? Quelles approximations sont faites en ne considérant que trois sites de production ? Chaque site de production n'est-il pas singulier ?

A cela s'ajoute des approximations géographiques avec la prise en compte de distances moyennes de transport des matières premières nécessaire à la production du produit fini. Existe-t-il une répartition homogène des fabricants sur tout le territoire ? Notons que cette variabilité spatiale est extrêmement complexe à analyser car tout bilan CO₂ fait intervenir des chaînes d'approvisionnement qui peuvent se répartir sur l'ensemble de la planète.

De plus, des différences entre processus semblables (par exemple dues à l'utilisation de différentes technologies dans des usines qui fabriquent les mêmes produits) peuvent être à l'origine de variabilités technologiques dans le calcul effectué pour

trouver les émissions des gaz considérés. La technologie évoluant constamment dans le temps implique aussi l'existence d'une variabilité temporelle.

Dans ce chapitre, nous nous sommes penchés uniquement sur les incertitudes liées aux valeurs extraites de la base de données Inies. Les types d'incertitude sont les mêmes pour les valeurs extraites de la base Ecoinvent. Tandis que toutes les valeurs obtenues par « interpolation » font l'objet d'approximations beaucoup plus grandes, très difficile à mesurer. Au final, il est impossible, dans notre calcul, de déterminer quelle est l'incertitude sur le résultat final puisque l'incertitude sur les données utilisées ne peut être calculée. Le résultat obtenu est loin d'être vrai.

La problématique de notre étude a bien été abordée sous tous ces angles : une méthode de calcul simple (classeurs Excel) peut être mise en place par un bureau d'études en urbanisme, mais le manque de données et l'impossibilité de produire une tolérance sur les données ne permettent pas d'obtenir une évaluation fiable des émissions de CO₂ engendrées par la construction d'une maison individuelle donnée.

CONCLUSION

L'idée initiale de cette étude vient de la volonté d'un architecte, Monsieur Borme, d'établir un bilan CO₂ lié à la construction d'une maison individuelle en bois et terre qu'il a conçue. Outre un argument écologique, il s'agit aussi de positionner son produit au sein d'un discours cacophonique sur les nouvelles maisons écologiques où chacun y va de ses arguments. Cette proposition de réflexion d'évaluation des impacts environnementaux d'une éco-construction souligne l'intérêt que suscitent ces nouveaux modes de conception et de construction.

L'étude des différents systèmes d'évaluation de l'impact environnemental montre la multitude et la diversité des outils disponibles. Cependant, il ressort que si l'évaluation des impacts environnementaux est ciblée et originale ou si une question précise est posée, ces outils sont inexploitable. Dès lors, la faisabilité du calcul de ce bilan CO₂ lié à la seule phase de construction, est remise en cause, et la question initiale reformulée afin d'obtenir la problématique suivante : Est-il possible à l'heure actuelle, pour un bureau d'études en urbanisme, de définir avec une relative précision les émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle ?

Initialement, pour traiter cette question spécifique, il est choisi de s'approprier l'un des outils d'évaluation de l'impact environnemental et de l'adapter au calcul demandé, mais finalement cela n'a pu se concrétiser. Ainsi, il faut mettre en place une démarche scientifique spécifique. Celle-ci s'est peu à peu mise en place grâce à des connaissances bibliographiques acquise et des échanges réguliers avec des experts.

La méthode adoptée repose sur une démarche analytique déductive, c'est-à-dire une division du problème général complexe en sous-problèmes plus simples. Le principe du calcul est basé sur l'analyse des émissions de CO₂ de chaque ouvrage élémentaire de la construction. Un chantier se décompose en différentes phases d'exécution (terrassement général, fondations, planchers, murs...), constituées elles-mêmes d'un ensemble d'ouvrages élémentaires. Ainsi, afin de n'oublier aucun poste d'émissions de CO₂, il est judicieux de considérer successivement les trois composantes de chaque ouvrage élémentaire : les matériaux, le matériel et la main d'oeuvre, et quantifier les émissions de CO₂.

Cette méthode de résolution nécessite de constituer une base de données, qui, par la suite, est liée à un classeur Excel dans lequel figure :

- l'ensemble des tableaux de décomposition des ouvrages élémentaires par phase d'exécution ;
- un sous détail propre lié au calcul des émissions de CO₂ engendrées par les aménagements de chantier ;
- un tableau récapitulatif présentant le résultat final.

Le cœur de ce calcul réside donc dans le recueil des données nécessaires : les hypothèses initiales pour le calcul des émissions liées aux variables de chantier (aménagements de chantier et distances au chantier) et les taux élémentaires d'émissions de CO₂ des trois composantes d'un ouvrage élémentaire. C'est lors de la recherche de données pour l'étude de cas que l'hypothèse est véritablement testée.

Durant la construction de la base de données directement liée à l'étude de cas, le manque de données est mis en évidence. Les données recherchées ne sont pas toujours divulguées ou connues, témoignant de l'irréflexion relative à la question environnementale par certains grands groupes industriels.

Les données les plus difficiles à recueillir sont celles concernant la qualité environnementale des produits de construction. Bien qu'il existe un certain nombre de bases de données. Aucune base en libre accès suffisamment fournie n'a pu être trouvée et exploitée exclusivement pour ce calcul. Des données extraites de deux bases de données et des « interpolations » de valeurs sont nécessaires. Or pour avoir de meilleurs résultats, il convient d'extraire des données d'une seule et même source afin de connaître, après une analyse détaillée, les hypothèses de calcul, la « qualité » des données...

Le calcul est tout de même mener à terme pour valider sa faisabilité. Et bien que le résultat obtenu ne soit qu'une estimation, un ordre de grandeur, une analyse de celui-ci permet d'énoncer que :

- o la localisation du chantier n'a que peu d'influence sur les émissions de CO₂ (déplacements domicile–chantier de la main d'œuvre exclus) ;
- o il existe une très forte corrélation entre les valeurs ayant été interpolées et le résultat final. Ces valeurs très « incertaines », approximatives ont relativement plus de poids que l'ensemble des autres variables (distance au chantier, consommation du matériel).

Ce qui amène à se demander s'il est pertinent de chercher à interpoler les données manquantes. Ne serait-il pas plutôt préférable de ne pas donner d'approximations, d'ordres de grandeur, et de laisser des « blancs » ? D'autant qu'il n'est pas possible de calculer l'incertitude de ces valeurs « interpolées ».

Finalement, l'intérêt de la question de recherche se situe dans une réflexion sur la valeur et la crédibilité du résultat. Etant donné la qualité des données et donc l'incertitude (par ailleurs incalculable) du résultat final, l'hypothèse est vérifiée : le manque de données disponibles est le frein à cette évaluation des émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle donnée.

A ce stade, il est intéressant de chercher à évaluer l'outil développé pour répondre à la problématique.

L'outil mis en place permet de calculer l'ensemble des émissions de CO₂ engendrées par la construction d'une maison individuelle. Dans le cadre du mémoire de recherche, une application concrète a été effectuée. Aucun résultat n'a réellement pu être tiré par manque de données, ou plus précisément manque de fiabilité d'un bon nombre de valeurs. Cependant, à terme, lorsque la disponibilité et l'accessibilité des données seront optimales et que les industriels seront plus concernés par ces sujets environnementaux, cet outil d'analyse, appropriable par différents professionnels du bâtiment, présente de nombreuses potentialités.

Il est basé sur une approche progressive qui se construit, évolue, permettant par la suite de réajuster les valeur de la base de données afin d'optimiser le calcul des émissions de CO₂ engendrées lors de la construction d'une maison. Il permet aussi de mieux cerner les sources d'impact et peut fournir des éléments aux architectes qui souhaitent justifier leurs projets auprès des maîtres d'ouvrage. Il peut apporter des informations précieuses pour des choix de conception, des comparaisons de produits... Par ailleurs une étude comparative apporte des idées d'amélioration des processus de production et de conception de la construction considérée. Attention tout de même à ne comparer que ce qui est comparable : des maisons à performances égales, à surfaces habitables égales, rendant les mêmes services ou ayant une consommation énergétique prévisionnelle identique...

Alors que pour toutes les étapes du cycle de vie les travaux entrepris constituent une charge importante pour notre environnement, beaucoup d'études n'ont été menées que sur la vie du bâtiment : évaluation des émissions de gaz à effet de serre, énumération de divers leviers d'action de réduction des consommations énergétiques ou de bilan écologique... Etant donné qu'à l'heure actuelle la phase d'utilisation représente environ 80 % de la consommation énergétique du cycle de vie complet d'un bâtiment, les scientifiques considèrent la marge de manœuvre plus grande et concentrent donc leur réflexion sur cette « fraction de vie » du bâtiment. L'objectif est de rendre les bâtiments de moins en moins énergivores pendant leur fonctionnement, d'obtenir des bâtiments à énergie 0. Dès lors, la phase de construction prend une importance relative de plus en plus grande. C'est-à-dire que plus l'on diminuera les consommations énergétiques de fonctionnement et moins la consommation énergétique lors de la phase de construction sera négligeable. Finalement se focaliser sur la phase de construction et développer un outil uniquement sur cette « fraction de vie » du bâtiment est intéressant et précurseur.

Les valeurs recueillies pour l'utilisation de l'outil élaboré sont généralement issues de bases de données ayant une approche par analyse du cycle de vie (exemple : base de données Inies, Ecoinvent). Cette méthode consiste à évaluer les aspects quantifiables de la qualité environnementale, et laisse donc de côté les aspects plus qualitatifs. Les appréciations plus subjectives concernant l'esthétique, l'atteinte au paysage, le confort ou la qualité de la vie ne sont donc pas abordés. L'analyse du cycle de vie a été élaborée en premier lieu pour des produits industriels. Son application au secteur du bâtiment doit donc s'effectuer de manière prudente : chaque bâtiment est en général unique et entretient des liens forts tant avec le site dans lequel il est intégré qu'avec ses occupants. Le bâtiment n'est pas un objet inerte. Tout au contraire, il rentre en symbiose avec ses occupants et avec son environnement proche, apportant ainsi une plus-value, souvent non quantifiable, pour l'homme et la nature.⁴⁸

Cette étude, réalisée dans le cadre du travail de fin d'études, est « ancrée » dans son temps : l'hypothèse est vérifiée dans le contexte actuel. Au jour d'aujourd'hui, il n'est pas possible de définir avec une relative les émissions de CO₂ engendrées par la construction d'une maison individuelle. Ceci est notamment du au fait, qu'à l'heure actuelle, il est impossible d'accéder facilement à une base de données assez fournie et détaillée pour obtenir un recueil de données sur les taux élémentaires de CO₂ émis pour la production des matériaux. La base de données française Inies est une base de données très claire et fiable mais qui reste encore trop peu fournie. A terme cette base sera très complète et fournira les informations sur les caractéristiques environnementales des différents matériaux, nécessaires à l'aboutissement du calcul.

Travailler autour du thème « construire avec le développement durable » permet de réaliser qu'il existe un compromis « technique économique environnemental et social » possible pour la construction ou même la conception en général. Les techniques pour créer ces bâtiments économes en énergie existent, mais beaucoup ne sont encore qu'expérimentales. Il faudrait passer à une échelle industrielle. Pourquoi une si « prudente » application en industrie ? La réponse doit être cherchée à la fois dans l'offre et dans la demande vis à vis de produits et services plus orientés « développement durable ». Les industriels n'abordent ces sujets que progressivement car aucun avantage compétitif n'est encore en général prouvé pour de tel produits. Les consommateurs sont encore assez peu mobilisés pour cette consommation durable en dehors des crises liées aux aspects sanitaires les plus préoccupants (fièvre aphteuse, ESB...). Espérons que les démarches volontaires des entreprises et particuliers seront d'ampleur suffisante pour emporter l'adhésion de l'ensemble de la société et permettent ce démarrage. Il semblerait tout de même qu'un cadre réglementaire, avec

48 Source : [LIEBARD A., de HERDE A., 2005]

pourquoi pas une notion de pollueur-payeur, donnerait une impulsion non négligeable.

Dans le cadre des engagements internationaux pour limiter les émissions de gaz à effet de serre, l'approche spécifique que représente la notion de bilan CO₂ en phase de construction pourrait sans doute très bien s'intégrer dans un cadre réglementaire. Pourquoi ne pas imaginer une prise en compte des consommations énergétiques dans la taxe d'habitation ? Ou une taxe sur le permis de construire en fonction des émissions des gaz à effet de serre lors de la construction ? Ou encore l'attribution d'une subvention sur la tonne de carbone stockée et la mise en place d'une taxe sur la tonne de carbone émise ?

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

ADEME – *Qualité environnementale des bâtiments* : Manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment – Angers : Ademe, 2002 – 294 pages

BERNSTEIN D., CHAMPETIER J.P, HAMAYON L. – *Traité de construction durable* : Principes détails de construction – Paris : Le Moniteur, 2007 – 814 pages

DIDIER D., Le BRAZIDEC M., NATAF P., THIESSET J. – *Précis de bâtiment* : Conception, mise en œuvre et normalisation – Paris : AFNOR : Nathan, 1991 – 218 pages

GAUZIN-MULLER D., FAVET N., MAES P. – *L'architecture écologique* – Paris : Le Moniteur, 2001 – 287 pages

JOLLIET O., SAADE M., CRETZAZ P – *Analyse du cycle de vie* : Comprendre et réaliser un écobilan – Lausanne : Presses polytechniques et universitaire romandes, 2005 – 242 pages

LIEBARD A., de HERDE A. – *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique* : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable – Paris : Le Moniteur, 2005 – 778 pages

PEUPORTIER B. – *Eco-conception des bâtiments* : Bâtir en préservant l'environnement – Paris : les Presses de l'Ecole de Mines, 2003 – 276 pages

VIGNERON J., PATINGRE J.F. – *Eco-conception* : Concept, méthodes, outils, guides et perspectives – Paris : Economica, 2001 – 205 pages

VISSCHER C., LECUYER P., PICHON C. – *Guide pratique de l'éco-habitat* – Monclar-de-Quercy : Fraysse, 2007 – 895 pages

BATIPRIX : Le bordereau de prix du bâtiment tous corps d'état – Volume n°1 : gros œuvre, second œuvre – Paris : Publications du Moniteur – 2008

REVUES

BARBIER C. – « Habitat et développement durable » – *Les cahiers du Club d'Ingénierie Prospective et Environnement (CLIP)*, n°13, 2001 – pages 7 à 74

DUFRASNES E. – « Vers un habitat durable qualifié comme nouveau standard de construction » – *Environnement & Technique*, n°247, 2007 – pages 25 à 31

RAPPORTS NON EDITES

BEGUIER S. – *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France au titre de la convention cadre des nations Unies sur les changements climatiques* – 403 pages – Rapport d'inventaire national CITEPA – 2007

CHEVALIER J. – *Analyse du cycle de vie des produits : pertinence et utilité des fiches de déclarations environnementales (FDES) pour choisir un mode constructif à faible impact sur l'environnement* – 13 pages – Présentation pour le salon BatiEco – 2008

CITEPA – *Emissions dans l'air en France métropolitaine, Substances relatives à l'accroissement de l'effet de serre* – 24 pages – Rapport CITEPA – 2007

CROS C., TABET J.P. – *Éléments de calcul des émissions de gaz à effet de serre dans les installations énergétiques* – 7 pages – Rapport Ademe – 2000

CURRAN M.A., NOTTEN P. – *Summary of global Life Cycle Inventory data resources* – 34 pages – 2006

FLEURY S. – *Aménagements Urbains et Haute Qualité Environnementale* – 69 pages – Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes – 2005

FRISCHKNECHT R. – *The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework* – 3 pages – 2005

IBPSA – *International Building Performance Simulation Association (IBPSA) France 2004, La simulation au service du bâtiment et de l'environnement* – 167 pages – Compte rendu de la 4^{ème} Conférence IBPSA France à Toulouse les 8 et 9 octobre 2004

LAURENT V. – *Protocole relatif à la structure provisoire de gestion de base de données sur les déclarations environnementales des produits de construction (INIES)* – 6 pages – Rapport de l'Unité AFNOR-Normalisation Département Développement – 2004

NIBEL S., NAGY L., de VALICOURT D. – *Définition explicite de la qualité environnementale, Référentiels des caractéristiques HQE* – 26 pages – Compte rendu du groupe de travail Définition Explicite de la qualité Environnementale de l'Association HQE – 2001

NIEMANN E. – *L'énergie grise dans la filière bâtiment et travaux publics* – 92 pages – Rapport pour la MGC/DRAST

NORRIS G., NOTTEN P. – *Current availability of LCI databases in the world* – Working draft – 2002

PEUPORTIER B. – *La simulation et les nouvelles attentes liées au concept de développement durable* – 9 pages

POLSTER B. – *Contribution à l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par Analyse du Cycle de Vie* – 254 pages – Thèse, 'Ecole des Mines de Paris – 2005

RTE – *Résultats Techniques du Secteur Electrique en France* – 19 pages – Rapport du Réseau de Transport d'Electricité (RTE) – 2008

RTE – *Le contenu en CO2 du kWh électrique : Avantages comparés du contenu marginal et du contenu par usages sur la base de l'historique* – 12 pages – Rapport du Réseau de Transport d'Electricité (RTE) – 2007

SERVEAU L. – Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France, séries sectorielles et analyses étendues – 291 pages – Rapport d'inventaire national CITEPA –2007

TABET J.P., BAILLY B., BOUCHEREAU J.M. – *Les différentes méthodes d'évaluation du contenu Carbone de l'électricité en France* – 4 pages – Rapport de l'Ademe dans le cadre du Plan action climat 2003, Groupe de travail Production d'énergie – 2003

SITES INTERNET

Ademe

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=11433&m=3&cid=96>

AlternConsult, Conseil et Formation pour le Développement Durable

<http://www.alternconsult.fr/site/index.htm>

Association Effinergie

<http://www.effinergie.org/xwiki/bin/view/Main/WebHome>

Association HQE

<http://www.assoHQE.org/>

Base de données Ecoinvent

<http://www.ecoinvent.ch/>

Base de données INIES

<http://www.inies.fr/>

Bâtir sain

<http://batirsain.free.fr/>

Blocalians

<http://www.blocalians.fr/>

Blog de Monsieur Jancovici

<http://www.manicore.com/>

Casbee

<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm>

Conférence Istanbul

[*http://www.un.org/Conferences/habitat/fr-press/3/habist20.htm](http://www.un.org/Conferences/habitat/fr-press/3/habist20.htm)

[*http://www.planetecologie.org/ENCYCLOPEDIA/EnvironQuotidien/9INVESTI/habitat.htm](http://www.planetecologie.org/ENCYCLOPEDIA/EnvironQuotidien/9INVESTI/habitat.htm)

CTBA

http://www.ctba.fr/5_bois_construction/

CSTB

<http://www.cstb.fr/>

Ecobilan

http://www.ecobilan.com/index_fr.html

Effinergie

<http://www.effinergie.org/xwiki/bin/view/Main/WebHome>

Elodie

[*http://www.cstb.fr/actualites/webzine/editions/mai-2007/elodie-pour-mesurer-l-impact-environnemental-des-batiments.html](http://www.cstb.fr/actualites/webzine/editions/mai-2007/elodie-pour-mesurer-l-impact-environnemental-des-batiments.html)

[*http://www.cstb.fr/actualites/webzine/thematiques/batimat/elodie-l-environnement-et-la-sante-au-coeur-du-batiment.html](http://www.cstb.fr/actualites/webzine/thematiques/batimat/elodie-l-environnement-et-la-sante-au-coeur-du-batiment.html)

Equer

<http://www-cep.ensmp.fr/francais/logiciel/indexequer.html>

Escale

http://crisp.cstb.fr/view_rdworks.asp?id_rdworks=11

Fédération Française du Bâtiment

<http://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment.htm>

Fonds de carte

* France

<http://www.mediateur-republique.fr/fr-03-02-10>

* Département des Bouches-du-Rhône (13)

http://pady.free.fr/public/carte_aix/

Grille DCBA

http://www.ec.europa.eu/energy/res/publications/doc2/FR/AMERS_FR.PDF

Izuba

<http://www.izuba.fr/logiciels.htm>

Label Breeam

*<http://batirsain.free.fr/pages/articles/breeam.htm>

*<http://www.breeam.org/>

*<http://www.co.uk/services/ENVEST.html>

Label LEED

<http://www.usgbc.org/>

Label Minergie

<http://www.minergie.fr/>

Label Passivhaus

*<http://www.passiv.de/>

*www.lamaisonpassive.fr

*http://batirsain.free.fr/pages/articles/maison_passive.pdf

Méthode HK-Beam

<http://www.bse.polyu.edu.hk/>

Observatoire de l'énergie

http://www.industrie.gouv.fr/energie/statistiques_stats.htm

Outil d'évaluation

<http://www.ecoquartier.developpement-durable.gouv.fr/09-demarches-labels/09-internationales.htm>

Papoose

<http://www.tributribu.com/Outils.htm>

Profil environnemental du kWh EDF

http://service-public.edf.com/fichiers/fckeditor/File/service%20public/pdf_methode_elaboration_co2_012005.pdf

Puits provençal

<http://www.ma-maison-environnementale.fr/>

Réseau écobâtir

<http://www.reseau-ecobatis.asso.fr/>

Sélection Vosges

<http://www.selection-vosges.com/>

Team

http://www.ecobilan.com/fr_team.php

Union des Maisons Françaises (ex Union Nationale des Constructeurs de Maisons Individuelles)

<http://www.uniondesmaisonsfrancaises.org/>

Autres :

<http://www.mamaisoncertifiee.com/>

http://www.sdec-energie.fr/Construction_locaux.asp

http://www.lalliance.fr/xmedia/atelier_BVP/publicites.html

<http://www.envirobat-med.net/>

<http://www.viamichelin.fr/>

Note : Liens actifs le 01/05/08

ANNEXES

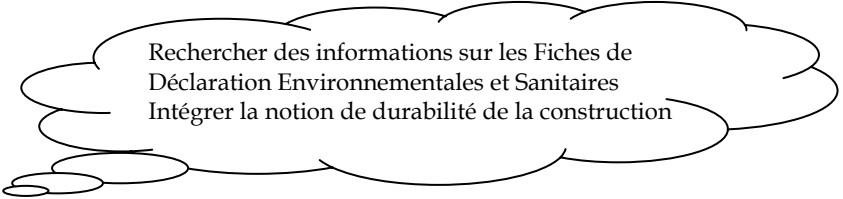
Annexe 1 : Personnes contactées	101
Annexe 2 : Analyse des publicités des blocs béton BLOCALIANS	104
Annexe 3 : Impression du document « base-donnees-tauxCO2.xls »	106
Annexe 4 : Impression du document « MaisonBOIS-calculCO2.xls»	113

PERSONNES CONTACTES

Monsieur Chevalier

Ingénieur environnement au département
Développement Durable du Centre
Scientifique et Technique du Bâtiment

Contact par mail et téléphone

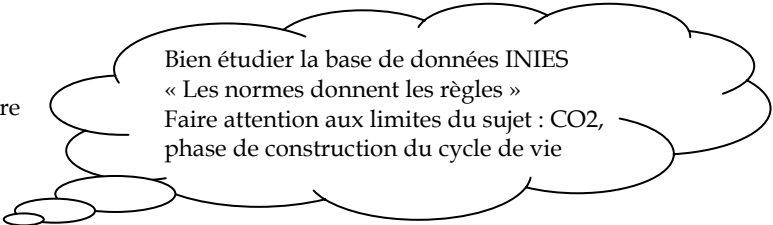


Rechercher des informations sur les Fiches de
Déclaration Environnementales et Sanitaires
Intégrer la notion de durabilité de la construction

Monsieur Decousser

Responsable du Pôle Environnement et Santé du Centre
d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton

Contact par mail et téléphone



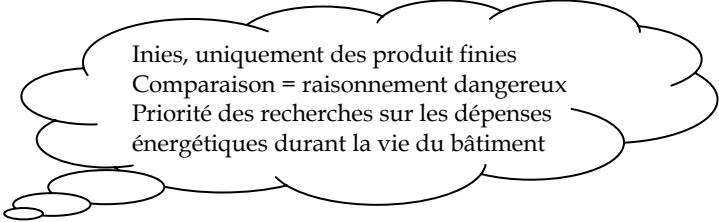
Bien étudier la base de données INIES
« Les normes donnent les règles »
Faire attention aux limites du sujet : CO₂,
phase de construction du cycle de vie

Monsieur Dulbeco

Ingénieur du bois FCBA Institut Technologique (regroupant depuis 2007 le Centre Technique du Bois et de
l'Ameublement (CTBA) et AFOCEL)
Contact par mail et téléphone

Monsieur Duperret

Secrétaire général de l'Union Nationale des Constructeurs de Maisons Individuelle
Contact par mail

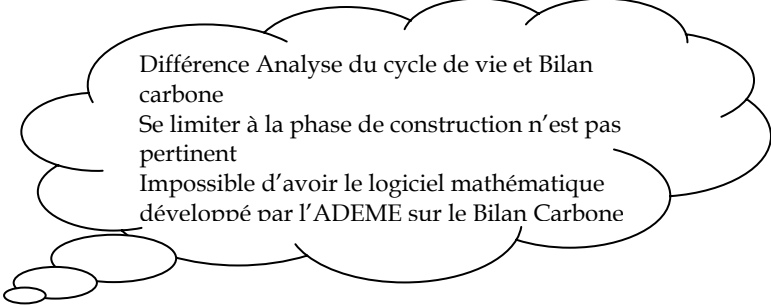


Inies, uniquement des produit finies
Comparaison = raisonnement dangereux
Priorité des recherches sur les dépenses
énergétiques durant la vie du bâtiment

Monsieur Leonardon

Ingénieur au département Bâtiment, Urbanisme et
collectivités à l'ADEME

Contact par téléphone



Différence Analyse du cycle de vie et Bilan
carbone
Se limiter à la phase de construction n'est pas
pertinent
Impossible d'avoir le logiciel mathématique
développé par l'ADEME sur le Bilan Carbone

Monsieur Jancovici

Ingénieur polytechnicien spécialiste en climat, et
consultant auprès de divers organismes publics ou
privés. En 2001, il collabore avec l'ADEME pour
mettre au point le bilan carbone.

Contact par mail

Monsieur Maizia

Chercheurs au Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines et spécialistes d'énergétique urbaine et Enseignant à
l'Université de Technologie de Compiègne
Contact par mail et téléphone

Monsieur Peuportier

Chercheur - enseignant à l'Ecole des Mines de Paris et chargé de recherche au Centre d'Energétique de l'Ecole des
Mines de Paris - Spécialiste de l'analyse énergétique et environnementale sur les bâtiments (Haute Qualité
Environnementale, Analyse du Cycle de Vie)
Contact par mail

Monsieur Roux-Sibilon

Conseiller énergie, projet Eco N'Home de l'Agence
Locale de l'Energie de l'agglomération grenobloise

Contact par mail

Rechercher des données sur la base INIES
Essayer de contacter l'Association « Oïkos »

Monsieur Salomon

Responsable développement de IZUBA énergies

Contact par mail

Uniquement sur la construction ce n'est pas
représentatif
Analyser la totalité des émissions sur tout
le cycle de vie
Logiciel EOUER

Madame Vautier

Responsable centre de ressources du Comité de
Liaison Energies Renouvelables

Contact par mail

Liste de livres et sites Internet à consulter

ORGANISMES CONTACTES

Association technique pour le Développement de l'Emploi du Treillis Soudé (ADETS)

Algéo

CIMBéton

Comité National pour le Développement du Bois (CNDB)

CTBA

Fédération française des tuiles et briques (FFTB)

Fédération de l'industrie du béton (FIB)

Fibre Lorraine

Knauf

Lafarge

Loxam

Mercedes

Placo

Renault

Riva Acier

Sélection Vosges

Sogebois

Syndicat national des fabricants de laines minérales

Syndicat National du béton Prêt à l'Emploi (SNBPE)

Syndicat National des Industries du plâtre

Yves Cougnaud

AUTRES ORGANISMES CONTACTES SANS VERITABLE SUITE...

Agence Locale de l'Energie (ALE) des Ardennes (08)
Agence Locale de l'Energie (ALE) du Pays de Morlaix (29)
Agence Locale de l'Energie (ALE) de Clermont-Ferrand (63)
Agence Locale de l'Energie (ALE) des villes de : Montreuil, Vincennes, Bagnolet et Bondy
Fédération pour les Agences Locales de Maîtrise de l'Energie (FLAME)
Association HESPUL
Association du Comité de Liaison Energies Renouvelables (CLER)
Association Effinergie
Syndicat intercommunal d'énergies et d'équipement du Calvados (50)
Association Haute Qualité Environnementale (HQE) des bâtiments
Collectif Isolons la terre contre le CO2
Annuaire environnement, écologie et nature (<http://www.environnement-annuaire.net/>)
Portail des énergies renouvelables et du développement durable (<http://www.energies-renouvelable.com/>)
Société eco-SAPIENS SARL-SCOP
Association Oïkos
Association Eco Sud
Eco Bâtisseurs
Eco-logis
Association Construction Respectueuse de l'Environnement et Econome en Energie (CR3E)
Association Bâtir sain
Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment (CAPEB)
Organisme de Certification QUALité Maison Individuelle (CEQUAMI)
Association Française des Organismes de Certification des produits de construction (AFOCERT)
Association pour la CERTification des Matériaux Isolants (ACERMI)
Organisme Qualibat de qualification et certification des entreprises du bâtiment en France
Groupe AFNOR de normalisation et certification
Bureau d'Etudes Alternconsult à Montpellier
Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (IDDRI)
Institut Français d'Urbanisme (Université Paris 8)- Thésards
Institut d'Urbanisme de Paris (Université Paris 12) - Enseignants chercheurs
Ecole d'architecture de la ville et des territoires à Marne-la-Vallée (77)
Ecole des Ponts et Chaussées de Paris (ENPC) - Master recherche et service documentation
Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris - Département construction et environnement
Laboratoire de recherche CRATerre - Antenne de l'école supérieure d'architecture de Grenoble
Direction de la Recherche et de l'Animation Scientifique et Technique (DRAST) du ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables
Mission Génie Civil (MGC) du ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables

ANALYSE DES PUBLICITES DES BLOCS BETON BLOCALIANS

Article tiré du site : http://www.lalliance.fr/xmedia/atelier_BVP/publicites.html#pub24

Dans sa campagne TV, radio et presse, le "Blocalians" - regroupement d'industriels du Bloc béton - met en avant les avantages de son produit (le fameux "parpaing"), et les compare à ses concurrents tels que la brique Monomur ou les Ossature-bois, à travers un écobilan consultable sur Internet (<http://www.blocalians.fr/>)

D'une part, **cette campagne contrevient à l'article 2-9 de la recommandation écologiques du BVP** : « *L'allégation ne doit pas induire une fausse supériorité et/ou permettre à un produit de se distinguer abusivement d'autres produits similaires ou possédant des caractéristiques analogues en ce qui concerne leur contribution à la protection de l'environnement* », pour les raisons suivantes :

Les données de l'écobilan de la terre cuite mur doublé et de l'ossature bois + isolation n'apparaissent pas sur le site, sous prétexte que les fiches de données environnementales sont "non publiées par les intéressés". Or, ces données existent chez les fabricants et démontrent l'infériorité du Bloc Béton sur ses concurrents dans plusieurs domaines (cf. ci-dessous).

Le groupement évoque "Les 7 raisons capitales de préférer le Bloc Béton". Or, le Bloc Béton n'est pas supérieur à ses concurrents sur les 7 critères évoqués.

D'autre part, **la campagne bafoue l'article 2-1 de la même recommandation** : (*"La publicité doit proscrire toute déclaration de nature à tromper directement ou indirectement les consommateurs sur la réalité des avantages ou propriétés écologiques des produits ainsi que sur la réalité des actions que l'annonceur conduit en faveur de l'environnement"*) en affirmant que le Bloc Béton ne nécessite "ni cuisson ni traitement". En effet, le Bloc Béton est fait à partir de ciment, qui nécessite un traitement industriel lourd (fours à cimenterie à 1800 ° C) et polluant (l'industrie cimentière est à l'origine de 5% des émissions mondiales de gaz à effet de serre : source Rapport Développement Durable de Lafarge).



Retranscription du message publicitaire :

« Chef-d'oeuvre de confort, de solidité et d'investivité, fabriqué chaque année partout en France à plus d'un milliard d'exemplaires, champion du respect de l'environnement, star des économies d'énergie... Ce Bloc Béton méritait bien d'être photographié par le studio Harcourt. Découvrez les talents indéniables de cette authentique vedette sur www.blocalians.fr »



Retranscription du message publicitaire :

« Bloc Béton 100% naturel, 100% recyclable. Le bloc béton a beau être gris, c'est bien le plus vert des matériaux ! Sa fabrication nécessite très peu d'énergie (pas de cuisson, séchage naturel), et 400 sites de production répartis sur toute la France c'est peu de transport, donc moins de carburants consommés. Sa mise en œuvre est simple et il ne nécessite aucun entretien. Composé de matières premières 100% naturelles : 87% de gravier et de sable, 7% de ciment (argile et calcaire) et 6% d'eau, le bloc béton est 100% recyclable. Bref, un écobilan très enviable ! retrouvez toutes les preuves des avantages du bloc béton et les engagements des adhérents Blocalians sur , www.blocalians.fr »

Confort thermique : dans sa comparaison aux autres solutions, Blocalians prend le cas d'un mur en bloc béton doublé d'un isolant. Le matériau béton n'ayant aucune qualité thermique, il est effectivement nécessaire de faire appel à une isolation rapportée. La brique monomur, elle, ne demande aucune isolation complémentaire, ce qui rend son impact environnemental global plus intéressant.

Confort acoustique : un mur de parpaing nu produit une acoustique réverbérante, contrairement à l'ossature-bois. Pour bénéficier d'un confort acoustique, le Bloc Béton doit être associé à un isolant "mou" (laine de verre par exemple).

Qualité de l'air intérieur : les seuls critères évoqués sont les COV et les moisissures, qui ne constituent qu'une infime partie de la pollution intérieure, et pour lesquels les produits concurrents font jeu égal avec le Bloc Béton.

Le confort hygrothermique : le fait que le béton soit imperméable à l'humidité amène de la condensation et des moisissures dans des maisons insuffisamment ventilées. Les matériaux "respirants" comme la terre crue, la terre cuite et le bois sont à ce niveau plus performants car ils laissent passer la vapeur de l'intérieur vers l'extérieur de la maison tout en étant imperméable à l'eau liquide à l'extérieur.

Les ressources naturelles : les ressources utilisées pour fabriquer un bloc (granulat, sable,...) peuvent effectivement être considérées comme naturelles, mais leur traitement, lui, ne l'est pas : extraction, concassage, séchage, pré-chauffage à 800°C, pré-calcinage entre 800 et 1000°C, parfois alimenté par des pneus usagés, production du clinker à 1450°C, chauffage à 1800°C, etc... Les voisins de carrières ou de cimenteries peuvent en témoigner ! Par ailleurs, contrairement au bois, les ressources nécessaires à la fabrication de béton ne sont pas renouvelables, comme le montrent les efforts des industriels pour aller chercher toujours plus loin des matériaux (prospection en roche dure, en mer,...).

Entretien et maintenance : le bloc béton n'est pas spécialement plus simple à entretenir que les autres matériaux. Quand au caractère incombustible, les autres matériaux font jeu égal, y compris le bois, qui ne présente pas plus de risque d'incendie qu'une autre construction, et dont la combustion lente en cas d'incendie dégage moins de produits toxiques et permet d'évacuer les occupants en toute sécurité sans risque d'effondrement.

Qualité du recyclage : les autres matériaux sont aussi recyclables que le Bloc Béton. Et recyclable ne veut pas dire recyclé : peu de fabricants assurent effectivement ce recyclage (Lafarge par exemple annonce 9,8 % seulement de matières premières recyclées dans sa branche Ciment).

IMPRESSION DU DOCUMENT EXCEL « BASE-DONNEES-TAUXCO2.XLS »

TAUX ELEMENTAIRES CO2

FOURNITURES :

MATERIAUX :

RMQ : les valeurs saisies dans les cases fond vert ne sont pas issues directement d'une base de données et font donc l'objet d'approximations

Sablon

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
m3	Sablon entrepôt-fournisseur	Interpolation Ecoinvent / guide pratique éco habitat		13,00
			f5	13,00

Béton X0 C 12/15

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
m3	Béton départ centrale BPE Déchargement du camion toupie en H/m3	Ecoinvent 0,25	f101	255,00 2,65
			f6	257,65

Profilé UAP 200 galvanisé

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
kg	Profilé métallique galvanisé départ usine Transport usine-entrepôt	Interpolation Ecoinvent / guide pratique éco habitat cf hypothèses ci-contre	af105	2,70 0,06
			f7	2,76

Hypothèses transport usine-entrepôt :
distance usine dépôt en km = 400
taux de remplissage du camion en % = 50
(50 % = aller charge à plein et retour à vide)

Boulons et entretoises

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
kg	Boulons et entretoises départ usine Transport usine-entrepôt	Interpolation Ecoinvent / guide pratique éco habitat cf hypothèses ci-contre	af104	2,98 0,09
			f8	3,07

Hypothèses transport usine-entrepôt :
distance usine dépôt en km = 400
taux de remplissage du camion en % = 40
(50 % = aller charge à plein et retour à vide)

Béton X2 C 20/25

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
m3	Béton départ centrale BPE Déchargement du camion toupie en H/m3	Ecoinvent 0,25	f101	260,00 2,65
			f9	262,65

Armatures HA 15x50

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
kg	Acier à béton départ usine Transport usine-usine montage-entrepôt Façonnage des aciers en usine montage	Ecoinvent cf hypothèses ci-contre Estimation Ecoinvent / guide calcul ACV	af105	1,26 0,09 0,48
			f11	1,83

Hypothèses transport usine-entrepôt :
distance usine dépôt en km = 400
taux de remplissage du camion en % = 35
(50 % = aller charge à plein et retour à vide)

Armatures treillis soudés ST10

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
kg	Acier à béton départ usine Transport usine-usine montage-entrepôt Façonnage des aciers en usine montage	Ecoinvent cf hypothèses ci-contre Estimation Ecoinvent / guide calcul ACV	af105	1,26 0,09 0,44
			f14	1,79

Hypothèses transport usine-entrepôt :
distance usine dépôt en km = 400
taux de remplissage du camion en % = 35
(50 % = aller charge à plein et retour à vide)

Bois brut épïcéa autoclave classe 3

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
m3	Bois départ usine Transport direct usine-chantier	Estimation / Ecoinvent cf variables chantier		170,00
			f15	170,00

Clous acier

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
kg	Clous acier départ usine Transport usine-entrepôt	Interpolation Ecoinvent / guide pratique éco habitat cf hypothèses ci-contre	af104	2,80 0,09
			f19	2,89

Hypothèses transport usine-entrepôt :
distance usine dépôt en km = 400
taux de remplissage du camion en % = 40
(50 % = aller charge à plein et retour à vide)

Bois raboté épicea traité fongicide

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
m3	Bis départ usine Transport direct usine-chantier	Estimation / Ecoinvent cf variables chantier		182,00
			f20	182,00

Liteau sapin 27 x 27

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
m3	Bois départ scierie Transport scierie-entrepôt	Interpolation Ecoinvent / guide pratique éco habitat cf hypothèses ci-contre	af105	0,80 0,08
			f21	0,88

Hypothèses transport usine-entrepôt :
distance usine dépôt en km = 300
taux de remplissage du camion en % = 30
(50 % = aller charge à plein et retour à vide)

Tuile terre cuite

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
m2	Production des tuiles usine Transport usine-entrepôt	Fiche FDES FFTB Fiche FDES FFTB		0,78 0,99
			f22	1,76

Colle polyuréthane

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
kg	???			
			f23	0,00

Acessoires

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
???				
			f26	0,00

Laine minérale 220 mm

u	Désignation	Données ou Source des données		Taux d'émission de CO2 élémentaire (Kg/u)
1	2	3	4	5 ou 3 x 4
m2	Production laine minérale 220 mm Transport usine-entrepôt	Fiche FDES Isover IBR contact 220 Fiche FDES Isover IBR contact 220		0,55 2,51
			f25	3,06

TAUX ELEMENTAIRES CO2

FOURNITURES :

MATERIELS :

NOTA :
Pour les matériels, deux taux d'émission de CO2 seront calculés :
afi : le taux d'émission du matériel dans un fonctionnement autre que sa fonction principale (phase montage, phase démontage, phase approvisionnement...)
fi : le taux d'émission du matériel dans son fonctionnement lié à la mise en œuvre des ouvrages élémentaires sur chantier.

HYPOTHESES : les variables à saisir sont en bleu

émissions de CO2 liées à la production d'électricité en France =	0,75	kgCO2/kWh
émissions de CO2 liées à la combustion de gasoil par un moteur diesel =	2,65	kgCO2/L

Tractopelle 100 cv



f1	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	30,00
	consommation en travail	l/h	15,00

émissions de CO2		
af1	0,795	kgCO2/km
f1	39,750	kgCO2/h

Tarière mécanique montée sur pelle hydraulique 63 cv



Données et calculs identiques à la pelle mécanique seule :
Le montage de la tarrière n'induit pas de surconsommation.
f2 = f3

émissions de CO2		
af2	0,398	kgCO2/km
f2	21,200	kgCO2/h

Pelle hydraulique 63 cv



f3	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	15,00
	consommation en travail	l/h	8,00

émissions de CO2		
af3	0,398	kgCO2/km
f3	21,200	kgCO2/h

Rouleau vibrant 65 cm



f4	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route (1)	l / 100 km	0,00
	consommation en travail	l/h	8,00

émissions de CO2		
af4	0,000	kgCO2/km
f4	21,200	kgCO2/h

(1) transport sur remorque

Pilonneuse 70/89 kg



f12	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route (1)	l / 100 km	0,00
	consommation en travail	l/h	1,00

émissions de CO2		
af12	0,000	kgCO2/km
f12	2,650	kgCO2/h

(1) transport sur remorque

Chariot élévateur télescopique



f24	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	16,00
	consommation en travail	l/h	7,00

émissions de CO2		
af24	0,424	kgCO2/km
f24	18,550	kgCO2/h

Cloueur à gaz



f16	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	0,00
	consommation en travail	kW/h	0,10

émissions de CO2		
af16	0,000	kgCO2/km
f16	0,265	kgCO2/h

Scie circulaire portative 1200 W



f17	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	0,00
	consommation en travail	kW/h	1,20

émissions de CO2		
af17	0,000	kgCO2/km
f17	3,180	kgCO2/h

Tronçonneuse thermique



f18	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	0,00
	consommation en travail	l/h	1,00

émissions de CO2		
af18	0,000	kgCO2/km
f18	2,650	kgCO2/h

Majoration pour tapis roulant sur camion toupie



f10	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	28,00
	consommation en travail	l/h	5,00

émissions de CO2		
af10	0,742	kgCO2/km
f10	13,250	kgCO2/h

Majoration pour pompe à béton



f13	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	33,00
	consommation en travail	l/h	8,00

émissions de CO2		
af13	0,875	kgCO2/km
f13	21,200	kgCO2/h

Camion toupie 6 m3



f101	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	28,00
	consommation en travail	l/h	4,00

émissions de CO2		
af101	0,742	kgCO2/km
f101	10,600	kgCO2/h

Camion 3,5T

f102	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	15,00
	consommation en travail	l/h	

émissions de CO2		
af102	0,398	kgCO2/km
f102		kgCO2/h

Camion 10T 4x4

f103	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	21,00
	consommation en travail	l/h	

émissions de CO2		
af103	0,557	kgCO2/km
f103		kgCO2/h

Camion 16 T 6x4

f104	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	27,00
	consommation en travail	l/h	

émissions de CO2		
af104	0,716	kgCO2/km
f104		kgCO2/h

Camion semi remorque 26T

f105	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	37,00
	consommation en travail	l/h	

émissions de CO2		
af105	0,981	kgCO2/km
f105		kgCO2/h

Voiture individuelle citadine diesel

f106	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	6,00
	consommation en travail	l/h	

émissions de CO2		
af106	0,159	kgCO2/km
f106		kgCO2/h

Voiture individuelle familiale diesel

f107	Données		
	désignations	U	Valeurs
	consommation sur route	l / 100 km	9,00
	consommation en travail	l/h	

émissions de CO2		
af107	0,239	kgCO2/km
f107		kgCO2/h

TAUX ELEMENTAIRES CO2

MAIN D'ŒUVRE

	Distance domicile chantier (km)	Type de véhicule	Taux émission CO2 kilométrique (kgCO2/km)	Taux émission CO2 journalier (kgCO2/J)	
Chauffeur	19,00	citadine diesel	0,16	o1	6,042
Ouvrier type 2	2,00	familiale diesel	0,24	o2	0,954
Ouvrier type 3	11,00	familiale diesel	0,24	o6	5,247
Ouvrier type 4	8,00	citadine diesel	0,16	o7	2,544
Ouvrier type 5	6,00	citadine diesel	0,16	o8	1,908

Equipe 2 ouvriers	o3	6,201
Equipe 3 ouvriers	o4	8,109
Equipe 4 ouvriers	o5	10,653

IMPRESSION DU DOCUMENT EXCEL « MAISONBOIS-CALCULCO2.XLS»

VILLA BOIS ET TERRE

Désignation descriptive des ouvrages élémentaires	U	Quantité	Taux de CO2 /Unité d'ouvrage élémentaire (kgCO2/U)		Emission de CO2 (kgCO2)
1	2	3	Ti	4	3 x 4 = 5
TERRASSEMENT GENERAL					
Plateforme mise au niveau -0,50 du sol fini	m3	75,000	T1	0,601	45,100
Fouilles en puits diam 600 mm	m3	6,330	T2	8,832	55,909
Touvenant compacté ép. 30 cm	m3	67,000	T3	14,237	953,861
					1054,870
FONDATION					
Coulage des puits de fondation gros béton dosage 250 kg	m3	6,400	F1	284,389	1820,087
Cadre métallique réalisé en UAP 200 boulonnés compris équerres d'assemblage 150/90	ml	155,000	F2	83,504	12943,122
Coulage des longrines béton armé 350 kg entre UAP + armature métallique 15 x 50	m3	8,200	F3	351,308	2880,725
					17643,934
DALLAGE					
Sable pour réglage ép. 3cm	m2	27,000	D1	0,515	13,895
Dallage béton armé 12 cm finition talochée avec treillis	m2	144,000	D2	40,631	5850,932
Dalle pour plancher chauffant ép. 5 finition pour recevoir un	m2	144,000	D3	19,490	2806,556
					8671,383
OSSATURE ET BARDAGE					
Pose Ferme de structure	U	10,000	OB1	261,366	2613,658
Pose Pignons	U	4,000	OB2	179,117	716,468
Pose Bardage extérieur et intérieur	m2	449,000	OB3	5,711	2564,378
Pose voligeage toiture	m2	190,000	OB4	5,703	1083,608
Pose Platelage sous face toiture	m2	144,000	OB5	200,795	28914,493
Pose cloison / ossature et bardage	m2	74,000	OB6	11,566	855,867
					36748,472
COUVERTURE ET ISOLATION					
Pose d'un litelage et contre litelage 27*27 m	m2	137,000	CI1	0,249	34,139
Fourniture et pose de tuiles type DCL avec système bas de pente compris tuiles a douilles et rives d'équerres	m2	137,000	CI2	3,201	438,503
isolation laine minérale 220 mm	m2	137,000	CI3	3,733	511,361
					984,003
Emissions chantier = Toe =					65102,662
Emissions variables chantier = Tvc =					3134,049
Emissions totales de CO2 de la phase construction = Tfinal =					68 237 kgCO2

Émissions chantier

HYPOTHESES : les variables à saisir sont en bleu

distance aller retour / fournisseur matériaux =	d1	13,00	Km
distance aller retour / centrale à béton =	d2	32,00	Km
distance aller retour / entrepôt des matériels =	d3	72,00	Km
distance aller retour / fournisseur bois =	d4	1392,00	Km

Aménagements de chantier :

Désignation	Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 (kgCO2/U)
	Unité U	Quantité	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/km)	Référence distance (km)	
1	2	3	4	5	3 x 4 x 5 = 6
Abri de chantier sur roues (réfectoire, vestiaire,	U	1,000	af102	d3	0,000
transport Abri de chantier sur roues	U	1,000			28,620
					0,000
					0,000
					0,000
				Vc0	28.620

Terrassement :

Désignation	Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 (kgCO2/U)
	Unité U	Quantité	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/km)	Référence distance (km)	
1	2	3	4	5	3 x 4 x 5 = 6
Livraison sablon 7 m3 = camion 16 T	U	1,000	af104	d1	9,302
Tractopelle 100 cv	U	1,000	af1	d3	57,240
Tarière mécanique 63 cv	U	0,000	af106	d3	0,000
Pelle mécanique 63 cv	U	1,000	af3	d3	28,620
Rouleau vibrant 1,4 T sur camion 3,5 T	U	1,000	af102	d3	28,620
Vc1					123,782

Fondation :

Désignation	Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 (kgCO2/U)
	Unité U	Quantité	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/km)	Référence distance (km)	
1	2	3	4	5	3 x 4 x 5 = 6
Livraison béton pour puits	U	1,000	af101	d2	23,744
Livraison béton pour longrine	U	2,000	af10	d2	47,488
Livraison profilés métal camion 16 T	U	1,000	af104	d1	9,302
Livraison HA camion 10T	U	1,000	af103	d1	7,235
				Vc2	87.76%

dallage :

Désignation	Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 (kgCO2/U)
	Unité U	Quantité	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/km)	Référence distance (km)	
1	2	3	4	5	3 x 4 x 5 = 6

Livraison du sablon en même temps que pour le lot terrassement

Livraison béton pour dallage U 3,000 af13 d2 83,952

Livraison béton pour chape U 1,000 af13 d2 27,984

Livraison treillis soudés en même temps que HA longrines

Vc3 111,936

ossature bardage :

Désignation	Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 (kgCO2/U)
	Unité U	Quantité	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/km)	Référence distance (km)	
1	2	3	4	5	3 x 4 x 5 = 6

Cloueur U 0,000 0,000

Bois brut épicéa autoclave classe 3 U 1,000 af105 d4 1364,856

Bois raboté épicéa traité fongicide U 1,000 af105 d4 1364,856

Scie circulaire U 0,000 0,000

Tronçonneuse thermique U 0,000 0,000

Vc4 2729,712

Couverture isolation :

Désignation	Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 (kgCO2/U)
	Unité U	Quantité	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/km)	Référence distance (km)	
1	2	3	4	5	3 x 4 x 5 = 6

Cloueur U 0,000 0,000

Livraison liteaux camion 3,5 T U 1,000 af102 d1 5,168

Livraison tuiles camion 16 T U 1,000 af104 d1 9,302

Livraison laine minérale camion 10 T U 1,000 af103 d1 7,235

Chariot élévateur télescopique U 1,000 af24 d3 30,528

Vc5 52,232

Émissions variables chantier = TVC =					3134
--------------------------------------	--	--	--	--	------

T3 14,237

U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10
m3	Béton X2 C 20/25				m3	1,100	f9	288,915	288,915
	Majoration pour tapis roulant				m3	1,100	f10	14,575	14,575
	Armatures HA 15x50				kg	25,760	f11	47,043	47,043
	Equipe 2 ouvriers	0,125	o3	0,775					0,775
							F3 =	351,308	

DALLAGE

Hypothèses :

Sous détail 1 :

Remblaiement en fond de fouille en sablon épaisseur 3 cm exécuté manuellement et compacté. Matériaux en dépôt sur rive de fouille.

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = m2

U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10
m2	Pilonneuse 70/89 kg				J	0,019	f12	0,050	0,050
	Sablon				m3	0,033	f5	0,429	0,429
	Ouvrier type 2	0,037	02	0,035					0,035

D1 = 0,515

Sous détail 2 :

Béton prêt à l'emploi pour dallage épaisseur 12 cm. Mise en œuvre par pompage. Béton BPS (béton à propriétés spécifiées) X2 C 20/25 conforme à la norme NF EN 206-1. Compris armatures par treillis soudés ST11

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = m²

U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10
m2	Béton X2 C 20/25				m3	0,130	f9	34,145	34,145
	Majoration pour pompage BPS				m3	0,130	f13	2,756	2,756
	Armatures treillis soudés ST10				kg	2,057	f14	3,674	3,674
	Equipe 3 ouvriers	0,007	04	0,057					0,057

D2 = 40,631

Sous détail 3 :

Béton prêt à l'emploi pour dallage épaisseur 5 cm. Mise en œuvre manuelle sortie goulotte. Béton BPS (béton à propriétés spécifiées) X2 C 20/25 conforme à la norme NF EN 206-1. Compris armatures par treillis soudés ST11

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = m²

U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10
m2	Béton X2 C 20/25				m3	0,060		15,759	15,759
	Armatures treillis soudés ST10				kg	2,057		3,674	3,674
	Equipe 3 ouvriers	0,007		0,057					0,057

D3 = 19,490

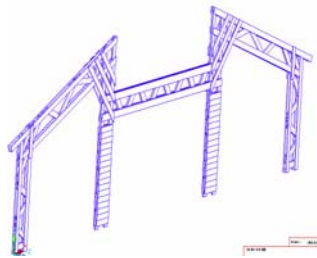
OSSATURE BARDAGE

Hypothèses :

Sous détail 1 :

Ferme de structure en bois type épicéa avec traitement autoclave classe 3. Réalisation sur place par sciage, boulonnage et clouage. Manutention manuelle.

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = U



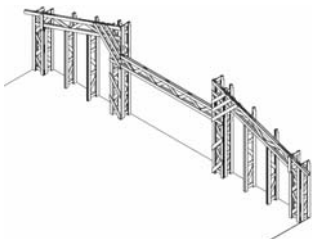
U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10
U	Bois brut épicéa autoclave classe 3				m3	1,200	f15	204,000	204,000
	Cloueur à gaz				h	8,000	f16	2,120	2,120
	Scie circulaire portative 1,2 KW				h	8,000	f17	25,440	25,440
	Tronçonneuse thermique 1,7 KW				h	2,000	f18	5,300	5,300
	Clous acier				kg	1,200	f19	3,467	3,467
	Boulons				kg	3,800	f8	11,664	11,664
	Equipe 4 ouvriers	0,880	05	9,375					9,375

OB1 = 261,366

Sous détail 2 :

Ferme de structure pignon en bois type épicéa avec traitement autoclave classe 3. Réalisation sur place par sciage, boulonnage et clouage. Manutention manuelle.

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = U



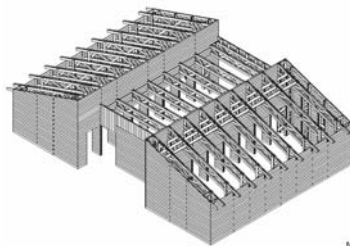
U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10
U	Bois brut épicéa autoclave classe 3				m3	0,750	f15	127,500	127,500
	Cloueur à gaz				h	7,200	f16	1,908	1,908
	Scie circulaire portative 1,2 KW				h	7,200	f17	22,896	22,896
	Tronçonneuse thermique 1,7 KW				h	1,800	f18	4,770	4,770
	Clous acier				kg	1,100	f19	3,178	3,178
	Boulons				kg	3,300	f8	10,129	10,129
	Equipe 4 ouvriers	0,820	05	8,735					8,735

OB2 = 179,117

Sous détail 3 :

Bardage en bois type épicéa avec traitement autoclave classe 3. Réalisation sur place par sciage et clouage en pose croisée. Manutention manuelle.

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = m2



N°8

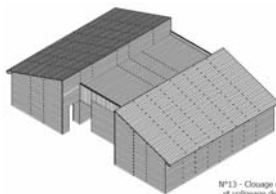
U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10
m2	Bois brut épicéa autoclave classe 3				m3	0,030	f15	5,100	5,100
	Cloueur à gaz				h	0,111	f16	0,029	0,029
	Scie circulaire portative 1,2 KW				h	0,051	f17	0,162	0,162
	Clous acier				kg	0,120	f19	0,347	0,347
	Equipe 3 ouvriers	0,009	04	0,073					0,073

OB3 = 5,711

Sous détail 4 :

Voligeage sous face toiture en bois type épicéa avec traitement autoclave classe 3. Réalisation sur place par sciage et clouage. Manutention manuelle.

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = m2



N°13 - Clouage du platelage et voligeage des toitures. Puis mise en place de l'isolant (pour toitures en tuiles) et de l'étanchéité (pour toitures en terrasse).

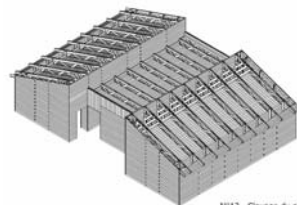
U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10
m2	Bois brut épicéa autoclave classe 3				m3	0,030	f15	5,100	5,100
	Cloueur à gaz				h	0,111	f16	0,029	0,029
	Scie circulaire portative 1,2 KW				h	0,051	f17	0,162	0,162
	Clous acier				kg	0,120	f19	0,347	0,347
	Equipe 3 ouvriers	0,008	04	0,065					0,065

OB4 = 5,703

Sous détail 5 :

Platelage sous toiture en bois type épicéa avec traitement fongicide. Réalisation sur place par rabotage, sciage et clouage. Manutention manuelle.

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = m2



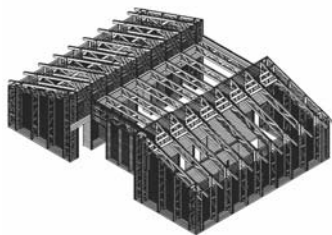
N°12 - Clouage du platelage des plafonds intérieurs. Puis mise en place de l'isolant, en rouleau de laine ou de roche.

U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10
m2	Bois raboté épicéa traité fongicide				m2	1,100	f20	200,200	200,200
	Cloueur à gaz				h	0,111	f16	0,029	0,029
	Scie circulaire portative 1,2 KW				h	0,051	f17	0,162	0,162
	Clous acier				kg	0,120	f19	0,347	0,347
	Equipe 3 ouvriers	0,007	04	0,057					0,057

OB5 = 200,795

Cloisons / ossature et bardage en planches en bois type épicéa avec traitement autoclave classe 3. Réalisation sur place par sciage et clouage. Manutention manuelle.

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = m2



OB6 = 11,566

COUVERTURE ISOLATION

Hypothèses :

Sous détail 1 :

Litage et contre litage 27*27, en sapin traité, pose manuelle par clouage compris coupes et calage éventuels.

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = m²

U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3,000	4	3 x 4 = 5	6	7,000	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10

m2	Liteau sapin 27 * 27	m3	0,004	f21	0,004	0,004
	Cloueur à gaz	h	0,010	f16	0,003	0,003
	Clous acier	kg	0,068	f19	0,198	0,198
	Equipe 2 ouvriers		0,007	o3		0,045

CI1 = 0,249

Sous détail 2 :

Fourniture et pose de tuiles terre cuite Mise en place manuelle par collage

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = m2

U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10

m2	Tuile terre cuite	m2	1,020	f22	1,798	1,798
	Colle	kg	0,250	f23	0,000	0,000
	Chariot élévateur télescopique	h	0,066	f24	1,224	1,224
	Accessoires	????	0,000	f26	0,000	0,000
	Equipe 3 ouvriers	0,022	0,178			0,178

CI2 = 3,201

Sous détail 3 :

Isolation sous toiture en laine minérale 220mm posée entre fermes

Unité d'œuvre retenue pour le calcul de l'ouvrage = m2

U	Désignation	Main d'œuvre			Fournitures (matériels/matériaux)				Taux de CO2 /Unité d'ouvrage (kgCO2/U)
		Temps unitaire (J/U)	Taux CO2 unitaire (kgCO2/J)	Taux CO2 (kgCO2/U)	Unité élémentaire u	Quantité élémentaire (u/U)	Taux Co2 élémentaire (kgCO2/u)	Taux Co2 (kgCO2/U)	
1	2	3	4	3 x 4 = 5	6	7	8	7 x 8 = 9	5 + 9 = 10

m2	Laine minérale 220 mm		m2	1,100	f25	3,361	3,361
	Equipe 2 ouvriers	0,060	0,372				0,372

C13 = 3,733

CITERES

UMR 6173

*Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés*

*Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement*



Département Aménagement
35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

**Directrice de recherche :
Madame HERNANDEZ**

**DHERBECOURT-MEURICE Astrid
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2007-2008**

Ce travail de réflexion sur l'évaluation possible ou non des émissions de CO₂ engendrées par la construction d'une maison individuelle, est basé sur la création d'un outil de calcul.

L'outil développé permet de considérer successivement les émissions de CO₂ des trois composantes (matériaux, matériel, main d'œuvre) de chaque ouvrage élémentaire. Cette décomposition des phases d'exécution en ouvrages élémentaires permet d'établir de façon exhaustive la liste des postes d'émissions. Une base de données, directement liée à l'étude de cas, est associée. Elle regroupe les hypothèses initiales liées aux variables de chantier (aménagements de chantier et distances au chantier) et les taux élémentaires d'émissions de CO₂ des matériaux, matériels, main d'œuvre.

La première partie est consacrée au lien entre le secteur de la construction et les émissions de CO₂. Puis, la deuxième partie développe le choix et l'organisation des recherches. Enfin, la troisième partie est une mise en application concrète de l'outil de calcul élaboré, couplée à la création de la base de données associée. Cette mise en situation permet d'aborder les questions de la disponibilité, la qualité et la cohérence des données.

L'intérêt de la question de recherche se situe dans une réflexion sur la valeur et la crédibilité du résultat obtenu. Etant donné la qualité des données et donc l'incertitude (par ailleurs incalculable) du résultat final, l'hypothèse initiale est vérifiée : le manque de données disponibles est le frein à cette évaluation des émissions de CO₂ lors de la construction d'une maison individuelle donnée.

Cette étude s'adresse aux architectes, aux professionnels du bâtiment (maîtres d'ouvrages essentiellement) et à toute personne intéressée par la qualité environnementale de nos lieux de vie.

Outil de calcul - Emissions de CO₂ - Phase de construction
Maison individuelle - Bouches-du-Rhône (13)