

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2019

Méthode de standardisation d'une approche simplifiée bilan carbone pour un projet urbain au stade de l'étude d'impact



Source : Site bilan GES - ADEME

Sous la direction de :

M. Jean Philippe BARROIS (tuteur entreprise EGIS)

M. Kamal SERRHINI (tuteur Polytech DAE)

Victoria DEMETTRE

**Méthode de standardisation d'une
approche simplifiée bilan carbone d'un
projet urbain au stade de l'étude
d'impact :
conception d'une méthode simplifiée de
comptabilité carbone (bilan carbone) pour la filiale
Egis Structures et Environnement**

**Directeurs de recherche : M. Jean Philippe BARROIS (tuteur
entreprise EGIS) et M. Kamal SERRHINI (tuteur Polytech DAE)**

Victoria DEMETTRE

2019

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.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, 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 de 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 et de l'environnement 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 Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 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 toute ou 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.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mes deux tuteurs professionnels, à savoir M. Jean-Philippe BARROIS, directeur du département Environnement du groupe EGIS, et Mme Valérie ROBINET, chef de projet du département Environnement du site de Nantes. Ils m'ont permis de m'orienter correctement dans l'élaboration d'une méthodologie et d'un outil bilan carbone et de me débloquer de certaines situations.

Je tiens également à remercier toute l'équipe de Nantes de m'avoir soutenu au long de ce rapport.

Je tiens ensuite à remercier M. Kamal SERRHINI, enseignant chercheur à Polytech Tours, de m'avoir suivi et aidé sur ce sujet. Merci également de m'avoir éclairé sur l'outil BC ® de l'ADEME et sur la partie recherches de ce rapport.

SOMMAIRE

Introduction	11
Enjeux actuels face au changement climatique	13
Les enjeux climatiques : une réalité à appréhender	13
Face à ces enjeux : des politiques multiscalaires	13
La comptabilité carbone : qu'est-ce que c'est ?.....	14
L'outil BC ® de l'ADEME : un outil de comptabilité carbone	15
L'outil BC ® de l'ADEME : un outil adapté pour les projets d'aménagement ?	15
Fonctionnement de l'outil BC ® de l'ADEME	16
Fonctionnement théorique de l'outil BC ®	16
Un exemple d'application appliqué aux entreprises : l'entreprise FerMa.....	18
Conclusion et prise de recul sur l'exemple d'application	22
Etat de l'art théorique et pratique	24
Comment s'approprier un outil de gestion ?	24
Comment s'approprier un outil de comptabilité carbone ?.....	25
Des retours d'expérience BC : les premières limites de l'outil BC ®	25
Des outils de comptabilité carbone développés en interne par de grands groupes d'aménageurs, en France et à l'étranger.....	26
Limites de l'outil BC ® pour un projet urbain et premières préconisations.....	29
Parcours du dossier du projet.....	29
Mise en application du BC du projet	29
Des préconisations formulées pour chaque limite relevée lors de l'exemple d'application.....	32
Des éléments de difficultés supplémentaires relevés par la filiale Egis Structures et Environnement	33
Un outil BC adapté aux projets d'aménagement.....	34
La méthodologie de l'outil BC adapté aux projets d'aménagement.....	34
L'objectif et le principe de fonctionnement de l'outil BC adapté aux projets d'aménagement.....	34
La définition des catégories d'aménagement de l'outil BC adapté aux projets d'aménagement.....	34
L'outil BC adapté aux projets d'aménagement : une combinaison entre l'outil GES OpAm et l'outil BC de l'AFD	35
La détermination des postes d'émissions destinés à l'élaboration de l'outil BC adapté aux projets d'aménagement.....	35
L'élaboration du document de recueil de données à envoyer au client	38
L'outil BC adapté aux projets d'aménagement : explication du fonctionnement pour une ZAC.....	41
Conclusion.....	46
Bibliographie.....	47
Annexes.....	49

Annexe 1 : Visuel de l'exercice d'application FerMa à partir de l'onglet Intrants et Futurs Emballages	49
Annexe 2 : Outils et méthodes de comptabilité carbone développés en interne.....	51
Annexe 3 : Données utilisables ou non du projet PEM d'Auray pour la réalisation d'un BC	63
Annexe 4 : Les différentes catégories d'aménagement définies pour l'outil BC adapté aux projets d'aménagement.....	66
Annexe 5 : FE de la phase construction des bâtiments.....	68
Annexe 6 : FE de la phase exploitation des bâtiments de type logements	70
Annexe 7 : FE de la phase construction de la voirie.....	70
Annexe 8 : FE de la phase construction des réseaux	70

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Schéma simplifié des engagements politiques de la France à l'échelle internationale, européenne et nationale	14
Figure 2 : Onglet descriptif de l'outil BC (r) version 8	17
Figure 3 : Onglets de l'outil BC (r) version 8	18
Figure 4 : Exercice FerMa - Comptabilisation directe des combustibles (version 8)	19
Figure 5 : Exercice FerMa - Achats d'électricité (version 8)	19
Figure 6 : Exercice FerMa - Résultat de l'onglet Energie (version 8)	19
Figure 7 : Exercice FerMa - Emissions d'halocarbures de Kyoto (version 8)	20
Figure 8 : Trafic des différentes catégories de voies routières (source : Base Carbone de l'ADEME).....	30
Figure 9 : FE de la construction de routes en fonction du type de voie (source : Base Carbone de l'ADEME)	31
Figure 10 : PEM Auray - Onglet Intrants - Matériaux de construction – Solution 1 (version 8)	31
Figure 11 : PEM Auray - Onglet Intrants - Matériaux de construction - Solution 2 (version 8)	32
Figure 12 : Onglet "Informations générales" du document de recueil de données auprès du client.....	38
Figure 13 : Onglet "Situation avant-projet" du document de recueil de données auprès du client.....	39
Figure 14 : Onglet "Construction" du document de recueil de données auprès du client.....	40
Figure 15 : Onglet "Exploitation" du document de recueil de données auprès du client.....	41
Figure 16 : Onglet "Informations générales" de l'outil BC	42
Figure 17 : Onglet "Situation avant-projet" de l'outil BC.....	42
Figure 18 : Onglet "Construction" de l'outil BC	43
Figure 19 : Onglet "Exploitation" de l'outil BC.....	44
Figure 20 : Onglet "Résultats" de l'outil BC.....	44
Figure 21 : Exercice FerMa - Autres intrants (version 8).....	49
Figure 22 : Exercice FerMa - Métaux, Plastiques, Verre (version 8).....	49
Figure 23 : Exercice FerMa - Plastiques, Papiers et cartons (version 8).....	50
Figure 24 : Exercice FerMa – Fret routier sortant (version 8)	50
Figure 25 : Exercice FerMa - Fret maritime entrant (version 8).....	50
Figure 26 : Exercice FerMa - Fret routier entrant (version 8)	50
Tableau 1 : Exercice FerMa - Données pour l'onglet Energie	18
Tableau 2 : Exercice FerMa - Données concernant les matériaux (hors bois).....	20
Tableau 3 : Exercice FerMa - Données de l'onglet Fret (1).....	21
Tableau 4 : Exercice FerMa - Données de l'onglet Fret (2).....	22
Tableau 5 : Outils/Méthodes de comptabilité carbone apportant des éléments de réflexion pour l'outil BC adapté aux projets d'aménagement	27
Tableau 6 : Poste d'émissions - Terrassement du terrain.....	36
Tableau 7 : Poste d'émissions - Bâtiments	36
Tableau 8 : Poste d'émissions - Voirie.....	36
Tableau 9 : Poste d'émissions - Réseaux	37
Tableau 10 : Poste d'émissions - Espaces verts.....	37
Tableau 11 : Poste d'émissions - Espaces publics minéralisés	37
Tableau 12 : Poste d'émissions - Eclairage public.....	37
Tableau 13 : Projet de recherche - Quartier E+C-.....	51
Tableau 14 : Outil GES OpAm.....	52
Tableau 15 : Outil NEST.....	53
Tableau 16 : Carb'Elioth.....	54
Tableau 17 : PROSPENER	54
Tableau 18 : NECATER.....	55
Tableau 19 : NovaEquer	56
Tableau 20 : Calcuettes Carbone - ACV Produits et Clim'éco	57
Tableau 21 : TRACC Expert.....	57

Tableau 22 : CO2NCERNED	58
Tableau 23 : GEMIS	58
Tableau 24 : GRIP	59
Tableau 25 : Carbon Tool project.....	59
Tableau 26 : Carbon Planning Tool	60
Tableau 27 : Curb Tool.....	60
Tableau 28 : City Explained - CommunityViz	61
Tableau 29 : DPA.....	61
Tableau 30 : INDEX.....	62
Tableau 31 : Données utilisables ou non du projet PEM d'Auray pour la réalisation d'un BC	63
Tableau 32 : Récapitulatif des FE de la phase construction des bâtiments (source : Outil GES OpAm). 68	
Tableau 33 : Récapitulatif des FE de la phase exploitation des bâtiments de type logements.....	70
Tableau 34 : Récapitulatif des FE de la phase construction de la voirie	70
Tableau 35 : Récapitulatif des FE de la phase construction des réseaux.....	70

TABLE DES ABREVIATIONS

ABC : Association Bilan Carbone
ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AE : Autorité Environnementale
AFD : Agence Française du Développement
APCC : Association des Professionnels en Conseil Climat, énergie et environnement
BC : Bilan Carbone
CCNUCC : Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
éqCO₂ : équivalent CO₂
FE : Facteur d'Emission
GC : Génie Civil
GES : Gaz à Effet de Serre
Outil GES OpAm : Outil GES Opérations d'Aménagement
GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
PEM : Pôle d'Echange Multimodal
PNACC : Plan National d'Adaptation au Changement Climatique
PRG : Pouvoir de Réchauffement Global
SFI : Société Financière Internationale
SNBC : Stratégie Nationale Bas Carbone
ZAC : Zone d'Aménagement Concerté

INTRODUCTION

Préalablement à un projet de travaux, d'aménagements, ou d'ouvrages, en France, une étude d'impact doit obligatoirement être réalisée en amont (ADEME, 2013). Cette obligation date de la loi n°76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature (ADEME, 2013). L'objectif est d'éviter qu'un projet ne soit néfaste pour l'environnement (ADEME, 2013).

« Les études d'impact oublient quasi-systématiquement de prendre en compte les émissions de gaz à effet de serre, la qualité de l'air, le bruit et l'artificialisation des sols. » (Radisson, 2017).

Ce constat a été dressé au début de l'année 2017, lors de la présentation du bilan d'activités 2016 de l'Autorité Environnementale (AE). Cette notion juridique, et entité indépendante correspondante, veille à la juste compensation des dommages environnementaux. De nombreux projets sont effectivement soumis systématiquement à une évaluation environnementale afin de définir et d'estimer leurs potentiels impacts. Comme le souligne Laurent Radisson, malgré l'analyse approfondie des études d'impact, la plupart omettent ou négligent la prise en compte des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES). Ces GES sont des constituants gazeux de l'atmosphère, naturels ou anthropogéniques, qui absorbent et émettent des radiations dans le spectre des radiations infrarouges émises par la surface de la Terre, l'atmosphère et les nuages (ABC, 2017). Contribuant à l'effet de serre, les émissions de GES sont primordiales à prendre en compte afin d'éviter d'accentuer les impacts anthropiques qui sont dangereux pour le climat. En effet, selon un rapport spécial du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), datant d'octobre 2018, les activités humaines ont provoqué une augmentation d'environ 1°C de la température terrestre depuis l'époque préindustrielle. Si cela continue à augmenter au même rythme, le réchauffement planétaire devrait atteindre 1.5°C entre 2030 et 2050 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018).

Malgré tous ces constats, les études d'impact ne prennent que peu souvent en compte les émissions de GES, alors qu'un outil spécifique a été développé par l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) pour le volet dédié à l'estimation des GES : le Bilan Carbone (BC) ®. Cet outil, à destination de tout type d'organisation et tout type de territoire, permet la comptabilisation des émissions de GES pour tout type d'activité. Cependant, le BC ® semble être peu approprié et adapté aux projets d'aménagement, alors que l'aménagement du territoire est à appréhender avec le changement climatique. C'est face à ce constat que le groupe Egis, et plus précisément la filiale **Egis Structures et Environnement**, acteur majeur en France de l'ingénierie en ouvrages d'art, tunnels et travaux souterrains, géotechnique et environnement, souhaiterait mettre en place un outil BC pour quantifier les émissions de GES des projets d'aménagement sur lesquels ils sont impliqués. Ce PFE vise ainsi à élaborer une méthode de standardisation d'une approche simplifiée BC pour un projet urbain au stade de l'étude d'impact. Des organisations, tels que de grands groupes d'aménageurs, ont notamment commencé à réfléchir et à mettre en place des méthodes et des outils BC en interne afin de pallier aux difficultés d'utilisation de l'outil BC ® de l'ADEME. L'étude de ces méthodes et/ou outils permettra d'amorcer la réflexion sur le sujet.

La filiale ayant déjà commencé à s'intéresser à l'outil BC ® de l'ADEME, cette étude visera à répondre plus précisément à la problématique suivante : « En quoi l'outil BC ® de l'ADEME peut-il être adapté pour des projets d'aménagement et ainsi répondre aux besoins et aux préférences des utilisateurs de l'outil dans des démarches de projet ? ». Deux questions techniques complémentaires permettront d'appréhender et de structurer cette problématique :

- Comment cerner et adapter les éléments de difficultés relevés par le groupe Egis, et d'autres organisations, concernant l'outil BC ® de l'ADEME ?
- Quelle est la méthodologie à appréhender pour adapter l'outil BC ® de l'ADEME à la dimension du projet urbain ?

Cette étude se déroulera en cinq parties. En premier lieu, un état de l'art général des enjeux actuels ainsi que du BC ® sera effectué. Suite à une partie de présentation du fonctionnement du BC ®, un état de l'art sera ébauché portant sur l'appropriation d'outils, de gestion et de comptabilité carbone, sur des retours d'expériences concernant le BC ® et sur l'état actuel des outils de comptabilité carbone en France et dans le monde. La quatrième partie de cette étude portera sur la mise en évidence des limites de l'outil BC ® via un exemple d'application d'un projet d'aménagement, ainsi que sur la formulation de premières préconisations. Enfin, une dernière partie sera consacrée à une première approche de l'outil BC adapté aux besoins et aux préférences de la filiale EGIS Structures et Environnement.

ENJEUX ACTUELS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les enjeux climatiques : une réalité à appréhender

Selon le deuxième Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC), présenté le 20 décembre 2018, la France affectera 3.5 milliards d'euros à l'adaptation aux impacts du changement climatique pour la période 2018-2022 (Le Hir, 2018). Cette décision a été prise suite au constat alarmant du dernier rapport du GIEC, d'octobre 2018, portant sur une recommandation de redéfinition du seuil limite d'augmentation de la température terrestre à 1.5°C au lieu de 2°C entre 2030 et 2050. En effet, une augmentation de plus de 40% de la concentration atmosphérique du dioxyde de carbone (CO₂), gaz contribuant le plus au changement climatique du fait des importantes quantités émises, a été observée depuis 1750, ceci entraînant un dérèglement de l'équilibre climatique naturel lié aux activités humaines (Commissariat Général au Développement Durable, 2018). De lourdes conséquences sont observées et seront observées telles que des vagues de chaleur, des extinctions d'espèces ou encore une déstabilisation des calottes polaires.

Face à ces enjeux : des politiques multiscalaires

- *Des politiques internationales*

Face à la menace du changement climatique et à la suite du premier rapport du GIEC en 1990, les premières négociations internationales sont intervenues afin de répondre à la gravité de la situation. Le premier traité international signé est la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), adopté au Sommet de la Terre de Rio en 1992. Cependant, cette convention ne présente que des orientations et aucun objectif quantifié ou contraignant concernant les émissions de GES n'est formulé (Riedacker, 2003). C'est avec le protocole de Kyoto, signé en 1997 et entré en vigueur en 2005, que des objectifs quantifiés et contraignants apparaissent pour chaque annexe, une annexe regroupant plusieurs pays (Commissariat Général au Développement Durable, 2018). En effet, une augmentation de plus de 80% des émissions de GES est observée depuis 1970 et une augmentation de 45% depuis 1990 (Commissariat Général au Développement Durable, 2018). Plus récemment, l'Accord de Paris a été adopté lors de la COP21, fixant un objectif global de réduction d'émissions à long terme mais accordant une certaine flexibilité aux Parties pour déterminer elles-mêmes leurs contributions à l'échelle nationale (Commissariat Général au Développement Durable, 2018). C'est lors de cet accord que le seuil limite d'augmentation de la température mondiale a été fixé à 2°C d'ici à 2100.

- *Des politiques européennes*

L'Union Européenne (UE) s'est également engagée avec un plan d'action, intitulé Paquet Climat-Energie (ou Energie-Climat), visant à mettre en place une politique européenne commune de lutte contre le changement climatique et de valorisation d'une énergie plus soutenable et durable (Commissariat Général au Développement Durable, 2018). Révisé en octobre 2014, ce plan porte sur trois objectifs dont la réduction de 40% des émissions de GES par rapport à 1990 (Commissariat Général au Développement Durable, 2018).

- *Des politiques françaises*

La France, qui a signé ces textes internationaux, est soumise à ces directives européennes. Elle a également fait voter de nombreuses lois telles que la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, votée en août 2015 (Commissariat Général au Développement Durable, 2018), ou

encore la loi Grenelle II, votée en juillet 2010. La loi Grenelle II impose notamment la publication d'un bilan GES réglementaire (BEGES) pour les **entreprises de plus de 500 employés**, pour les **entreprises publiques de plus de 250 personnes** (site de l'Etat ou autre personne morale publique) et pour les **collectivités de plus de 50 000 habitants** (Wague, 2018).

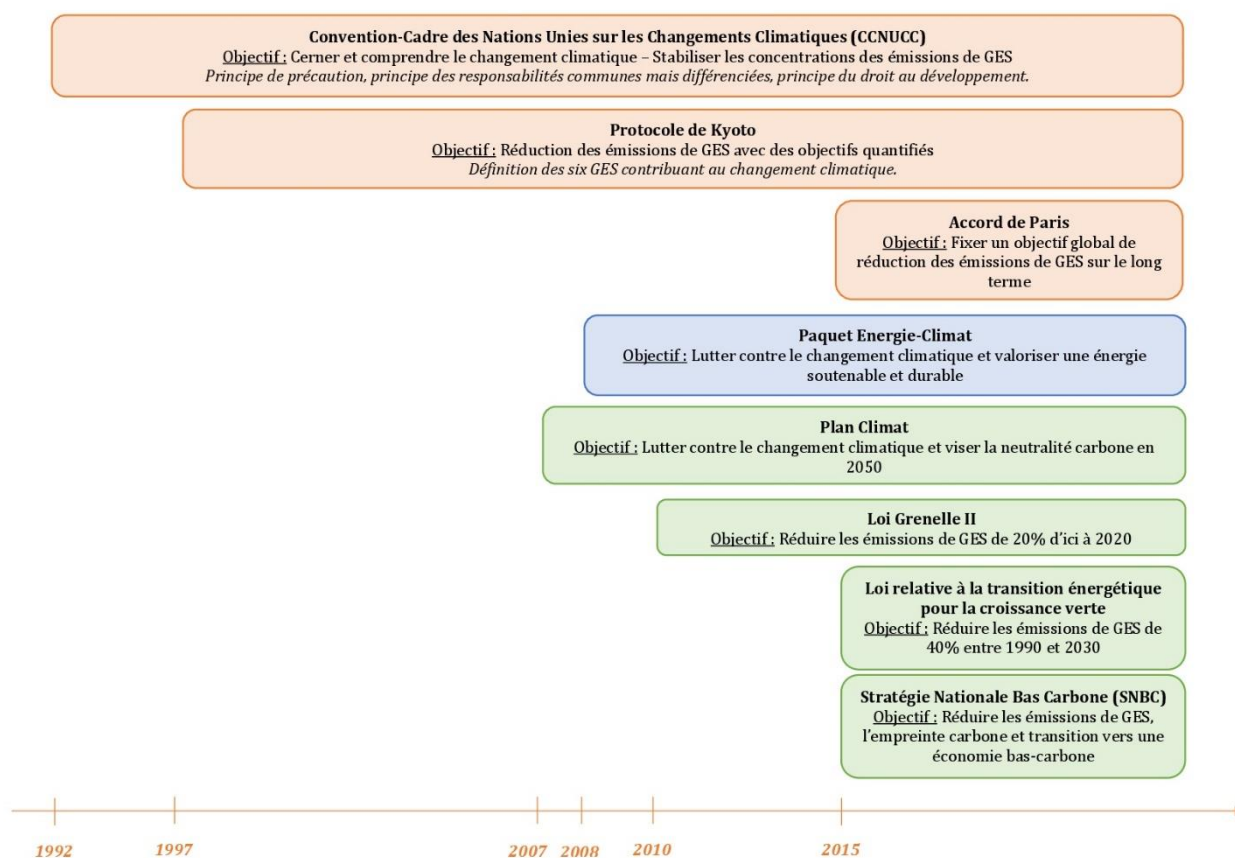


Figure 1 : Schéma simplifié des engagements politiques de la France à l'échelle internationale, européenne et nationale

La communauté internationale s'est longtemps interrogée sur les instruments à adopter pour réduire les émissions de GES (Riedacker, 2003). Plusieurs propositions ont été évoquées telles que des politiques et mesures communes, des taxes sur les énergies fossiles ou encore des réductions d'émissions identiques par pays (Riedacker, 2003).

La comptabilité carbone : qu'est-ce que c'est ?

Une des mesures adoptées porte sur la mise en place de méthodes de comptabilité carbone pour réduire les émissions de GES. La notion de comptabilité carbone est rarement définie, la majorité des articles de recherche s'interrogeant sur la comptabilité carbone portent sur une amélioration de ses méthodes, en particulier pour des sujets spécifiques (Le Breton and Aggeri, 2015). Arnaud Brohé la définit simplement comme la comptabilité des émissions de GES (Brohé, 2013). Le principe de base de la comptabilité carbone porte sur les postes d'émission, correspondant à des catégories d'émissions identifiées par inventaire pour une entité durant une période donnée (généralement une année) (Brohé, 2013). Cependant, il est rarement envisageable de mesurer directement les émissions de GES vu le nombre important de sources d'émission et vu leur très faible concentration dans l'atmosphère (Brohé, 2013). Les émissions doivent alors être estimées par le calcul à partir de données d'activité (ex : énergie consommée par des bâtiments), qui sont ensuite multipliées par des facteurs d'émission (FE), représentant une quantité de GES relative à l'activité qui en est responsable, afin de déterminer la quantité totale de GES émise par l'activité en question (Brohé, 2013).

L'outil BC ® de l'ADEME : un outil de comptabilité carbone

L'outil BC ® est une méthode de comptabilité carbone, développée par l'ADEME et l'Association Bilan Carbone (ABC). Elle propose, depuis 2004, la définition et la mise en œuvre d'une démarche de progrès en matière de GES pour les organisations, ainsi que pour les territoires (ABC, 2017). Cet outil se base sur une méthode de calcul, matérialisée par un tableur Excel, afin de diminuer les émissions de GES, sur le territoire français, et d'évaluer l'importance et la dépendance des organisations aux énergies fossiles (Le Breton et al., 2017; Wague, 2018). Il part d'une démarche volontaire de l'ADEME de subventions pour les organisations qui réalisaient leur BC jusqu'en 2010 et de mise en place d'actions afin d'anticiper les changements climatiques par rapport aux modes de vie actuels (Wague, 2018). Cependant, depuis la loi Grenelle II, la réglementation impose un bilan GES réglementaire (BEGES), devant être publié tous les trois ans (Wague, 2018). L'ADEME a été sollicitée dans la rédaction du décret d'application de la loi et a donc dû choisir entre s'impliquer dans la réglementation ou promouvoir un outil faisant partie du panel possible de ceux que la réglementation promouvait (Le Breton et al., 2017). Le choix stratégique de l'ADEME a été d'être partie prenante du processus d'élaboration du BEGES (Le Breton et al., 2017). L'ADEME et l'Association des Professionnels en Conseil Climat, énergie et environnement (APCC) ont alors monté l'ABC afin de transférer le BC ® à cette association, outil pouvant être utilisé pour faire un BEGES. (Le Breton et al., 2017; Wague, 2018). C'est depuis 2010 que l'ABC porte l'outil BC ® et, chaque année, l'association met à jour la Base Carbone, base recensant tous les FE déterminés et définis (Wague, 2018).

L'outil BC ® de l'ADEME : un outil adapté pour les projets d'aménagement ?

Cette méthodologie BC ® permet de tenir compte de nombreux paramètres mais elle est surtout conçue pour une évaluation actuelle des émissions et **peu pour l'évaluation de projets à long terme**. Une étude a cependant été réalisée en 2008 par le bureau d'études INDDIGO sur la possibilité d'intégrer rapidement un outil d'aide à la décision et de suivi dans les démarches d'urbanisme avec l'utilisation de l'outil BC ® (BE Inddigo and ADEME, 2008). Néanmoins, l'ABC ne réfléchit pas à l'adaptation de l'outil pour des projets d'aménagement (Wague, 2018). Aucune demande n'a été formulée, ce sont surtout des certifications qui sont demandées par les organismes travaillant sur les projets urbains, voulant répondre à la question de l'estimation des émissions de GES (Wague, 2018). La filiale Egis Structures et Environnement cherche ainsi à élaborer un outil BC adapté à la quantification des émissions de GES pour les projets d'aménagement pour répondre à trois objectifs : un besoin de développement et de diffusion de connaissances, une réponse à la réglementation (Grenelle de l'Environnement) et une demande d'innovation. Cet outil permettrait également de répondre à un manque d'analyse des émissions de GES des projets envers les clients et de travailler différemment les pratiques sur le sujet. Son élaboration permettrait un meilleur positionnement de la filiale Egis Structures et Environnement lors d'une réponse à un appel d'offre et un suivi du BC tout au long d'un projet.

Afin de pouvoir élaborer un outil répondant **aux besoins et aux préférences** de la filiale Egis Structures et Environnement, l'outil BC ® de l'ADEME sera étudié et appliqué à un cas concret afin de déterminer les éléments indispensables et ceux à adapter pour la réalisation d'un BC d'un projet d'aménagement.

FONCTIONNEMENT DE L'OUTIL BC®

DE L'ADEME

Fonctionnement théorique de l'outil BC®

- *Objectif, principe de fonctionnement et émissions de GES*

L'idée de départ du BC® était de permettre aux entreprises de déterminer leur dépendance aux énergies fossiles, et de les sensibiliser avec un indicateur quantifié (Le Breton et al., 2017). C'est ainsi d'abord un outil particulièrement ciblé pour les entreprises (Le Breton et al, 2017).

« Les émissions de GES ne se mesurent pas, elles se calculent. » (Le Breton et al, 2017). Le principe de fonctionnement de l'outil est relativement simple : il suffit d'appliquer un FE spécifique aux données de l'activité en question afin d'obtenir les émissions de GES correspondantes, étant donné qu'il est impossible d'en avoir une mesure directe (Le Breton et al, 2017) :

Emissions de GES = Données d'activité * FE correspondant

C'est une quantification par estimation car une double incertitude, devant être précisée, est liée aux données d'activité et aux FE (ABC, 2017).

Deux catégories d'émissions sont estimées : les émissions dites « directes » (scope 1) et les émissions dites « indirectes » (scopes 2 et 3) (Le Breton et al, 2017). Les émissions dites « directes » représentent la somme des émissions directes induites par la combustion des énergies fossiles. Les émissions dites « indirectes » représentent la somme des émissions indirectes induites par l'achat ou la production d'électricité ou de vapeur (scope 2) et la somme de toutes les autres émissions indirectes (scope 3). Sont comprises les émissions modifiant de manière discernable le forçage radiatif du gaz concerné et ne nécessitant pas de réaction chimique dans l'atmosphère.

Les GES sont multiples et différents : pour additionner les quantités des différents gaz, le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) est utilisé à 100 ans (Le Breton et al, 2017). C'est un facteur décrivant l'impact du forçage radiatif d'une unité massique d'un GES donnée par rapport à une unité équivalente de CO₂ pour une période donnée (ABC, 2017). Plus simplement, le PRG détermine « combien de fois le CO₂ », afin de pouvoir comparer les différents GES entre eux. Les émissions de GES sont donc exprimées en équivalent CO₂ (éqCO₂).

Les FE, quant à eux, résultent de la mesure d'une situation donnée, suffisamment représentative pour être considérée comme standard. Ils permettent de convertir les données d'activité en une unité d'équivalent CO₂. Ils sont relativement représentatifs et peuvent être trouvés dans la Base Carbone de l'ADEME ou directement dans l'outil BC®. Selon la donnée d'activité, les FE sont exprimés en kg éqCO₂ par tonne (T), en kg éqCO₂ par kilowattheure (kWh) ou en kg éqCO₂ par tonne équivalent pétrole (tep).

- *Les étapes de réalisation d'un BC pour une organisation*

Le BC® repose sur cinq principales étapes à réaliser pour une organisation :

- 1 – Nomination d'un pilote et définition des objectifs
- 2 – Périmètre à définir**
- 3 – Collecte et exploitation des données**
- 4 – Plan d'action de réduction
- 5 – Synthèse de la démarche

Deux étapes vont être principalement intéressantes à étudier pour la mise en place d'un outil BC pour la filiale Egis Structures et Environnement : les étapes 2 et 3. L'étape 2 consiste à réaliser une « cartographie » des flux d'énergie, de matières premières, de déchets et de produits entrant et sortant

à prendre en compte pour la comptabilisation des émissions de GES (ABC, 2017). Un périmètre est également important à définir dans le cadre d'un projet d'aménagement afin de définir les données à recueillir. Tous les flux doivent être pris en compte, amont et aval. L'étape 3 consiste à recenser l'ensemble des données nécessaires au calcul des émissions selon les périmètres déterminés (ABC, 2017).

Ces deux étapes reposent notamment sur la détermination de postes d'émissions, représentant des émissions de GES provenant de sources ou de types de sources homogènes (ABC, 2017). Dans le cadre d'un BC, des postes d'émissions significatifs doivent être définis en fonction de leur poids au sein du profil GES (ABC, 2017). Il est ainsi préférable de réaliser au moins un premier BC complet (ABC, 2017).

- **Les onglets du tableur principal BC ®**

L'outil BC ® repose sur plusieurs tableurs, dont le tableur principal qui permet de réaliser le BC et de présenter les résultats au format des standards internationaux (ISO, GHG Protocol, réglementation française) (ABC, 2017). Les tableurs complémentaires ne seront pas étudiés car peu utiles pour un outil BC adapté aux projets d'aménagement.

Le tableur BC étudié, version 8 d'octobre 2017, comporte de nombreux onglets ayant des couleurs différentes :

- **Onglet descriptif** : Il permet de renseigner les informations sur l'activité et le BC qui va être réalisé (Figure 2).

Intitulé des postes (modifiable)	Y aller !	Noms des onglets (ne pas modifier)	Emissions relatives (à personnaliser)
Energie 1	Energie 1	Energie 1	Aux combustibles fossiles et à l'électricité
Energie 2	Energie 2	Energie 2	Aux combustibles fossiles et à l'électricité
Hors énergie 1	Hors énergie 1	Hors énergie 1	Aux activités hors usage de l'énergie
Hors énergie 2	Hors énergie 2	Hors énergie 2	Aux activités hors usage de l'énergie
Intrants 1	Intrants 1	Intrants 1	Aux matériaux, produits et services achetés
Intrants 2	Intrants 2	Intrants 2	Aux matériaux, produits et services achetés
Futurs emballages	Futurs emballages	Futurs emballages	Aux matériaux, produits et services achetés pour de futurs emballages
Fret	Fret	Fret	Au transport de marchandises
Déplacements	Déplacements	Déplacements	Au transport de personnes
Déchets directs	Déchets directs	Déchets directs	Aux déchets produits par l'entité
Immobilisations	Immobilisations	Immobilisations	A la fabrication de biens durables utilisée par l'entité
Utilisation	Utilisation	Utilisation	A l'utilisation du produit ou service vendu ou distribué
Fin de vie	Fin de vie	Fin de vie	Au traitement en fin de vie des produits vendus ou distribués
Facteurs d'émission	Facteurs d'émission	Facteurs d'émission	Liste des facteurs d'émissions utilisés

Figure 2 : Onglet descriptif de l'outil BC (r) version 8

- **Onglets rouges** : Ils permettent de saisir les données d'activité.
- **Onglets oranges** : L'onglet FE contient la totalité des FE utilisés dans tous les autres onglets. L'onglet Utilitaires donne accès à des outils complémentaires comme un convertisseur de données énergétiques ou de données statistiques.
- **Onglets jaunes** : Ils donnent un récapitulatif du BC.
- **Onglets verts** : Ils éditent des graphiques concernant le BC.
- **Onglets gris** : Ce sont des onglets permettant de préparer les données pour les réutiliser dans des tableurs complémentaires.

The screenshot shows the 'Hors énergie 1' tab in the BC (r) version 8 software. The interface includes a menu bar at the top with tabs like 'Hors énergie 1', 'Intrants 1', 'Fret', 'Déplacements', 'Utilisation', 'Utilitaires', 'Recap CO2e', 'Ratios', 'Bilan GES', 'GHG Protocol', 'Graphiques', 'FE Energie', and 'FI ...'. The main area displays several tables:

- Postes d'émission :** CO2 Postes, N2O Bilan GES, CH4 GHG Protocol, Halocarbores ISO 14069, Hors Kyoto CDP, Descriptif.
- Emissions de gaz hors Kyoto** (orange header)
- Récapitulatif par poste, CO2e** (blue header) containing three sub-tables:

Hors énergie 1	Emissions			Incertitudes		Données pour graphique			
	kg CO2e	t CO2e	Relatives	kg CO2e	%	Bas	Median	Median	Haut
CO2 hors énergie	0	0		0		0,0	0,0	0,0	0,0
Protoxyde d'azote	0	0		0		0,0	0,0	0,0	0,0
Méthane	0	0		0		0,0	0,0	0,0	0,0
Halocarbores de Kyoto	0	0		0		0,0	0,0	0,0	0,0
Gaz hors Kyoto	0	0		0		0,0	0,0	0,0	0,0
Agriculture	0	0		0		0,0	0,0	0,0	0,0
Total	0	0		0		0,0	0,0	0,0	0,0
- Récapitulatif par catégorie pour extraction Bilan GES réglementaire** (green header)
- Récapitulatif par catégorie pour extraction GHG Protocol** (teal header)
- Récapitulatif par catégorie pour extraction ISO/TR 14069:2013** (light blue header)
- Récapitulatif par catégorie pour extraction CDP** (red header)
- Récapitulatif par catégorie pour extraction ISO 14064:2017** (grey header)

Figure 3 : Onglets de l'outil BC (r) version 8

Un onglet est construit selon une structure type avec un en-tête, constitué de liens hypertexte pour accéder rapidement aux différentes parties de l'onglet ; des catégories en orange, permettant de faire apparaître des tableaux dans lesquels des postes d'émissions doivent être choisis ainsi que des données d'activité à saisir ; et, enfin, le bas de l'onglet avec des tableaux récapitulatifs en bleu et en rouge.

Un exemple d'application appliqué aux entreprises : l'entreprise FerMa

Afin de mieux appréhender l'utilisation de l'outil BC ®, l'explication du fonctionnement va maintenant être illustrée par un exemple d'application portant sur une entreprise spécialisée dans la conception et la fabrication de portes et de volets (entreprise FerMa). L'exercice a été réalisé sur les onglets Energie, Hors Energie, Intrants, Fret, Déplacements et Utilisation, qui sont les onglets les plus pertinents à retenir dans le cadre d'un projet d'aménagement. Afin de garantir une meilleure lisibilité de l'exercice, les onglets Déplacements et Utilisation ne seront pas développés dans ce rapport. Il est à noter que cet exercice est valable pour une utilisation du tableur BC ® v.7.6. Certains éléments ont donc été remaniés afin de pouvoir réaliser l'exercice avec le tableur BC ® v.8.

L'exercice s'effectue onglet par onglet :

- **Onglet Energie**

Données :

Tableau 1 : Exercice FerMa - Données pour l'onglet Energie

Consommation en électricité en 2013	473 955 kWh
Consommation en gaz naturel en 2013	61 392 kWh.PCS
Chauffage au fioul en 2013	110 000 L

Application :

Comptabilisation directe des combustibles :

Pour le gaz, il a été nécessaire de convertir la donnée en kWh.PCS en kWh.PCI via l'onglet Utilitaires :
61 392 kWh.PCS = 55 308 kWh.PCI

Pour le fioul, la donnée a été rentrée telle quelle dans le tableur, un changement d'unité n'a pas dû être effectué.

Comptabilisation directe des combustibles																					
1 - Combustibles fossiles, sources fixes																					
Combustible	Rappel Emissions kg CO2e	Caractérisatio du matériel (kg)	Conso (kg)	mont	kgCO2e/kg combustion	Conso (kWh PCI)	kgCO2e/kWh PCI	mont	combustion	Conso (tep PCI)	kgCO2e/tep PCI	mont	combustion	kgCO2e/litre	mont	combustion	kg CO2e	mont	combustion	kg CO2e	
Butane (Inclus maritime), Europe, Base Carbone	0			0,51		3,02		0,027	0,230			448	2 680		0,281	1,760	0			0	
Propane (Inclus maritime), France continentale, Base Carbone	0			0,49		2,97		0,027	0,233			445	2 720		0,256	1,540	0			0	
Autres Gaz																					
Gaz naturel, France continentale, Base Carbone	13 434							0,039	0,204			368	2 370							2 151	11 283
Gaz d'acierie, France continentale, Base Carbone	0																			0	0
Liquides																					
Fioul domestique, France continentale, Base Carbone	357 610			0,68		3,17		0,053	0,272			529	3 170	110 000	0,571	2,680	62 810			294 800	
Pétrole Brut, France continentale, Base Carbone	0			0,27		3,07														0	0
Charbons																					
Agglomérés de houille, France continentale, Base Carbone	0			0,28		3,07		0,032	0,345			372	4 020							0	0
Tourbe, France continentale, Base Carbone	0			0,10		1,28		0,032	0,398			373	4 640							0	0
Coke & Déchets																					
Coke de houille, France continentale, Base Carbone	0			0,25		3,03		0,032	0,389			372	4 540							0	0
Pneumatiques Usagés, France continentale, Base Carbone	0																			0	0
Total	371 044																			64 961	306 083

Figure 4 : Exercice FerMa - Comptabilisation directe des combustibles (version 8)

Achats d'électricité :

Le choix du poste d'émission a été effectué en fonction de la provenance de l'électricité (France) et de l'année de l'achat (2013).

Achats d'électricité										
1 - Electricité achetée, par usage, en France continentale										
	Rappel Emissions kg CO2e	Caractérisatio du matériel	Conso (kWh)	mont	kgCO2e/kWh	combustion à la centrale	perdes	kg CO2e	kg CO2e	
2008 - usage : Autres (BTP, recherche, armée, etc.), France co	0			0,010		0,035	0,006	0	0	
2010 - usage : Transports, France continentale, Base Carbone	0			0,010		0,034	0,006	0	0	
2014 - usage : Eclairage résidentiel, France continentale, Base C	0			0,018		0,089	0,007	0	0	
Total	0							0	0	
2 - Electricité achetée, en France										
	Rappel Emissions kg CO2e	Caractérisatio du matériel	Conso (kWh)	mont	kgCO2e/kWh	combustibles	combustion à la centrale	perdes	kg CO2e	kg CO2e
Métropole										
2013 - mix moyen, France continentale, Base Carbone	36 495		473 955	0,015		0,062	0,007		7 109	29 385
2009 - mix moyen, France continentale, Base Carbone	0			0,014		0,062	0,006		0	0
2010 - mix moyen, France continentale, Base Carbone	0			0,014		0,062	0,006		0	0
Outre-Mer										
mix moyen, Guadeloupe hors COM, Base Carbone	0			0,107		0,793	0,091		0,006	0
mix moyen, St Pierre et Miquelon, Base Carbone	0			0,128		0,811	0,094		0,005	0
mix moyen, Corse, Base Carbone	0			0,058		0,530			0,006	0
Total	36 495								7 109	29 385

Figure 5 : Exercice FerMa - Achats d'électricité (version 8)

Résultat :

Pour l'onglet Energie, les émissions de GES représentent 414 174 kg éqCO₂ ou 414 tonnes éqCO₂. Le résultat est sous la forme d'un tableau récapitulatif qui se retrouve dans tous les onglets.

Récapitulatif par poste, CO2e										
Energie 1	Emissions				Incertitudes		Données pour graphique			
	kg CO2e	t CO2e	Relatives		kg CO2e	%	Bas	Median	Median	Haut
Combustibles, comptabilisation directe	371 044	371	90%		15 082	4%	356,0	371,0	371,0	386,1
Chauffage fossile estimé	0	0	0%		0		0,0	0,0	0,0	0,0
Vapeur achetée	0	0	0%		0		0,0	0,0	0,0	0,0
Froid acheté	0	0	0%		0		0,0	0,0	0,0	0,0
Electricité achetée & produite	43 130	43	10%		3 579	8%	39,6	43,1	43,1	46,7
Total	414 174	414	100%		15 501	4%	398,7	414,2	414,2	429,7

Figure 6 : Exercice FerMa - Résultat de l'onglet Energie (version 8)

- Onglet Hors Energie

Données :

L'entreprise a climatisé, durant l'année étudiée, la partie administrative de ses locaux. L'entreprise n'a pas suivi les recharges de clim effectuées depuis.

L'installation est d'une puissance de 10 kWh frigorifique au R407C avec une technologie Air-Air.

Application :

Le R407C représente un Halocarbure de Kyoto. Il a été nécessaire d'utiliser un tableur complémentaire, intitulé « Clim_Froid » pour transformer la donnée de 10 kW de climatisation à air en kg d'halocarbures émis : 10 kW de R407C (climatisation à air) = 0.3 kg de R407C émis.

Emissions d'halocarbures de Kyoto					
Emissions d'halocarbures de Kyoto	Rappel Emissions kg CO2e				
	R407c, Base Carbone	486	Caractérisation de la source	Kg émis	0,3
	SF6, Base Carbone	0		kgCO2e/kg	1 620
	R125, Base Carbone	0			23 500
	Total	486			486

Incertitude		
incertitude TOTALE	incertitude DONNEE	kg CO2e
58%	forte (50%)	283
0%		0
0%		0
58%		283

Figure 7 : Exercice FerMa - Emissions d'halocarbures de Kyoto (version 8)

Résultat :

Pour l'onglet Hors Energie, les émissions de GES représentent 486 kg éqCO₂.

- *Onglet Intrants et Futurs Emballages*

L'onglet Futurs Emballage a été étudié en parallèle de l'onglet Intrants.

Les tableaux d'application à partir de cet onglet se trouvent dans l'Annexe 1, page 48.

Données :

Achat de matériaux :

- Bois : 1120 tonnes de différentes essences et origines
- Matériaux (hors bois) :

Durée moyenne d'utilisation des portes et volets : 30 ans

Tableau 2 : Exercice FerMa - Données concernant les matériaux (hors bois)

Matériaux	Pour les produits (t)	Pour les futurs emballages
Acier neuf	900	
Aluminium neuf	100	
PVC neuf	200	
Verre plat	100	
Plastiques autres		20
Cartons		100
TOTAL	1300	120

Services :

L'ensemble des données récupérées auprès du comptable concerne les dépenses engagées pour les postes suivants :

- Services à caractère technique : montant total des dépenses 60 k€
 - o Abonnements journaux
 - o Locations diverses
 - o Frais de télécommunication (téléphone, fax, internet...)
- Service matière grise : montant total des dépenses 130 k€
 - o Frais publicitaires
 - o Frais d'assurances
 - o Honoraires juridiques
 - o Frais de formation

○ Frais bancaires

Application :

Pour le bois (Annexe 1, Figure 22) :

Onglet Intrants – Autres intrants

La donnée a été saisie dans « Bois courte durée de vie (ameublement...), France continentale ». Le résultat est de 41 104 kg éqCO₂.

Pour les autres matériaux, hors futurs emballages (Annexe 1, Figure 23) :

Onglets Intrants

Pour l'acier neuf, la donnée a été saisie dans « Métaux – Acier ou fer blanc, France continentale », avec un résultat de 2 871 000 kg éqCO₂.

Pour l'aluminium neuf, la donnée a été saisie dans « Métaux – Aluminium, France continentale », avec un résultat de 383 000 kg éq CO₂.

Pour le PVC neuf, la donnée a été saisie dans « Plastiques – Plastiques (PVC), France continentale », avec un résultat de 374 000 kg éq CO₂.

Pour le verre plat, la donnée a été saisie dans « Verre – verre plat à motifs, Europe », avec un résultat de 118 000 kg éqCO₂.

Pour les autres matériaux, futurs emballages (Annexe 1, Figure 24) :

Onglet Futurs Emballages

Pour le plastique, la donnée a été saisie dans « Plastiques – Plastique (moyenne), France continentale », avec un résultat de 101 780 kg éq CO₂.

Pour le carton, la donnée a été saisie dans « Papiers, cartons – Carton neuf, France continentale », avec un résultat de 106 000 kg éqCO₂.

Pour les investissements financiers sectoriels :

Ce calcul n'a pas pu être réalisé car les postes d'émissions du tableur BC ® v.8 sont très détaillés alors que, dans cet exercice, les données concernant les investissements financiers sectoriels sont regroupées.

Résultat :

Le résultat global des émissions de GES est faussé car les données concernant les investissements financiers sectoriels n'ont pas pu être rentrées dans le tableur.

- *Onglet FRET*

Données :

Livraison de produits finis aux clients :

Tableau 3 : Exercice FerMa - Données de l'onglet Fret (1)

Tonnage	Distance moyenne (km)	Type de véhicule
220	200	12 tonnes
860	400	20 tonnes
1080	700	25 tonnes tracteur routier

Transport de bois :

L'importation du bois (1 120 tonnes) vient de deux pays : l'Indonésie et la Finlande. Les grumes sont expédiées par bateau jusqu'au Havre.

Tableau 4 : Exercice FerMa - Données de l'onglet Fret (2)

Origine	Indonésie	Finlande
Quantité totale	420	700
Arrivée	Le Havre	Le Havre
Type de bateau	Porte-conteneur 2200 evp	Porte-conteneur 5500 evp

Les distances ont été calculées :

- Maritime :
 - o Jakarta – Le Havre : 15 600 km
 - o Helsinki – Le Havre : 3 500 km
- Routier :
 - o Le Havre – Marseille : 1 000 km

Transport des autres matériaux (hors bois) :

Les autres matériaux sont acheminés par route. Ils proviennent tous de fournisseurs situés dans la région de Lyon en semi-remorques (tracteurs routiers). Ainsi, les 1 420 tonnes parcourent 350 km jusqu'à Marseille.

Application :

Pour la livraison de produits finis (Annexe 1, Figure 25) :

Les données doivent être rentrées dans la rubrique « fret routier sortant » (Fret sortant – Routier). Le choix des postes d'émissions (types de véhicules) a été fait en essayant de se rapprocher le plus possible du tonnage des véhicules utilisés. La donnée d'activité doit être rentrée en tonnes*km.

Pour le transport de bois par bateau (Annexe 1, Figure 26) :

Les données doivent être rentrées dans la rubrique « fret maritime entrant » (Fret intrant – Maritime et fluvial – Fret maritime entrant pour les bateaux). Le choix des postes d'émissions (type de bateaux) a été fait en respectant les caractéristiques fournies dans les données.

Pour le transport de bois et autres matériaux par route (Annexe 1, Figure 27) :

Les données doivent être rentrées dans la rubrique « fret routier entrant » (Fret intrant – Fret routier). Le tonnage le plus important possible a été pris pour le type de véhicule (soit 40 tonnes), car ce sont généralement des camions remorques grand volume qui transportent des quantités importantes de matériaux.

Pour le transport de bois Le Havre – Marseille : tonnage total de bois (1 120 tonnes) * nombre de km (100 km).

Pour le transport d'autres matériaux Lyon – Marseille : tonnage total des matériaux (1 420 tonnes) * nombre de km (350).

Résultat :

Pour l'onglet Fret, les émissions de GES représentent 610 494 kg éqCO₂ ou 611 tonnes éqCO₂.

Conclusion et prise de recul sur l'exemple d'application

Comme cela a été démontré par l'exemple d'application, le BC d'une entreprise se réalise relativement facilement avec l'outil BC ® de l'ADEME. En effet, il est en principe adapté pour une utilisation par toute entreprise, toute administration, toute collectivité ou même toute personne à titre individuel (ADEME, n.d.). D'autres méthodes, protocoles et outils ont également été développés pour

répondre à des demandes spécifiques et sectorielles. Différents guides sectoriels ont été publiés, tels qu'un guide sur le secteur tertiaire non marchand, ou encore sur la filière agricole et agro-alimentaire (ADEME, n.d.). **Cependant, aucun guide ne porte sur les projets d'aménagement, les seuls pouvant s'en approcher portant sur la construction et les bâtiments.** Ce constat confirme le fait que l'outil BC ® de l'ADEME est peu adapté pour les projets d'aménagement et conforte l'idée d'élaborer une méthode BC à destination de ce domaine, dans le cadre de ce PFE.

L'outil BC ® représente donc un outil performant, qui a été éprouvé, vérifiable et reproductible, mais peu adapté pour le domaine de l'aménagement du fait notamment de la difficulté d'appropriation de l'outil dans le cadre de la réalisation d'un BC pour un projet urbain.

ETAT DE L'ART THEORIQUE ET PRATIQUE

Comment s'approprier un outil de gestion ?

- *Qu'est-ce qu'un outil de gestion ?*

Des travaux ont émergé autour de la question du processus d'appropriation d'outils, notamment d'outils de gestion, et de ses effets produits sur les dynamiques organisationnelles. François Xavier de Vaujany, dans un article intitulé « Pour une théorie de l'appropriation des outils de gestion : vers un dépassement de l'opposition conception-usage », tente de reprendre des cadres théoriques récents des sciences de gestion afin de les intégrer dans une « perspective appropriative » (de Vaujany, 2006). Cette perspective part d'un constat : celui de la prolifération des outils de gestion depuis le XIX^{ème} siècle (de Vaujany, 2006). François Xavier de Vaujany définit un outil de gestion comme « (...) tout schéma de raisonnement reliant de façon formelle un certain nombre de variables issues de l'organisation et destinées à instruire les divers actes de la gestion. » (de Vaujany, 2006). Ces outils sont de plus en plus poussés par l'extérieur et mis en œuvre par une ligne opérationnelle (de Vaujany, 2006). L'objectif est donc de comprendre comment un ou plusieurs acteurs peuvent rendre un outil de gestion propre à un usage, sachant que la majorité des outils sont créés par des organismes extérieurs (de Vaujany, 2006).

- *L'appropriation d'un outil de gestion : comment cela fonctionne ?*

Cette opération passe par l'adoption d'un point de vue provenant soit :

- Du ou des co-concepteurs, s'inscrivant dans une perspective de régulation de contrôle, cherchant l'efficacité et l'efficience de l'outil, c'est-à-dire sa capacité à répondre aux objectifs fixés par l'organisation ;
- Des utilisateurs finaux et des dynamiques d'apprentissage, tentant de se représenter l'outil par son utilisation au sein de l'organisation ;
- Des utilisateurs finaux et des processus sociologiques par lesquels passent l'appropriation de l'outil (de Vaujany, 2006).

Selon François Xavier de Vaujany, la compréhension totale d'un processus d'appropriation, que ce soit pour le chercheur ou pour le praticien, passe par la vision simultanée de ces trois regards (de Vaujany, 2006). Deux grandes théories de l'appropriation ressortent de ces points de vue :

- Théorie de la « conception à l'usage » : l'outil prend corps par le ou les co-concepteurs au fil des apprentissages et des conflits. Le processus d'appropriation amène à penser sa propre transformation ou les trajectoires dans lesquels il pourrait s'engager ;
- Théorie de la « mise en acte » des outils de gestion : l'outil est valorisé par une interaction avec les acteurs, c'est autour d'une incomplétude de l'outil que les acteurs vont nouer des apprentissages (de Vaujany, 2006).

François Xavier de Vaujany considère ainsi une appropriation réussie lorsqu'une série de transformations successives a été réalisée et a été bien intégrée au cours de la diffusion de l'outil (Dubé, 2013).

- *Un nécessaire échange entre acteurs et concepteurs*

Cette appropriation implique donc des échanges réciproques entre les acteurs organisationnelles et l'outil de gestion, rendant possible la résolution des problèmes constatés lors de son usage (Dubé, 2013). Une démarche OSIRIS, conçue avec et pour les acteurs du terrain, a notamment débuté dans les années 2000, portant sur une méthode et un outil d'aide à la décision pour les communes soumises à des risques majeurs (Morel et al., 2009). Le modèle OSIRIS-Multirisques s'appuie sur une

plateforme de données lui permettant d'évoluer avec les nombreux retours d'expérience et de s'adapter aux besoins et aux contraintes des collectivités locales (Morel et al., 2009). La plateforme est donc adaptée et adaptable (Morel et al., 2009). Cependant, des difficultés ont été et sont observées dans la mise en place de cet outil, telles que le niveau de connaissances des acteurs, ou encore la disponibilité réelle des données imposant un travail préalable long et coûteux (Morel et al., 2009).

L'outil BC, conçu pour la filiale Egis Structures et Environnement, devra être adaptée et adaptable, tout en étant approprié par les acteurs de l'aménagement du territoire. C'est en créant un outil directement au sein de la filiale, et donc au sein des acteurs, que cet objectif pourra être réalisé.

Comment s'approprier un outil de comptabilité carbone ?

- *A qui sont destinés les outils de comptabilité carbone ?*

Des travaux ont également été effectués sur les outils de comptabilité carbone. Morgane Le Breton et Franck Aggeri, dans leur article intitulé « La construction de la comptabilité carbone : histoire, usages et perspectives », cherchent à saisir les enjeux derrière le projet de comptabilité carbone (Le Breton and Aggeri, 2015). Il est à noter que cette étude est appliquée uniquement aux entreprises, les conclusions sont donc à nuancer. Afin de mieux comprendre les enjeux, la notion de comptabilité carbone a été déconstruite et analysée sur deux points : les destinataires, et leur manière de façonner cette notion ; les objectifs attendus, et leurs usages associés (Le Breton and Aggeri, 2015). La littérature distingue deux buts à la comptabilité carbone : l'un servant les destinataires internes, associés à des usages internes, et l'autre servant les destinataires externes, associés à des usages externes (Le Breton and Aggeri, 2015). L'outil BC ®, et les autres outils BC, sont destinés à des décideurs internes de l'entreprise afin de leur permettre de mener des actions de réduction des émissions de GES (Le Breton and Aggeri, 2015). Selon Morgane Le Breton et Franck Aggeri, les enjeux fondamentaux reposent alors sur l'appropriation de l'outil par les acteurs internes (Le Breton and Aggeri, 2015).

- *L'appropriation d'un outil de comptabilité carbone : difficultés rencontrées*

Cet outil doit être contextualisé, personnalisé et adapté aux spécificités de l'entreprise avec des données choisies en fonction de leur pertinence et non pas selon une grille générique standard (Le Breton and Aggeri, 2015). Au-delà de cette grille générique standard, un outil de comptabilité carbone peut traiter d'organisations ou d'activités en fonction de leurs spécificités tout en suivant une trame standardisée. C'est ce qui sera mis en avant dans l'élaboration d'une méthode BC pour des projets d'aménagement. Une trame standardisée pourra être suivie au sein de laquelle les spécificités des projets pourront être étudiées : ce sera une méthodologie adaptable.

Cependant, cette logique interne tend à devenir externe, du fait de nombreuses difficultés rencontrées (Le Breton and Aggeri, 2015). Celles-ci reposent essentiellement sur les données, tant sur le processus de collecte que sur leur pertinence (Le Breton and Aggeri, 2015). D'un côté, il faut s'assurer que le processus de collecte de données soit irréprochable, afin d'assurer la fiabilité de la comptabilité carbone (Le Breton and Aggeri, 2015). Néanmoins, ce processus s'avère chronophage pour de multiples raisons telles que la difficulté d'accès aux données ou encore le nombre très élevé d'hypothèses de calcul à formuler (Le Breton and Aggeri, 2015). Les acteurs ont donc du mal à s'approprier l'outil en interne (Le Breton and Aggeri, 2015). De l'autre côté, la pertinence des données peut être questionnée : comment comptabiliser l'invisible et pour quels usages ? (Le Breton and Aggeri, 2015). Cette analyse illustre ainsi un problème de conception de certains outils de comptabilité carbone, ce qui en complique l'exercice, déjà difficile, et l'appropriation des outils par les utilisateurs.

Des retours d'expérience BC : les premières limites de l'outil BC ®

- *Les points positifs de l'outil*

Certains retours d'expérience, révélant les facteurs clés de réussite et les limites d'un outil, ont été effectués pour l'outil BC ® de l'ADEME et son utilisation. Selon une enquête réalisée par le bureau d'études ICare Environnement, 84% des maîtres d'œuvre déclarent être « très satisfaits » ou

« satisfaits » de la qualité pédagogique de l'outil (ICare Environnement, 2010). Cependant, **31%** considèrent que des progrès peuvent être réalisés sur **l'ergonomie et la convivialité** de l'outil (ICare Environnement, 2010).

- *Les premières limites de l'outil BC ®*

Un retour d'expérience a également été réalisé par l'association AMORCE en 2018, en partenariat avec l'ADEME, sur la base d'une enquête de huit collectivités et quatre bureaux d'études (AMORCE, 2018). Des difficultés d'utilisation de l'outil ont été relevées, notamment celles exposées par Morgane Le Breton et Franck Aggeri portant sur le temps passé à la collecte de données. Tout d'abord, la méthode BC ® ne hiérarchise pas les postes d'émissions ce qui augmente le temps passé sur la collecte et l'affinage des données (AMORCE, 2018). Cela peut être lié au manque de maîtrise des données nécessaires au BC ® et/ou à des problématiques de confidentialité (ICare Environnement, 2010). De plus, le fait que la méthode propose une manière de quantifier les émissions, même avec une marge d'erreur importante, implique une recherche de l'exhaustivité qui peut se révéler très ambitieuse et donc rendre l'application complexe (AMORCE, 2018). La définition du périmètre d'étude représente également une difficulté : la méthode BC ® n'apporte pas d'éléments de cadrage du périmètre, ce qui nécessite de l'avoir défini au préalable, ainsi que les objectifs du bilan et l'exploitation des résultats (AMORCE, 2018). Enfin, les nombreuses incertitudes, et leur importance, ont été relevées comme des éléments éloignant les résultats du BC de la spécificité des organismes et/ou des territoires (AMORCE, 2018). Suite à un premier BC réalisé par les maîtres d'œuvre de l'enquête menée par ICare Environnement, de nombreux organismes ont dû créer un outil interne simplifié et adapté afin de faciliter le traitement des données et de restreindre le périmètre de calcul aux principaux postes d'émission (ICare Environnement, 2010).

Des outils de comptabilité carbone développés en interne par de grands groupes d'aménageurs, en France et à l'étranger

- *Les résultats de la recherche d'outils de comptabilité carbone adaptés aux projets d'aménagement*

De nombreux groupes d'ingénierie effectuent des BC dans le cadre de la réalisation d'études d'impact pour des projets d'aménagement. Peuvent être cités SCE Aménagement et Environnement, ANTEA Groupe, SOCOTEC, SAFEGE, INGEROP, BRL Ingénierie ou encore OTE ingénierie. Ces groupes utilisent l'outil BC ® de l'ADEME. Cependant, certains ont développé en interne leurs propres outils de comptabilité carbone comme EIFFAGE ou VINCI, ayant obtenu une certification de leurs méthodes par l'ABC (Wague, 2018).

Des recherches ont donc été effectuées sur ces outils et méthodes réalisés en interne et adaptés à des projets d'aménagement permettant un développement du territoire, en France et à l'étranger. Les résultats de ces recherches, à savoir 18 outils et méthodes, se trouvent dans l'Annexe 2, page 50, sous forme de tableaux. Des référentiels à l'échelle du quartier ont été observés lors de ces recherches. Ils commencent à voir le jour en France, en Allemagne et au Royaume-Uni (BURGEAP et al., 2011). C'est l'échelle du bâtiment qui a été la priorité jusqu'à l'heure actuelle (BURGEAP et al., 2011).

Il est à noter que la filiale Egis Structures et Environnement a déjà commencé les recherches sur le domaine des transports et des infrastructures de transport. Les outils et méthodes trouvés par la filiale n'ont donc pas été étudiés dans ce rapport.

- *Une prise de recul sur ces résultats*

Ces recherches ont permis d'analyser les différents outils méthodologiques existants en matière d'émissions de GES et les éléments de faisabilité, liés à la réalisation d'une infrastructure et à ses effets induits. Le principal objectif a été de déterminer les caractéristiques du marché, d'identifier le positionnement des concurrents leaders afin de construire une offre différenciée. De nombreux organismes font ou ont pour ambition de réaliser des BC applicables à tous types de projets d'aménagement mais il existe encore peu de méthodes pouvant convenir à ce domaine. L'outil GES Opérations d'Aménagement (GES OpAm), en Annexe 2, page 50, ainsi que l'outil de l'Agence Française

du Développement (AFD), déjà identifié par la filiale Egis Structures et Environnement, semblent être les outils en ce moment les plus appropriés pour les projets urbains. Cependant, l'accès aux données concernant les FE de chacun des outils s'est révélé peu fructueux malgré les nombreuses recherches effectuées.

L'idée est donc ici de connaître les échelles de développement des outils et/ou des méthodes (bâtiments, quartiers...) afin d'analyser la faisabilité d'un outil BC à l'échelle d'un projet d'aménagement, quel qu'il soit. Un tableau a été réalisé regroupant les éléments pouvant apporter des idées et/ou des informations essentielles dans la réalisation d'un BC pour la filiale Egis Structures et Environnement (*Tableau 5*). Cependant, cela implique de pouvoir accéder aux outils et/ou aux méthodes de comptabilité carbone, ce qui a été peu fructueux lors des recherches.

Tableau 5 : Outils/Méthodes de comptabilité carbone apportant des éléments de réflexion pour l'outil BC adapté aux projets d'aménagement

Outil/Méthode de comptabilité carbone	Pays de développement	Eléments de réflexion pour l'outil BC adapté aux projets d'aménagement
Projet de recherche Quartier E+C-	France	Développement d'une méthode de comptabilité carbone à l'échelle d'une opération d'aménagement.
Outil GES OpAm		Outil, sous forme de tableur Excel, permettant le calcul d'un BC à l'échelle d'une ZAC.
Outil NEST		Partie de l'outil destinée aux émissions de GES à l'échelle du quartier. Interface Web.
Carb'Elioth		Outil élaboré par Egis Bâtiments, donc facilité d'obtention des données. Calcul des émissions carbone à l'échelle du bâtiment.
PROSPENER		Outil permet de comprendre les principaux postes de consommation et d'émissions de GES.
NECATER		Outil se basant sur une évaluation financière pour analyser la neutralité carbone d'opérations d'aménagement.
NovaEquer		Logiciel analysant, grâce au cycle de vie d'un quartier, plusieurs indicateurs environnementaux dont les émissions de GES.
Calculettes Carbone		Logiciels calculant précisément les émissions de GES pour les travaux publics, la construction et l'énergie.
TRACC Expert		Logiciel possédant un module de calcul des émissions de GES des projets d'infrastructures routières (fabrication, transport et mise en œuvre).
CO2NCERNED		Outil réalisant des bilans CO ₂ pour les grandes infrastructures de transport.
GEMIS	Allemagne	Outil traitant notamment des émissions de GES, pouvant servir pour quelques éléments d'un projet d'aménagement.
GRIP	Royaume-Uni	Outil simplifié de quantification des émissions de GES à l'échelle urbaine (diagnostic territorial).
Carbon Tool Project	Canada	Outil en phase de développement qui pourra être utilisé pour calculer les émissions de GES en phase amont de projet.
Carbon Planning Tool	Royaume-Uni	Outil permettant de quantifier les émissions de GES en phase construction et en phase exploitation d'un projet d'aménagement.
Curb Tool	Non indiqué	Outil interactif de scénario d'évolution des émissions de GES pour un diagnostic territorial.

City Explained	Etats-Unis	Extensions SIG de visualisation des impacts d'un projet, notamment les émissions de GES.
DPA	Canada	Modélisation de scénarios de développement urbain, dont les émissions de GES à court et à long terme.
INDEX (And Cool Spots)	Etats-Unis	Extension SIG évaluant les émissions de GES d'un développement urbain.

Afin d'appuyer les faits évoqués dans la littérature, un exemple d'application va être effectué concernant un projet d'aménagement urbain dont la filiale Egis Structure et Environnement est le maître d'œuvre. Cet exemple permettra de mettre en évidence les limites de l'outil BC® de l'ADEME concernant l'aménagement du territoire et de formuler des premières préconisations à prendre en compte pour l'élaboration de l'outil BC pour la filiale Egis Structures et Environnement.

LIMITES DE L'OUTIL BC ® POUR UN PROJET URBAIN ET PREMIERES PRECONISATIONS

Le projet d'aménagement choisi ici porte sur la mise en place d'un Pôle d'Echange Multimodal (PEM) à Auray (56), réfléchi depuis début 2017. À la suite du projet « Bretagne à Grande Vitesse », la gare d'Auray ne sera plus qu'à 2h40 de Paris, ce qui engendrera une augmentation de 93% de voyageurs, ce que la gare d'Auray n'est pas en capacité d'accueillir actuellement. Les travaux de PEM répondent à trois enjeux :

- Augmenter la capacité d'accueil ;
- Développer, coordonner et faciliter les différents transports et leurs connexions ;
- Aménager l'accessibilité à tous.

Il représente le projet le plus décrit et détaillé dont la filiale Egis Structures et Environnement dispose afin de pouvoir réaliser un BC. Il est à noter que le BC n'a pas été calculé pour ce projet par la filiale.

Parcours du dossier du projet

- *Limite 1 : Collecte de données*

En parcourant le dossier de ce projet avec les documents de la phase avant-projet (AVP) envoyés par le client, le premier élément marquant a porté sur la multiplicité des organismes ayant réalisé chacun des documents. Peuvent être cités l'Arep, DEKRA Industrial SAS ou encore Bureau Veritas. Plus il y a d'organismes, plus la collecte de données se complique, étant donné que la communication peut devenir difficile. En effet, la communication est un élément essentiel afin de pouvoir obtenir le maximum d'informations possibles. La première limite de la réalisation d'un BC pour un projet d'aménagement porte donc sur la difficulté de collecte de données. Il s'agit d'une limite matérielle et non structurelle, l'étude ne pourra pas lever cette limite mais des préconisations seront formulées.

- *Limite 2 : Peu de documents utiles pour un BC*

Le deuxième élément marquant est également en lien avec la collecte de données. En effet, les seuls documents pouvant être utiles à la réalisation d'un BC sont au nombre de deux : l'estimatif des travaux et la notice descriptive de ces travaux. L'estimatif des travaux est un papier chiffré sur les différents travaux réalisés ou à réaliser, leurs quantités, leurs surfaces et leurs coûts. La notice descriptive des travaux est un papier permettant d'obtenir plus de détails, notamment au niveau des matériaux et des quantités. Ces documents portent uniquement sur la phase construction du projet. Il est tout de même possible d'avoir plus de documents sur certains projets, cela dépend du projet en tant que tel et des éléments dont dispose le client. Certains documents écrits peuvent aussi éventuellement aider à comprendre les chiffres ou les procédés mis en œuvre pour certains types de travaux, par exemple sur le type d'engins utilisé, mais ces éléments ne sont pas toujours décrits. Cela implique donc de devoir aller farfouiller dans de multiples documents pour obtenir des informations.

Mise en application du BC du projet

- *Limite 3 : Manque de données confirmée lors de la mise en application*

La mise en application du BC pour ce projet a été effectuée avec le tableur BC ® de l'ADEME, onglet par onglet. Cette approche a permis d'identifier et de placer les informations disponibles et adéquates dans l'outil BC ®, ainsi que d'en révéler les limites. L'exercice a été uniquement effectué sur la voirie/le revêtement du projet, les autres éléments ayant été analysés mais non reportés dans le tableur BC ® (*Annexe 3, page 62*). Une des premières limites lors de la mise en application a été le manque de données. En effet, de nombreux éléments ne sont pas indiqués, tels que la quantité d'énergie utilisée lors des travaux, les engins utilisés, ou encore les déplacements effectués ou à effectuer (visites de site, investigations in situ, déplacements lors des travaux...). L'onglet Energie du tableur BC ® n'a ainsi pu être rempli, n'ayant pas d'informations concernant la consommation énergétique lors des travaux, ainsi que l'onglet Hors Energie, l'onglet Fret, l'onglet Déplacements et l'onglet Utilisation.

- *Limite 4 : Unités et conversion*

Les quelques données exploitables ont permis de remplir l'onglet Intrants, notamment sur les matériaux de construction. Pour chaque matériau, un total de toutes les quantités utilisées a été effectué. Deux autres limites de l'outil BC ® se sont révélées. La première porte sur les unités. En effet, les unités données par le client ne correspondent pas toujours aux unités des FE disponibles dans la Base Carbone de l'ADEME ou dans la Base INIES. A titre d'exemple, l'estimatif des travaux indique que la chaussée sera construite en enrobé noir. Le choix a été fait de prendre l'intitulé « Enrobé bitumineux, France continentale, Base Carbone » pour le poste d'émissions, en faisant l'hypothèse que l'enrobé noir correspondait à du béton bitumineux. Cependant, les données disponibles sont en m² et le FE de l'enrobé bitumineux est exprimé en kg éqCO₂/tonne. Deux solutions ont donc été envisagées.

La première solution a été d'aller chercher d'autres FE dans la Base Carbone. Il est possible d'avoir des FE selon le trafic en kg éqCO₂/m² (*Figures 8 et 9*). Cependant, cela impose de connaître le trafic du futur projet d'aménagement.

Catégorie de voie	Trafic journalier prévu en poids lourds (dans chaque sens)	Trafic journalier prévu en véhicules particuliers
TC1	< 25	< 380
TC2	25 à 50	400 à 750
TC3	50 à 150	750 à 2 300
TC4	150 à 300	2 300 à 4 600
TC5	300 à 750	4 600 à 11 500
TC6	750 à 2 000	11 500 à 31 000
TC7	2 000 à 5000	31 000 à 77 000
TC8	Plus de 5000	Plus de 77 000

Figure 8 : Trafic des différentes catégories de voies routières (source : Base Carbone de l'ADEME)

Type de voie	kgCO _{2e} / m ² selon la structure		
	Béton armé	Semi-rigide	Bitume
TC1	312	147	55
TC2	319	165	73
TC3	337	165	92
TC4	367	198	103
TC5	385	209	117
TC6	422	220	136
TC7	458	238	147

Figure 9 : FE de la construction de routes en fonction du type de voie (source : Base Carbone de l'ADEME)

Trois différents postes d'émissions ont été déterminés :

- **Voirie lourde** : Une estimation de 250 camions par jour est formulée dans le document. Cela correspond donc à une catégorie de voie TC4 et à un FE de 103 kg éqCO₂/m² pour 6 650 m² (interprétation personnelle de la voirie lourde) ;
- **Voies de circulation parkings et pistes cyclables** : Une estimation de 24 camions par jour est formulée dans le document. Cela correspond donc à une catégorie de voie TC1 et à un FE de 55 kg éqCO₂/m² pour 6 900 m² ;
- **Structure lourde** : Aucune estimation n'est formulée. Il est donc supposé une catégorie de voie TC1 étant donné que la structure lourde est destinée uniquement à l'accessibilité aux convoyeurs de fond et aux véhicules de pompiers. Le FE est de 55 kg éqCO₂/m² pour 100 m² (interprétation personnelle).

Les FE trouvés ont ensuite été entrés dans le tableur BC ®, afin de pouvoir réaliser les calculs.

Intrants 1						
Postes d'émission :	Métaux Agricole	Plastiques Ratios € Bilan GES	Verre Puits	Papier	Construction	Chimie
Total :	Postes	Bilan GES	GHG Protocol	ISO 14069	CDP	Descriptif

Matériaux de construction					
Matériaux de construction	Rappel Emissions kg CO2e	Quantités utilisées	Facteur d'émission	Unités utilisées	kg CO2e
Enrobés bitumineux voie TC1, France continentale, Base Carbone	379 500	6 900	55,00	kgCO2e/m ²	379 500
Enrobés bitumineux voie TC1, France continentale, Base Carbone	5 500	100	55,00	kgCO2e/m ²	5 500
Enrobés bitumineux voie TC4, France continentale, Base Carbone	684 950	6 650	103,00	kgCO2e/m ²	684 950
Béton armé, France continentale, Base Carbone	0		155,00	kgCO2e/tonne	0
Total	1 069 950				1 069 950

Incertitude		
incertitude TOTALE	donnée	kg CO2e
20%	aucune	75 900
20%	aucune	1 100
20%	aucune	136 990
0%		0
15%		156 615

Figure 10 : PEM Auray - Onglet Intrants - Matériaux de construction – Solution 1 (version 8)

Le résultat est de 1 069 950 kg éqCO₂, soit 1 069,95 t éqCO₂, pour la chaussée en enrobé noir, selon la première solution.

La deuxième solution a consisté à transformer les m² en tonnes, en multipliant les m² par les mètres de largeur de voiries mises en place, puis en transformant les m³ obtenus en kg puis en tonnes avec la densité du béton bitumineux :

- Largeur moyenne estimée : 48 cm soit 0.48 m (hypothèse par le calcul) ;
- Surface totale d'enrobé bitumineux : 13 650 m² ;
- Densité béton bitumineux : 2 350 kg/m³.

Le calcul suivant a été effectué : $(0.48 * 13\ 650) * 2\ 350 = 15\ 397\ 200$ kg soit 15 397.2 tonnes.

Intrants 1						
Postes d'émission :	Métaux Agricole Postes	Plastiques Ratios € Bilan GES	Verre Puits GHG Protocol	Papier ISO 14069	Construction CDP	Chimie Descriptif
Total :						
Matériaux de construction						
Matériaux de construction	Rappel Emissions kg CO2e	Quantités utilisées	Facteur d'émission	Unités utilisées	kg CO2e	
Enrobés bitumineux, France continentale, Base Carbone	820 671	15 397	53,30	kgCO2e/tonne	820 671	
Enrobés bitumineux, France continentale, Base Carbone	0		53,30	kgCO2e/tonne	0	
Enrobés bitumineux, France continentale, Base Carbone	0		53,30	kgCO2e/tonne	0	
Béton armé, France continentale, Base Carbone	0		155,00	kgCO2e/tonne	0	
Total	820 671				820 671	

Incertitude		
incertitude TOTALE	donnée	kg CO2e
20%	aucune	164 134
0%		0
0%		0
0%		0
20%		164 134

Figure 11 : PEM Auray - Onglet Intrants - Matériaux de construction - Solution 2 (version 8)

Le résultat est de 820 671 kg eqCO_2 pour la chaussée en enrobé noir, selon la deuxième solution.

Selon la technique employée, et selon les interprétations, les résultats ne sont donc pas les mêmes, ce qui peut questionner sur la pertinence des résultats du BC.

- *Limite 5 : Formulation de nombreuses hypothèses*

La deuxième limite de la mise en application du BC du projet dans l'outil BC ® porte sur la formulation de nombreuses hypothèses car de nombreux FE correspondants aux données d'activité n'existent pas encore sur la Base Carbone ou la Base INIES. A titre d'exemple, pour le stationnement, une chaussée drainante est envisagée. Cependant, aucun FE n'a été trouvé pour ce type de matériau. L'hypothèse d'utiliser le FE de l'enrobé noir a été formulée car les chaussées drainantes ne sont qu'un tout petit peu plus perméables que l'enrobé noir (transfert des eaux vers un système drainant). L'opération a donc été effectuée avec une surface de 5 150 m² de chaussée drainante et un FE de 55 kg eqCO_2/m^2 .

La même constatation a été dressée concernant les trottoirs et cheminements piétons en béton désactivé et granit. L'hypothèse d'utiliser le FE du béton de ciment(routier), dans la Base Carbone, a été formulée pour le béton désactivé avec une surface de 3 400 m² et un FE de voirie type TC1 et structure semi-rigide soit 147 kg eqCO_2/m^2 . L'hypothèse d'utiliser le FE d'une pierre naturelle, dans la Base INIES, a été formulée pour le granit avec une surface de 6 150 m² et un FE de 66.4 kg eqCO_2/m^2 .

La formulation de nombreuses hypothèses, comme faite pour cet exemple d'application, peut fausser le résultat du BC. Les FE sont encore peu nombreux pour les projets d'aménagement. La filiale Egis Structures et Environnement pallie cette limite en définissant des FE par retours d'expérience sur travaux.

De nombreuses données restent donc difficilement utilisables pour la réalisation d'un BC. Un tableau a été réalisé pour le projet PEM d'Auray distinguant les données non utilisables pour la réalisation d'un BC (pas de chiffrage, pas de FE, données du client succinctes...), les données potentiellement utilisables (FE déterminés en fonction d'hypothèses, données du client à approfondir...) et les données utilisables (Annexe 3, page 62).

Des préconisations formulées pour chaque limite relevée lors de l'exemple d'application

Certaines préconisations peuvent être formulées sur chacune des limites observées lors de l'exemple d'application, afin d'orienter la méthodologie et la conception de l'outil BC pour la filiale Egis Structures et Environnement.

Les trois premières limites portent sur la **difficulté de collecte des données** auprès du client et auprès des organismes ayant réalisé différentes études pour le projet. L'idée serait, ici, de réaliser un BC en trois phases : un BC pour la phase avant-projet (terrain initial), un BC pour la phase construction du projet et un BC pour la phase exploitation du projet. Cela permettrait de pouvoir suivre et évaluer le

BC sur le long terme, et d'en voir l'évolution. Afin d'obtenir un maximum d'informations nécessaires, un document, destiné au client, pourrait être réalisé en amont. Cela permettrait au client d'être orienté et de connaître toutes les informations dont la filiale Egis Structures et Environnement a besoin pour réaliser le BC du projet d'aménagement en question, que ce soit au niveau énergétique, au niveau du fret, au niveau des déplacements... Une préparation à l'outil devra être obligatoire pour la filiale.

La quatrième limite porte sur les **unités**, et notamment sur le fait que les données récoltées ne sont pas toujours dans l'unité recherchée, ce qui complique l'utilisation du tableur BC ® de l'ADEME (conversions pas toujours simples à effectuer). L'idée serait, ici, de construire l'outil BC pour la filiale Egis Structures et Environnement en fonction des unités des FE accessibles. Le document envoyé en amont au client serait construit de manière à ce qu'il ne puisse remplir l'information que dans l'unité souhaitée, ce qui faciliterait l'utilisation de l'outil.

Enfin, la dernière limite observée porte sur la formulation de nombreuses hypothèses du fait d'une **liste incomplète de FE** pour les projets d'aménagement. Ce point risque d'être plus compliqué à pallier étant donné que les FE sont difficiles à estimer. Le nombre d'hypothèses tendra à être limité en ayant les informations souhaitées en amont par le client. L'outil devra être adaptable, c'est-à-dire que de nouveaux FE pourront être insérés dans l'outil afin qu'il soit de plus en plus compatible avec les demandes des clients.

Des éléments de difficultés supplémentaires relevés par la filiale Egis Structures et Environnement

En plus des limites observées lors de l'exemple d'application, la filiale Egis Structures et Environnement a relevé d'autres éléments posant des difficultés dans la réalisation d'un BC pour un projet d'aménagement avec le tableur de l'ADEME. Tout d'abord, l'identification du périmètre du bilan peut s'avérer difficile : il faut acter avec le client si des impasses seront réalisées sur certains sujets, qui ne sont pas de gros générateurs de GES pour le projet, ou si un bilan très détaillé est préférable, ce qui rend la démarche plus longue et plus coûteuse. Un périmètre pour chaque projet devrait ainsi être défini afin de réaliser convenablement un BC. De plus, souvent, le client demande un BC car il y est obligé mais il ne l'a rarement budgété : il souhaite le faire à moindre prix et n'en voit pas forcément l'intérêt. La filiale Egis Structures et Environnement doit donc lui montrer à quoi cela peut servir, notamment qu'il peut optimiser son chantier ou son projet global et l'impliquer dans sa réalisation. En effet, si le client n'est pas impliqué, les données d'entrée seront difficiles à obtenir.

C'est face à ces limites de l'outil BC ® de l'ADEME concernant les projets d'aménagement que la filiale Egis Structures et Environnement souhaite mettre en place un outil adapté à leurs besoins et à leurs préférences. L'élaboration d'une méthode BC, répondant à cette demande, représente tout l'enjeu de ce PFE. Celle-ci, ainsi qu'une première approche d'un outil, seront exposées en simulant un projet de Zone d'Aménagement Concerté (ZAC).

UN OUTIL BC ADAPTE AUX PROJETS D'AMENAGEMENT

La méthodologie de l'outil BC adapté aux projets d'aménagement

Le BC pour un projet d'aménagement devra suivre la méthodologie suivante :

1 – Définition du périmètre du bilan : Celui-ci sera défini directement dans l'outil BC via les données d'activités souhaitées.

2 – Détermination de la procédure de calcul :

- Identification des postes importants d'émissions de GES : les sources principales seront identifiées, pour chaque type d'aménagement exposé dans la suite du rapport, étant donné que les flux de GES sont très nombreux et souvent difficilement quantifiables.
- Sélection de la méthodologie de calcul adaptée aux besoins et aux postes d'émissions identifiés : La méthode de calcul sera identique à celle de l'ADEME, à savoir
Données d'activités * FE = Emission de GES.
- Collecte de données relatives aux différents postes d'émissions : cette collecte de données sera mise en place le plus en amont possible.
- Application de la méthodologie de calcul pour évaluer les émissions de GES correspondant aux différents postes d'émissions (outil de calcul).

3 – Détermination des FE : Ces FE seront choisis et déterminés grâce aux bases de Carbone de l'ADEME et de l'INIES et aux FE utilisés dans d'autres outils BC. La liste des FE devra être la plus exhaustive possible, tout en étant la plus simplifiée possible, afin de répondre à l'objectif d'une utilisation plus aisée par les futurs utilisateurs.

4 – Utilisation de l'outil de calcul BC.

L'objectif et le principe de fonctionnement de l'outil BC adapté aux projets d'aménagement

L'objectif de cet outil sera de répondre aux besoins et aux préférences de la filiale Egis Structures et Environnement en tant qu'utilisateur final de l'outil BC pour des projets d'aménagement. Les limites de l'outil BC ® de l'ADEME devront être dépassées.

L'idée générale de cet outil sera de réaliser un BC complet, c'est-à-dire un BC avant-projet sur l'état initial du terrain, un BC de la phase de construction du projet et un BC de la phase d'exploitation du projet. Toute catégorie de projet d'aménagement pourra bénéficier d'un calcul de BC, ces catégories devant être préalablement définies pour l'outil BC.

L'outil sera conçu sur un tableur Excel et son utilisation sera dynamique. Dès le départ, la catégorie d'aménagement sera choisie et cela permettra de ne sélectionner que les éléments en lien avec cette catégorie. L'outil sera ainsi plus facile à manier et à utiliser.

Un BC pourra également être réalisé à la suite de la construction du projet afin de le comparer à celui réalisé en amont et de déterminer les postes d'émissions omis et/ou à approfondir.

La définition des catégories d'aménagement de l'outil BC adapté aux projets d'aménagement

Afin que l'outil BC soit opérationnel à terme pour toute catégorie d'aménagement, celles-ci ont été préalablement définies. L'idée a été de n'omettre aucun type d'aménagement, tout en définissant des catégories où aucun doublon ne serait observé entre les catégories. La liste des différentes catégories d'aménagement, regroupant des sous-catégories, est disponible en Annexe 4, page 65. Chacune de ces

catégories, et sous-catégories, pourront et devront être sélectionnées dans l'outil afin de définir le type du projet d'aménagement.

Il est à noter que cette liste peut évoluer et être modifiée au cours du temps, si la compatibilité avec les projets, sur lesquels travaille l'entreprise, n'est pas respectée.

L'outil BC adapté aux projets d'aménagement : une combinaison entre l'outil GES OpAm et l'outil BC de l'AFD

La réalisation de l'outil BC s'appuiera sur deux outils déjà élaborés par l'AFD et par le CERTU, et étudiés lors de la phase de recherche. Ceux-ci sont adaptés à l'élaboration de BC pour des projets d'aménagement et semblent être les outils répondant le mieux aux besoins et aux préférences de la filiale Egis Structures et Environnement.

L'AFD s'est dotée d'un instrument de quantification et de réduction des émissions de GES engendrées par les projets qu'elle finance depuis 2007 (AFD, 2017). C'est un outil inspiré de celui de l'ADEME, qui repose sur les travaux de Jean-Marc Jancovici, auteur principal des versions 1 à 6 du BC © de l'ADEME, et qui a été adapté par la Société Financière Internationale (SFI) pour les propres besoins de l'AFD (AFD, 2017). Il permet une évaluation temporelle des projets : processus prospectif (AFD, 2017). L'objectif de cet outil est de déterminer l'empreinte carbone d'un projet tout en estimant les émissions induites par son existence, c'est-à-dire tant par sa construction que par son fonctionnement (AFD, 2017). Un différentiel d'émissions est ensuite calculé entre la situation avec projet et une situation de référence, situation la plus probable en l'absence de projet (AFD, 2017). Le bilan net des émissions permet de déterminer si l'impact global du projet est positif ou négatif pour le changement climatique (AFD, 2017).

Le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE) a également souhaité développer une série de trois outils sous le nom générique de « GES et Urbanisme » : GES SCOT, GES PLU et GES OpAm (CERTU, 2012a). Ils s'utilisent pour comparer différents scénarios d'aménagement respectivement à l'échelle d'un SCOT, d'un PLU et d'une opération d'aménagement (CERTU, 2012a). La conception du contenu de ces outils et la rédaction des manuels associés ont été réalisées par le CERTU. La phase d'expérimentation a été pilotée par l'ADEME (CERTU, 2012b). L'outil GES OpAm est celui dont l'échelle correspond à celle des projets d'aménagement. Il s'utilise dans les phases amont des projets, lors des études préalables et pré-opérationnelles ou de faisabilité (CERTU, 2012a). Par opération d'aménagement, l'outil entend essentiellement les ZAC mais il peut également servir pour d'autres types d'aménagement similaires, tels que des lotissements (CERTU, 2012a). Ce fait limite son utilisation à une seule catégorie d'aménagement.

Le cahier des charges de l'outil stipule qu'il doit :

- Être nécessairement simple d'utilisation ;
- Être facile d'appropriation par les agents et les élus ;
- Être avec une méthode transparente, des mesures et des résultats justifiables et calculés le plus objectivement possible ;
- Faciliter au maximum la collecte des données et leur actualisation régulière (CERTU, 2012c).

Il est cependant à noter que l'outil GES OpAm fonctionne en kg éqC et non en kg éqCO₂.

La détermination des postes d'émissions destinés à l'élaboration de l'outil BC adapté aux projets d'aménagement

C'est l'outil GES OpAm qui a été analysé le plus précisément afin d'amorcer l'outil BC dans le cadre de ce PFE, tout en prenant en compte certains éléments développés par l'AFD. La ZAC a été la catégorie d'aménagement sur laquelle les recherches et les travaux se sont attardés, étant donné qu'elle regroupe de nombreux éléments d'aménagement.

Tout d'abord, ce sont les postes d'émissions les plus importants qui ont été déterminés afin d'orienter l'élaboration de l'outil BC, l'objectif étant d'obtenir un outil adapté mais également simplifié. C'est grâce à l'analyse de l'outil AFD que ces postes ont été définis avec l'attribution d'une certaine intensité d'importance. Les données d'activité nécessaires pour chaque poste d'émissions ont ensuite été identifiées en fonction des unités correspondantes aux FE, afin de limiter au maximum le problème des unités.

Quatre postes d'émissions ont été estimés pour une ZAC, délimitant ainsi le périmètre du projet, et chaque poste s'est vu attribuer des données d'activité ainsi que des FE :

❖ Le terrassement du terrain :

Tableau 6 : Poste d'émissions - Terrassement du terrain

Phase du projet	Origine des émissions	Importance	Données d'activité nécessaires	Unités	FE	Source des FE
Construction	Génie civil : terrassement (scope 1)	Moyenne	Volume de terre remuée et transportée	m ³	FE par défaut de la pelle : 1,2 kgeqCO ₂ /m ³ ; FE par défaut du camion : 12,8 kgeqCO ₂ /m ³	Outil GES OpAm

❖ Les bâtiments :

Tableau 7 : Poste d'émissions - Bâtiments

Phase du projet	Origine des émissions	Importance	Données d'activité nécessaires	Unités	FE	Source des FE
Construction	Matériaux de construction (scope 3)	Moyenne	Type de bâtiments à construire ; Type de matériau principal pour chaque bâtiment ; Surface de chaque bâtiment	m ²	FE selon le type et le matériau principal du bâtiment	Outil GES OpAM : Tableau Annexe 4
Exploitation	Consommation énergétique (scope 1)	Haute	Type de bâtiment ; Type d'énergie ; Usages de l'énergie ; Consommation d'énergie des bâtiments à construire (somme des consommations pour chaque type d'énergie)	kWh	FE selon l'énergie et les usages	Outil GES OpAM : Pour les logements tableau Annexe 5 ; Pour les bâtiments d'activité faire un ratio 40% éclairage et 60% chauffage/climatisation ; Pour les bâtiments d'autre type : FE : 205,33 geqCO ₂ /kWh

❖ La voirie (routes/aires de stationnement/trottoirs) :

Tableau 8 : Poste d'émissions - Voirie

Phase du projet	Origine des émissions	Importance	Données d'activité nécessaires	Unités	FE	Source des FE
Construction	Matériaux de construction (scope 3)	Moyenne	Type de voirie à construire ; Type de matériau de voirie à construire ; Surface de voirie à construire	m ²	FE selon le type de voirie et le type de matériau	Outil GES OpAm : Tableau Annexe 6
Exploitation	Transport de marchandises (scope 3)	Haute	Type de marchandises ; Type de véhicule ; Distance annuelle moyenne parcourue ou volume moyen annuel de marchandises transporté en fonction de la distance parcourue	km ou tonne/km	FE selon le type de marchandises et le type de véhicule	Base Carbone : Scope 3 - Transport de marchandises - Routier
	Transport de personnes (scope 3)	Haute	Type de véhicule ; Distance annuelle moyenne parcourue	km	FE selon le type de véhicule	Base Carbone : Scope 3 - Transport de personnes - Routier
	Maintenance (scope 3)	Basse				
	Consommations annexes (éclairage, etc) (scope 2)	Basse				

❖ Les réseaux :

Tableau 9 : Poste d'émissions - Réseaux

Phase du projet	Origine des émissions	Importance	Données d'activité nécessaires	Unités	FE	Source des FE
Construction	Matériaux de construction (scope 3)	Moyenne	Type de réseau ; Mètre linéaire de réseau à construire	ml	FE selon le type de réseau à construire	Outil GES OpAm : Tableau Annexe 7

❖ Les espaces publics :➤ Les espaces verts :

Tableau 10 : Poste d'émissions - Espaces verts

Phase du projet	Origine des émissions	Importance	Données d'activité nécessaires	Unités	FE	Source des FE
Exploitation	Entretien (scope 3)	Basse	Surface d'espaces verts à entretenir	m ²	FE : 110 gqeCO ₂ /m ²	Outil GES OpAm

➤ Les espaces publics minéralisés :

Tableau 11 : Poste d'émissions - Espaces publics minéralisés

Phase du projet	Origine des émissions	Importance	Données d'activité nécessaires	Unités	FE	Source des FE
Construction	Matériaux de construction (scope 3)	Moyenne	Surface d'espace public minéralisé à construire	m ²	FE construction de parking : 91,7 kgeqCO ₂ /m ²	Outil GES OpAm

➤ L'éclairage public :

Tableau 12 : Poste d'émissions - Eclairage public

Phase du projet	Origine des émissions	Importance	Données d'activité nécessaires	Unités	FE	Source des FE
Construction	Matériaux de construction (scope 3)	Moyenne	Nombre de luminaires	nb	FE d'un mât de candélabre: 216 kgeqCO ₂	Base INIES
Exploitation	Consommation d'énergie (scope 2)	Haute	Nombre de points lumineux ou linéaire de routes éclairées construites, en considérant une puissance électrique moyenne de 180 W, une durée annuelle d'utilisation de 3500h et, par défaut, 35 points lumineux/km	nb ou ml	FE : 0,11 kgeqCO ₂ /kWh	Outil GES OpAm

Le niveau d'importance des postes d'émissions est indiqué ici à titre indicatif, en s'appuyant sur le travail de l'AFD. Il pourra être modifié, étant donné que la significativité des postes d'émissions ne peut être réellement considérée que suite à la réalisation de plusieurs BC.

Il est à noter que, pour l'AFD, les postes d'émissions en phase construction sont quasiment systématiquement en importance moyenne alors que ceux de la phase exploitation sont quasiment systématiquement en haute importance. Cependant, le rapport au temps peut être questionné étant donné que les deux phases se réalisent sur une période de temps définie, mais celle de la construction est normalement plus courte que celle de l'exploitation. Les émissions de GES de la phase construction sont alors très importantes sur une courte période, tandis que celles de la phase exploitation sont plus faibles mais étalées dans le temps.

Concernant la phase construction, il a été supposé que les émissions liées aux matériaux de construction, et donc les FE associés, comprenaient la consommation énergétique des engins et le fret. La même hypothèse a été formulée pour le terrassement du terrain.

Pour ce qui est des matériaux de construction des bâtiments, il pourrait être intéressant d'intégrer un ratio car les clients donnent souvent des ratios (ex : 60% béton et 30% bois). Dans ces cas-là, il faudrait pouvoir intégrer, pour chaque type de bâtiment, un ratio à entrer dans l'outil avant le choix du type de matériau.

Pour ce qui est des FE, ceux-ci ont été déterminés via des hypothèses, soit personnelles soit venant de celles formulées lors de la conception de l'outil GES OpAm. Par exemple, le FE par défaut de la pelle lors du terrassement des terrains a été déterminé en supposant l'utilisation d'une pelle de 100 m³/heure, consommant 40 L de gasoil (0.8 kg éqC/L) par heure.

Concernant la phase exploitation, les données d'activités des postes d'émissions seraient importantes à recueillir, compte tenu du fait qu'elles concernent le projet en tant que tel. Cependant, il est reconnu que ces données sont très difficiles à obtenir en amont d'un projet (données prévisionnelles).

L'élaboration du document de recueil de données à envoyer au client

La détermination de ces postes d'émissions permet de mettre en place l'outil BC souhaité, ainsi que le document à envoyer au client, le plus en amont possible du projet, avec les données d'activités à recueillir.

Ce document se présente sous la forme d'un fichier Excel, composé de quatre feuilles : une feuille « Informations générales », une feuille « Situation avant-projet », une feuille « Construction » et une feuille « Exploitation ». Dans chaque feuille, les cellules en roses sont celles composées d'une liste déroulante, permettant d'orienter le client sur le choix à effectuer, tandis que les cellules en jaunes sont à remplir directement, avec l'unité correspondante. Les cellules doivent rester vides si aucune donnée n'est à saisir. Des données par défaut sont indiquées, pour certaines questions, si le client n'a pas accès à ces données.

La première feuille, intitulée « Informations générales », permet au client de choisir le type d'aménagement et de projet. Elle se base sur les catégories d'aménagement, définies préalablement. Par exemple, pour une ZAC, le client choisit « Aménagements urbains » pour la première question. Les éléments de choix de la seconde question s'organisent en fonction de la première : le client a alors le choix entre « ZAC/Ecoquartiers/Lotissements », « Bâtiments » et « Espaces publics ». La même logique est instaurée pour la troisième et dernière question de cette feuille.

1 - Quel est le type d'aménagement du projet ?											
Aménagements urbains											
2 - Quel est le type du projet?											
ZAC/Ecoquartiers/Lotissements											
3 - Quels sont les éléments à considérer dans le projet? (Cochez au moins une case)											
<input checked="" type="checkbox"/> Bâtiments											
<input checked="" type="checkbox"/> Voirie											
<input checked="" type="checkbox"/> Réseaux											
<input checked="" type="checkbox"/> Espaces publics											
PASSEZ A LA FEUILLE "AVANT-PROJET"											
NB :											
Les cellules en rose sont les cellules avec une liste déroulante, les cellules en jaune sont à remplir directement.											
L'importance des postes d'émission est indiquée par un surlignage des titres : en rouge = haute importance, en marron = importance moyenne.											
Selon les sections (ex : construction des bâtiments), le choix intitulé "choix 1" d'une section ne correspond pas au "choix 1" d'une autre section.											
Un cumul des surfaces doit souvent être effectué (ex : cumul des surfaces des logements collectifs).											
Si un élément du projet possède, par exemple, deux types d'énergies, le différencier dans choix 1 et dans choix 2 en indiquant le même type d'élément (ex : logements collectifs électricité et gaz = logements collectifs électricité et logements collectifs gaz).											
La multiplication des champs pour augmenter le nombre de données est possible simplement en faisant un copier coller des cellules souhaitées.											
Des valeurs par défaut ont été ajoutées pour certains éléments, notamment pour la phase utilisation, où les données sont prévisionnelles.											
<div style="display: flex; justify-content: space-between; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;"> Informations générales Avant-projet Construction Exploitation + </div>											

Figure 12 : Onglet "Informations générales" du document de recueil de données auprès du client

TERRASSEMENT									
1 - Pouvez-vous nous donner le volume de terre remuée et transportée?									
Volume de terre remuée :		m3							
Volume de terre transportée :		m3							
CONSTRUCTION DES BATIMENTS									
2 - Pouvez-vous nous donner des informations sur la construction des bâtiments?									
Type de bâtiments - choix 1 :		Logements collectifs			Type de bâtiments - choix 2 :		Activités - commerces		
Type de bâtiment principal - choix 1 :		Béton et bois géré durablement			Type de bâtiment principal - choix 2 :		Acier		
Surface de bâtiments - choix 1 :		m²			Surface de bâtiments - choix 2 :		m²		
Surface de bâtiments - choix 3 :		m²							
CONSTRUCTION DE LA VOIRIE (ROUTES/AIRES DE STATIONNEMENT/TROTTOIRS)									
3 - Pouvez-vous nous donner des informations sur la construction de la voirie, comprenant les routes, les aires de stationnement et les trottoirs?									
Type de voirie - choix 1 :		Voies de desserte			Type de voirie - choix 2 :		Trottoirs		
<small>Voies de desserte : elles permettent l'accès aux habitations et bâtiments d'activités, et ce à vitesse réduite. Voies de distribution : elles permettent de desservir les différents quartiers de l'agglomération. Voies à fort trafic : ce sont des voies structurantes de l'agglomération qui assurent les fonctions de transit et d'échange.</small>									
Type de matériau - choix 1 :		Enrobé à froid			Type de matériau - choix 2 :		Souple		
Surface de voirie - choix 1 :		m²			Surface de voirie - choix 2 :		m²		
Surface de voirie - choix 3 :		m²							
CONSTRUCTION DES RESEAUX									
4 - Pouvez-vous nous donner des informations concernant les réseaux à construire?									
Type de réseau - choix 1 :		Réseau d'assainissement			Type de réseau - choix 2 :		Réseau de gaz		
Longueur de réseau à construire - choix 1 :		ml			Longueur de réseau à construire - choix 2 :		ml		
Longueur de réseau à construire - choix 3 :		ml							
CONSTRUCTION DES ESPACES PUBLICS									
5 - Pouvez-vous nous donner la surface d'espace public minéralisé?									
Surface d'espace public minéralisé :		m²							
6 - Pouvez-vous nous donner le nombre de luminaires pour l'éclairage public?									
Nombre de luminaires :									
PASSEZ A LA FEUILLE "EXPLOITATION"									

Figure 14 : Onglet "Construction" du document de recueil de données auprès du client

Enfin, la dernière feuille, intitulée « Exploitation », permet d'indiquer les données d'activité concernant l'exploitation du projet. Les postes d'émissions, au nombre de trois (utilisation des bâtiments, utilisation de la voirie et utilisation des espaces publics), sont explicités en titre de section avec une couleur différente selon le niveau d'importance du poste (rouge : haute importance ; marron : importance moyenne).

Cette feuille fonctionne de la même manière que la feuille « Construction ».

UTILISATION DES BATIMENTS					
1 - Pouvez-vous nous donner des informations concernant la consommation énergétique des futurs bâtiments du projet?					
Type de bâtiments - choix 1 :	Logements collectifs	Type de bâtiments - choix 2 :	Logements collectifs	Type de bâtiments - choix 3 :	Activités - commerces
Type d'énergie - choix 1 :	Electricité	Type d'énergie - choix 2 :	Gaz	Type d'énergie - choix 3 :	Electricité
Usages de l'énergie - choix 1 :	Electricité spécifique	Usages de l'énergie - choix 2 :	Chauffage/ECS	Usages de l'énergie - choix 3 :	Chauffage/Climatisation/ECS
Consommation énergétique - choix 1 :		Consommation énergétique - choix 2 :		Consommation énergétique - choix 3 :	
	kWh		kWh		kWh
UTILISATION DE LA VOIRIE					
2 - Pouvez-vous nous donner des informations concernant les futurs transports de marchandises sur le terrain du projet?					
Type de marchandises - choix 1 :	Marchandises diverses	Type de marchandises - choix 2 :			
<i>Par défaut, marchandises diverses</i>					
Type de véhicules - choix 1 :	Camion porteur PTAC 12T	Type de véhicules - choix 2 :			
<i>Par défaut, camion porteur PTAC 12T</i>					
Volume moyen annuel de marchandises - choix 1 :		Volume moyen annuel de marchandises - choix 2 :			
<i>Par défaut, 330 tonnes (1,8 tonnes transportées aller/retour sur 183 jours)</i>					
Distance annuelle moyenne parcourue - choix 1 :		Distance annuelle moyenne parcourue - choix 2 :			
	km		km		
3 - Pouvez-vous nous donner des informations concernant les futurs déplacements de personnes sur le terrain du projet?					
Type de véhicules - choix 1 :	Voiture particulière	Type de véhicules - choix 2 :	Deux roues motorisés		
Distance annuelle moyenne parcourue - choix 1 :		Distance annuelle moyenne parcourue - choix 2 :			
	km		km		
UTILISATION DES ESPACES PUBLICS					
4 - Pouvez-vous nous donner la surface d'espaces verts à entretenir?					
Surface d'espaces verts :					
	m ²				
5 - Pouvez-vous nous donner des informations sur la consommation électrique des éclairages publics?					
Nombre de luminaires :		OU	Linéaire de routes éclairées :		
			<i>Par défaut, 35 points lumineux par km</i>		
Consommation électrique :					
<i>Par défaut, 180 W pour 3500 heures annuelles, soit 630 kWh</i>					
	kWh				

Figure 15 : Onglet "Exploitation" du document de recueil de données auprès du client

L'outil BC adapté aux projets d'aménagement : explication du fonctionnement pour une ZAC

L'élaboration de l'outil BC, uniquement à destination d'un projet de ZAC pour l'instant, se base essentiellement sur le document de recueil de données auprès du client. Il se compose des mêmes feuilles, à savoir « Informations générales », « Situation avant-projet », « Construction » et « Exploitation », ainsi que d'une feuille « Résultats », regroupant les résultats du BC. D'autres onglets techniques pourront et devront être ajoutés tels que des onglets pour les FE ou encore un onglet pour des aides aux calculs ou éventuelles conversions.

La feuille « Informations générales » permet d'indiquer un bref descriptif du BC, avec l'année, le nom de l'organisation le réalisant et le nom du site du projet, ainsi que les informations recueillies via le document envoyé au client concernant le site d'étude.

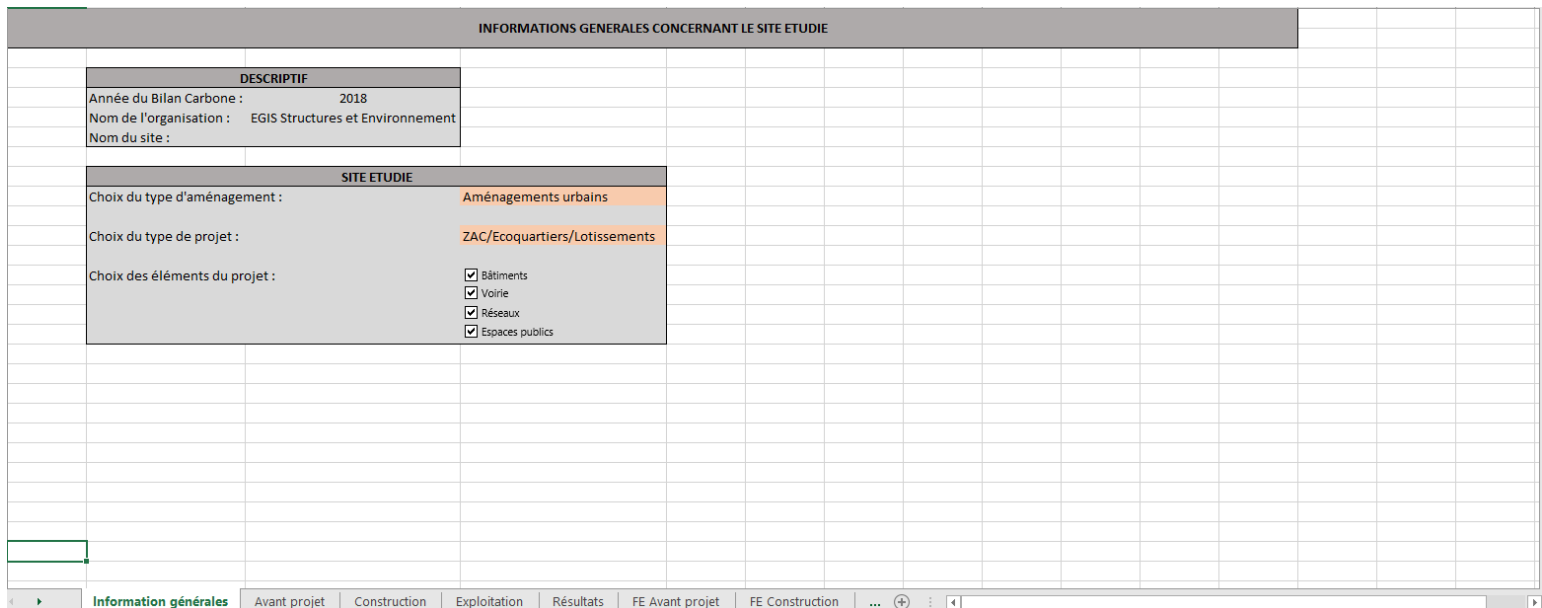


Figure 16 : Onglet "Informations générales" de l'outil BC

La feuille « Situation avant-projet » se compose des éléments de l'état actuel du site, ainsi que de quelques éléments concernant le projet. Les émissions principales sont indiquées en titre de section avec une couleur différente selon le niveau d'importance du poste (rouge : haute importance ; marron : importance moyenne ; jaune : importance basse). Ici, se retrouvent les émissions dues au déstockage de carbone, avec comme données l'occupation principale du sol avant-projet et la superficie du projet, ainsi que les émissions évitées par le changement d'occupation du sol, avec comme données la surface d'espaces verts créés. Pour chaque poste d'émissions, un FE apparaît, dans un tableau, en fonction de ce qui a été rempli dans les cellules. Dans ce même tableau, le calcul des émissions de GES est effectué, comme vu précédemment : $\text{Emissions de GES} = \text{Données d'activité} * \text{FE}$. Par exemple, pour les émissions dues au déstockage de carbone, le calcul représente la multiplication du FE associé à l'occupation actuelle du site et de la superficie du projet ($D13 * F11$ sur la Figure 17). Enfin, une section « Résultats » se trouve en bas de la feuille, calculant la différence entre les deux postes d'émissions (Emissions dues au déstockage de carbone – Emissions évitées par le changement d'occupation du sol).

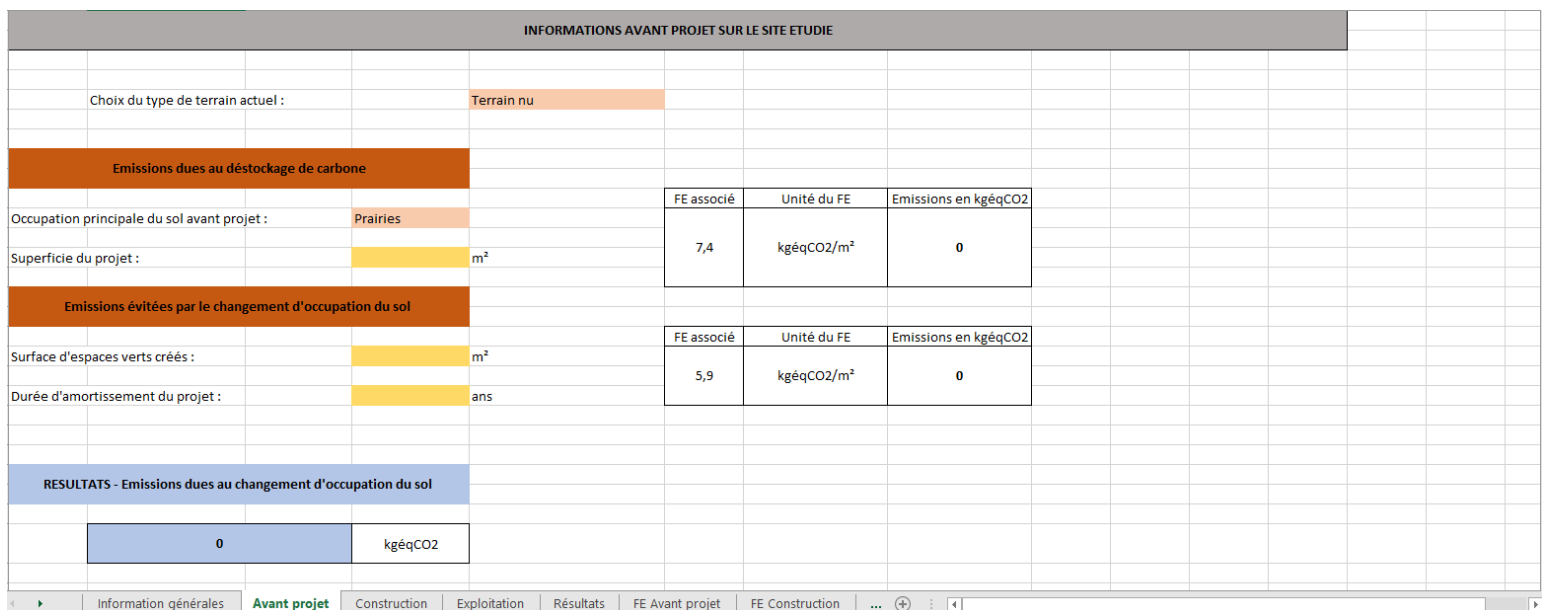


Figure 17 : Onglet "Situation avant-projet" de l'outil BC

liées à l'entretien des espaces et liées à la consommation énergétique de l'éclairage public. Pour chaque donnée d'activité indiquée, un FE apparaît, dans un tableau, en fonction de ce qui a été rempli dans les cellules. Le principe de fonctionnement de cette feuille est le même que celui de la feuille « Construction ».

INFORMATIONS CONCERNANT L'UTILISATION DU PROJET									
UTILISATION DES BÂTIMENTS									
Emissions liées à la consommation énergétique									
Type de bâtiments - choix 1: Logements collectifs	Type d'énergie - choix 1: Electricité	Usages de l'énergie - choix 1: Electricité spécifique	Consommation énergétique - choix 1: kVh	FE associé: 80	Unité du FE: gégCO2/kVh	Emissions en kgégCO2: 0			
Type de bâtiments - choix 2: Logements collectifs	Type d'énergie - choix 2: Gaz	Usages de l'énergie - choix 2: Chauffage/ECS	Consommation énergétique - choix 2: kVh	FE associé: 205,33	Unité du FE: gégCO2/kVh	Emissions en kgégCO2: 0			
UTILISATION DE LA VOIRIE (ROUTES/AIRES DE STATIONNEMENT/TROTTOIRS)									
Emissions liées aux transports de marchandises									
Type de marchandises - choix: Marchandises diverses	Type de véhicules - choix: Camion porteur PTAC12T	Volume moyen annuel de marchandises - choix 1: tonnes	Distance annuelle moyenne parcourue - choix 1: km	FE associé: 0,461	Unité du FE: kgégCO2/kVh	Emissions en kgégCO2: 0			
Type de marchandises - choix 2:	Type de véhicules - choix 2:	Volume moyen annuel de marchandises - choix 2: tonnes	Distance annuelle moyenne parcourue - choix 2: km	FE associé:	Unité du FE:	Emissions en kgégCO2:			
Emissions liées aux transports de personnes									
Type de véhicules - choix 1: Voiture particulière	Distance annuelle moyenne parcourue - choix 1: km	FE associé: 0,259	Unité du FE: kgégCO2/kVh	Emissions en kgégCO2: 0					
Type de véhicules - choix 2: Deux roues motorisés	Distance annuelle moyenne parcourue - choix 2: km	FE associé: 0,204	Unité du FE: kgégCO2/kVh	Emissions en kgégCO2: 0					
UTILISATION DES ESPACES PUBLICS									
Emissions liées à l'entretien des espaces verts									
Surface d'espaces verts: m²	FE associé: 10	Unité du FE: gégCO2/m²	Emissions en kgégCO2: 0						
Emissions liées à la consommation énergétique de l'éclairage public									
Nombre de luminaires: OU	Linéaire de routes éclairées: ml	Nombre de points/lin: (Par dévaz): 35	Consommation électrique: kVh	FE associé: 216	Unité du FE: kgégCO2	Emissions en kgégCO2: 0			
RESULTATS - Emissions dues à l'exploitation du projet									
0 kgégCO2									

Figure 19 : Onglet "Exploitation" de l'outil BC

Enfin, la feuille intitulée « Résultats » regroupent les résultats de chaque feuille et fournit le résultat global du BC, en additionnant chaque résultat obtenu.

RESULTATS DU BILAN CARBONE DU PROJET																		
RESULTATS - Emissions dues au changement d'occupation du sol																		
0		kgégCO2																
RESULTATS - Bilan Carbone du projet																		
RESULTATS - Emissions dues à la construction du projet																		
0		kgégCO2																
RESULTATS - Emissions dues à l'exploitation du projet																		
0		kgégCO2																

Figure 20 : Onglet "Résultats" de l'outil BC

La présentation de cet outil se veut purement explicative. Son opérationnalité ne sera mise en œuvre que lorsque les données d'activités ainsi que les FE nécessaires auront été déterminés pour chaque catégorie d'aménagement.

De plus, de nouvelles modifications de l'outil pourront être apportées une fois qu'un réel BC devra être calculé pour un projet. C'est en testant l'outil que de possibles manquements et/ou erreurs pourront être détectés.

La question du temps, et donc du calcul des émissions de GES sur toute la durée de vie des projets, pourra être soulevée avec la durée d'amortissement du projet. Pour la phase de construction, une durée de vie serait par défaut de 1 an (AFD, 2017). Pour la phase d'exploitation, elle serait de 50 ans pour les barrages, 30 ans pour les infrastructures de transport et 20 ans pour les autres projets (AFD, 2017). Le calcul des émissions annuelles pourra être réalisé en rapportant les émissions totales sur la durée de vie de l'infrastructure (soit la phase construction ajoutée à celle de l'exploitation) (AFD, 2017).

CONCLUSION

L'étude menée sur le BC ® de l'ADEME a permis de mettre en lumière les différents éléments de difficulté de l'outil concernant les projets d'aménagement et d'amorcer la création d'un outil spécifique adapté et simplifié, à l'aide de recherches effectuées sur d'autres outils et/ou méthodes BC. Cet outil, répondant aux besoins et aux préférences de la filiale Egis Structures et Environnement, a d'abord été conçu pour des projets de ZAC, son but étant de pouvoir réaliser un BC sur toute la durée de vie d'un projet, c'est-à-dire de la situation avant-projet jusqu'à la phase d'exploitation. Son développement devra être poursuivi pour toutes les catégories d'aménagement définies au sein de cette étude, ce qui pourra être un travail relativement long pour trouver les données d'activités nécessaires et les FE associés, tout en obtenant un outil le plus adapté et simplifié possible. La partie sur la recherche d'outils et méthode de comptabilité carbone pourra être exploitée dans ce cadre. L'outil pourra également être développé avec un volet important sur les incertitudes liées aux calculs mais également aux facteurs d'émissions. En effet, ces incertitudes peuvent questionner l'aspect chiffré des résultats. L'outil pourrait ainsi être réfléchi comme un outil d'aide à la décision avec des valeurs relatives et non quantifiées. La collecte de données auprès des clients devra également être engagée par la filiale Egis Structures et Environnement, en envoyant le document de recueil de données le plus en amont possible du projet, et en sensibilisant les clients à la question du calcul de BC et, donc, des émissions de GES.

Au-delà de la question du BC, qui n'indique que des mesures d'émissions de GES, le groupe Eiffage a mis en place un mécanisme innovant intitulé « Fonds d'arbitrage carbone » (ADEME - Direction Régionale Haute-Normandie, n.d.). Ce dernier permet de dépasser l'étape du BC afin de passer à l'action et trouver des solutions pour réduire les émissions des projets d'aménagement (ADEME - Direction Régionale Haute-Normandie, n.d.). En effet, cette démarche, déjà initiée par l'ADEME dans la conception de son outil BC ®, permet de cibler spécifiquement la réduction des émissions pour les projets d'aménagement, la démarche de l'ADEME ne visant pas précisément ce domaine. Les solutions énoncées sont traduites par la réflexion d'ouvrages avec des variantes de conception (innovations techniques et/ou optimisations ponctuelles) (ADEME - Direction Régionale Haute-Normandie, n.d.). L'idée est de proposer des solutions techniques présentant un BC sobre (ADEME - Direction Régionale Haute-Normandie, n.d.). L'idée est ainsi de pouvoir agir sur le projet avant même sa naissance. Ce mécanisme pourrait également être envisagé par la filiale Egis Structures et Environnement à la suite de la conception de l'outil BC, ou, au mieux, en parallèle. Cela permettrait d'appréhender la question de la comptabilité carbone de la manière la plus complète possible, tout en répondant aux enjeux actuels du changement climatique.

BIBLIOGRAPHIE

- ABC. *Guide méthodologique Bilan Carbone v8* : Objectifs et principes de comptabilisation [en ligne]. 2017. [05/09/2018].
- ADEME. *Réussir la planification et l'aménagement durables - Guide méthodologique* : Fiche "Etudes d'impact" [en ligne]. ADEME/Le Moniteur, 2013. [24/09/2018].
- Centre de ressources sur les bilans de gaz à effet de serre [02/10/2018]. URL : <http://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil>
- ADEME - Direction Régionale Haute-Normandie. *Retours d'expériences* : Fonds d'arbitrage carbone. Non daté.
- AFD. *Bilan Carbone projets AFD* : Guide méthodologique et manuel d'utilisation. 2017. [17/09/2018]
- AMORCE. *Réaliser et valoriser un bilan des émissions de GES sur le territoire de la collectivité* : les clés d'une démarche efficace. 2018. [09/10/2018].
- BE Inddigo, ADEME. *Guide pour une utilisation expérimentale "spécifique à l'urbanisme" du Bilan Carbone Territoire v5.0*. 2008. [14/09/2018]
- BROHE, Arnaud. "Introduction" et "La genèse de la comptabilité carbone" in : BROHE. *La comptabilité carbone*. Repères, 2013. p.3-19. La Découverte.
- BURGEAP, (ICE, EGIS, CSTB, EIVP, LVMT). *Etat de l'art des indicateurs et des outils de calcul de consommation énergétique et de GES* : De l'échelle du quartier à celle de l'agglomération. 2011. [07/11/2018]
- CERTU. *Emissions de GES et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios - Outils GES OpAm* : Manuel de l'utilisateur. 2012a. [25/11/2018]
- CERTU. *Emissions de GES et Opérations d'aménagement : Comparaison de scénarios d'aménagement - Outil GES OpAm* : Présentation. 2012b. [24/11/2018]
- CERTU. *Emissions de GES et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios - Outil GES OpAm* : Guide technique et des facteurs d'émission. 2012c. [24/11/2018].
- Commissariat Général au Développement Durable. *Chiffres clés du climat* : France, Europe et Monde. 2018. [12/09/2018]
- DE VAUJANY, François Xavier. *Management et Avenir* [en ligne], n°9, 2006, [05/10/2018]. URL : <https://www.cairn.info/revue-management-et-avenir-2006-3-page-109.htm>
- DUBE, Guylaine. *Les facteurs d'appropriation des outils de gestion et leur influence sur les formes d'appropriation : études de cas au sein d'un établissement du réseau de la santé et des services sociaux du Québec*. 173 p.
Mémoire : Maîtrise en gestion des organisations. Université du Québec à Chicoutimi. 2013.
- ICARE Environnement. *Bilan des Bilan Carbone* : Synthèse [en ligne]. 2010. [02/11/2018]
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Global Warming of 1.5°C* : Summary for Policymakers [en ligne]. Suisse : 2018.
- LE BRETON, Morgane, (AGGERI, Franck). *La construction de la comptabilité carbone* : histoire, usages et perspectives [en ligne]. Toulouse : Association Francophone de Comptabilité (AFC), 2015. [05/10/2018].
- LE HIR, Pierre. "La France veut mieux se préparer aux conséquences du changement climatique". *Le Monde* [en ligne], 2018, [21/12/2018]. URL : https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/12/20/la-france-veut-mieux-se-preparer-aux-consequences-du-changement-climatique_5400590_3244.html.
- MOREL, Gilles, HISSEL, François, AUNAY, Sylvain, DEMOTIER, Sabrina. "OSIRIS-Multirisques : une méthode et un outil d'aide à la décision pour les communes soumises aux risques majeurs". *Cybergéo*, 2009, [02/11/2018]. URL : <https://journals-openedition-org.proxy.scd.univ-tours.fr/cybergeo/22447>
- LE BRETON, Morgane, GOURDON, Thomas. "L'élaboration d'une politique publique environnementale : le Bilan Carbone ®". *Gérer et comprendre* [en ligne], n°129, 2017, [14/09/2018]. URL : <https://www.cairn.info/revue-gerer-et-comprendre-2017-3-page-13.htm>

- RADISSON, Laurent. "Les quatre insuffisances récurrentes des études d'impact". Actu Environnement [en ligne], 2017, [22/11/2018]. URL : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/etude-impact-insuffisances-autorite-environnementale-28817.php4>
- RIEDACKER, Arthur. "Effet de serre et politiques de lutte contre le changement climatique". Mondes en développement [en ligne], n°121, 2003, [12/09/2018]. URL : <https://www.cairn.info/revue-mondes-en-developpement-2003-1-page-47.htm>
- WAGUE, Jouairyatou. Entretien avec Mme Jouairyatou Wague - Cheffe de projet ABC. 2018.

ANNEXES

Annexe 1: Visuel de l'exercice d'application FerMa à partir de l'onglet Intrants et Futurs Emballages

Pour le bois :

Autres intrants				
Autres intrants	Rappel Emissions kg CO2e	Quantités utilisées		kg CO2e
Bois courte durée de vie (ameublement...), France continentale,	41 104	1 120	36,7 kgCO2e/tonne	41104
Câble électrique externe, Monde, Base Carbone	0		0,4 kgCO2e/m	0
Bois courte durée de vie (ameublement...), France continentale,	0		36,7 kgCO2e/tonne	0
Total	41 104			41 104

Incertitude	
incertitude	donnée kg CO2e
TOTALE	20 552
50%	0
0%	0
0%	0
50%	20 552

Figure 21 : Exercice FerMa - Autres intrants (version 8)

Pour les autres matériaux, hors futurs emballages :

Métaux					
Métaux	Rappel Emissions kg CO2e	Tonnes utilisées	% issu de recyclé	kgCO2e/tonne	kg CO2e
Acier ou fer blanc, France continentale, Base Carbone	2 871 000	900		3 190 neuf 1 100 recyclé	2 871 000
Aluminium, France continentale, Base Carbone	383 000	100		9 830 neuf 513 recyclé	383 000
Cuivre, France continentale, Base Carbone	0			2 930 neuf 2 930 recyclé	0
Nickel, France continentale, Base Carbone	0			3 170 neuf 3 170 recyclé	0
Total	3 254 000				3 254 000

Incertitude	
incertitude	donnée kg CO2e
TOTALE	287 100
10%	294 300
30%	0
0%	0
0%	0
11%	411 573

Plastiques					
Plastiques	Rappel Emissions kg CO2e	Tonnes utilisées	% issu de recyclé	kgCO2e/tonne	kg CO2e
Plastique (PVC), France continentale, Base Carbone	374 000	200		1 870 neuf 403 recyclé	374 000
Nylon, France continentale, Base Carbone	0			7 630 neuf 7 630 recyclé	0
Plastique (moyenne), France continentale, Base Carbone	0			2 380 neuf 202 recyclé	0
Plastique (PVC), France continentale, Base Carbone	0			1 870 neuf 403 recyclé	0
Total	374 000				374 000

Incertitude	
incertitude	donnée kg CO2e
TOTALE	74 800
20%	0
0%	0
0%	0
0%	0
20%	74 800

Verre				
Verre	Rappel Emissions kg CO2e	Kg utilisés	kgCO2e/kg	kg CO2e
Verre plat à motifs, Europe, Base Carbone	118 000	100 000	1,18	118 000
Fibre de verre recyclé, France continentale, Base Carbone	0		2,13	0
Verre technique (optique et électronique), France continentale, E	0		3,67	0
Verre d'emballage, Europe, Base Carbone	0		0,81	0
Total	118 000			118 000

Incertitude	
incertitude	donnée kg CO2e
TOTALE	23 600
20%	0
0%	0
0%	0
0%	0
20%	23 600

Figure 22 : Exercice FerMa - Métaux, Plastiques, Verre (version 8)

Pour les autres matériaux, futurs emballages :

Plastiques										
Plastiques	Rappel Emissions kg CO2e	Tonnes utilisées		% issu de recyclé	fabrication		fin de vie			
		kg CO2e	kg CO2e		kgCO2e/tonne neuf & recyclé	Fin de vie selon le type	kgCO2e/tonne incinération	kg CO2e fabrication	kg CO2e fin de vie	kg CO2e total
Plastique (moyenne), France continentale, Base Carbone	101 780	20			2 380	Plastique moyen	2 709	47 600	54 180	101 780
Nylon, France continentale, Base Carbone	0				7 630	Plastique moyen	2 709	0	0	0
Plastique (moyenne), France continentale, Base Carbone	0				2 380	Plastique moyen	2 709	0	0	0
Plastique (PVC), France continentale, Base Carbone	0				1 870	Plastique PVC	1 446	0	0	0
Total	101 780							47 600	54 180	101 780

Verre									

Papiers, cartons										
Papiers, cartons	Rappel Emissions kg CO2e	Quantités		unité	fabrication		fin de vie			
		utilisées	kgCO2e/tonne		kgCO2e/unité	choix Fin de vie	kgCO2e/unité	kg CO2e fabrication	kg CO2e fin de vie	kg CO2e total
Carton neuf, France continentale, Base Carbone	106 000	100	1 060,0	kgCO2e/tonne	1 060,0		0	106 000	0	106 000
Carton recyclé, France continentale, Base Carbone	0		1 060,0	kgCO2e/tonne	1 060,0		0	0	0	0
Papier Moyen, Hors utilisation et fin de vie, France continentale,	0		0,9	kgCO2e/Kg	0,9		0	0	0	0
Total	106 000							106 000	0	106 000

Figure 23 : Exercice FerMa - Plastiques, Papiers et cartons (version 8)

Pour la livraison de produits finis :

3 - Fret routier sortant													
Rappel Emissions kg CO2e	Caractérisation du transport		kgCO2e/km			kgCO2e/tonne.km			carburant			Dont part Scope 1 kg CO2e	
	kg CO2e	véhicule.km	mont	combustion	fabrication	tonne.km	mont	combustion	fabrication	kg CO2e	kg CO2e		kg CO2e
20 319			0,16	0,60	0,07	44 000	0,09	0,34	0,04	3 850	14 784	1 685	0
118 474			0,21	0,82	0,11	344 000	0,06	0,25	0,03	22 222	85 312	10 939	0
134 946			0,20	0,77	0,10	756 000	0,03	0,13	0,02	25 175	96 768	13 003	0
0			0,23	0,89	0,11		0,02	0,07	0,01	0	0	0	0
0			0,11	0,40	0,04		0,23	0,88	0,09	0	0	0	0
Total	273 739									51 247	196 864	25 628	0

Figure 24 : Exercice FerMa – Fret routier sortant (version 8)

Pour le transport de bois par bateau :

3 - Fret maritime entrant													
Rappel Emissions kg CO2e	Caractérisation du transport		kgCO2e/véhicule.km			kgCO2e/tonne.km			carburant			Dont part Scope 1 kg CO2e	
	kg CO2e	véhicule.km	mont	combustion	fabrication	tonne.km	mont	combustion	fabrication	kg CO2e	kg CO2e		kg CO2e
133 792			52,20		0,11	326,00	0,02	0,08	0,02	22 288	85 344	9 856	0
33 541			87,50		0,11	548,00	0,02	0,08	0,01	9 890	37 871	4 374	0
0			19,70		0,11	123,00	0,02	0,07	0,01	0	0	0	0
0					0,04		0,23	0,88	0,09	0	0	0	0
Total	167 332									23 107	144 225	0	0

Figure 25 : Exercice FerMa - Fret maritime entrant (version 8)

Pour le transport de bois et autres matériaux par route :

3 - Fret routier entrant													
Rappel Emissions kg CO2e	Caractérisation du transport		kgCO2e/km			kgCO2e/tonne.km			carburant			Dont part Scope 1 kg CO2e	
	kg CO2e	véhicule.km	mont	combustion	fabrication	tonne.km	mont	combustion	fabrication	kg CO2e	kg CO2e		kg CO2e
117 488			0,25	0,95	0,11	1 120 000	0,02	0,08	0,01	22 288	85 344	9 856	0
52 135			0,25	0,95	0,11	497 000	0,02	0,08	0,01	9 890	37 871	4 374	0
0			0,18	0,68	0,11		0,02	0,07	0,01	0	0	0	0
0			0,23	0,89	0,11		0,02	0,07	0,01	0	0	0	0
0			0,11	0,40	0,04		0,23	0,88	0,09	0	0	0	0
Total	169 623									32 178	123 215	14 230	0

Figure 26 : Exercice FerMa - Fret routier entrant (version 8)

Annexe 2 : Outils et méthodes de comptabilité carbone développés en interne

Tableau 13 : Projet de recherche - Quartier E+C-

PROJET DE RECHERCHE - QUARTIER E+C-					
<i>CSTB, Elioth, Alliance HQE-GBC, Efficacity, Effinergie, Certivéa, Association BBKA, Atlantech</i>					
Stade de développement de l'outil	En cours de lancement				
Année de lancement	2016				
Année de fonctionnement attendue	2021				
Objectifs	Ce projet de recherche vise à développer et tester une méthode d'évaluation Energie Carbone à l'échelle du quartier, que ce soit pour des bâtiments ou pour des opérations d'aménagement.				
Portée réglementaire	Oui				
Site web					
Cible géographique	France				
Type d'aménagement	Toutes opérations d'aménagement à l'échelle du quartier				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Oui				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Oui	Oui	Oui	Non indiqué	Oui
Type de support	Inconnu				
Remarque	Ce projet de recherche représente l'élaboration d'une méthode et non d'un outil.				

Tableau 14 : Outil GES OpAm

Outil GES OpAm					
<i>Maitrise d'ouvrage : DGALN - Maitrise d'ouvrage déléguée : CERTU comité technique associant l'ADEME, le CGDD, la DGEC, la DREAL RA, la DDEA 10, le PUCA - Maîtrise d'œuvre : CETEs, CERTU et factor X</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	2012				
Objectifs	Cet outil permet la comparaison de différents scénarios d'une opération d'aménagement au regard de leurs émissions en GES, afin d'apporter des éléments d'aide à la décision. Cette comparaison passe par l'évaluation des émissions de GES des différents scénarios d'aménagement du territoire.				
Portée réglementaire	Non				
Site web	https://www.cerema.fr/fr/actualites/ges-urbanisme-3-outils-reduire-emissions-ges-scot-plu				
Cible géographique	France				
Type d'aménagement	Toutes opérations d'aménagement				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Oui				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Oui dans le guide technique de l'outil				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Type de support	Tableur Excel				
Remarque					

Tableau 15 : Outil NEST

NEST (Neighborhood Evaluation for Sustainable Territories)					
<i>Nobatek, centre privé de recherche appliquée</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Durée du projet	Novembre 2013 - Septembre 2015				
Objectifs	L'outil NEST est un outil destinée aux maîtrises d'ouvrage dans le cadre de projets d'aménagement neufs ou de rénovation. Il permet l'évaluation quantitative des impacts environnementaux d'un quartier, dont les émissions de GES. Il s'appuie sur des retours d'expérience effectués par l'application de l'outil d'évaluation dans des projets d'aménagement de ZAC.				
Portée réglementaire	Non				
Site web	https://www.nobatek.inef4.com/produits/nest/				
Cible géographique	France				
Type d'aménagement	Toutes opérations d'aménagement à l'échelle d'un quartier.				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non indiqué				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non indiqué		Oui	Non indiqué	Oui
Type de support	Application Web et Plugin Sketch-Up				
Remarque	Le projet ESSAI URBAIN a adapté l'outil NEST aux besoins de la ville de St Sébastien (Espagne), en y intégrant les éléments liés à la consommation énergétique des bâtiments. Ce projet n'a été travaillé que de 2013 à 2015 et ne semble pas avoir eu de suite.				

Tableau 16 : Carb'Elioth

Carb'Elioth					
EGIS Bâtiments					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année					
Objectifs	Cet outil évalue les émissions de GES liées à la construction, à l'exploitation et à la déconstruction des bâtiments. Il intègre les émissions carbone des matériaux, de leur transport ainsi que la consommation énergétique du bâtiment.				
Portée réglementaire	Non				
Site web	https://www.rse-egis.fr/solution_egis/carbelioth-la-calcullette-carbone-qui-evalue-les-emissions-ges-liees-a-la-construction-a-l'exploitation-et-a-la-deconstruction-des-batiments-pour-vous-aider-a-les-concevoir/				
Cible géographique	France				
Type d'aménagement	Bâtiments				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Oui				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Oui	Non	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Type de support	Tableur Excel				
Remarque					

Tableau 17 : PROSPENER

PROSPENER					
Bureau d'études ICE (groupe BURGEAP)					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	2008				
Objectifs	Cet outil permet à la fois la réalisation d'un bilan d'émissions de GES suffisamment détaillé pour comprendre les principaux postes de consommation et d'émissions et leurs causes, et une modélisation prospective dynamique.				
Portée réglementaire	Non				
Site web					
Cible géographique	Europe				
Type d'aménagement	Tout aménagement, tout type de secteur (résidentiel, tertiaire, industrie, transports, agriculture...)				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non	Non	Non	Non	Oui
Type de support	Non indiqué				
Remarques	Cet outil semble surtout adapté pour l'élaboration de PCAET. Il examine les émissions de GES actuelles et prévisionnelles mais semble peu adapté aux projets d'aménagement.				

Tableau 18 : NECATER

NECATER (Neutralité Carbone des TERRitoires)					
<i>Bureau d'études Energies Demain pour la DIACT (Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires)</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	2006				
Objectifs	Cet outil permet d'analyser succinctement la neutralité carbone de programmes d'aménagement en se basant sur une évaluation financière. Le principe de calcul repose sur les échanges commerciaux et les dynamiques économiques. NECATER prend en compte les caractéristiques propres de chaque territoire en matière d'émissions de GES en s'appuyant sur un ensemble de statistiques nationales officielles (INSEE,...).				
Portée réglementaire	Non				
Site web					
Cible géographique	France				
Type d'aménagement	Toutes opérations d'aménagement				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non indiqué				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Non	Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non	Oui	Oui	Non	Oui
Type de support	Interface Web				
Remarques	NECATER est un outil prévu initialement pour les Contrats de projet Etat-Région (CPER). Il a été étendu aux programmes opérationnels financés par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER).				

Tableau 19 : NovaEquer

NovaEquer					
<i>Société IZUBA Energies</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel mais non commercialisé				
Années de développement	Depuis 1995				
Objectifs	Cet outil permet d'analyser le cycle de vie d'un quartier sur la base de plusieurs indicateurs environnementaux : quantité d'eau utilisée, énergie consommée, quantité de GES émise...				
Portée réglementaire	Non				
Site web	http://www.izuba.fr/logiciels/outils-logiciels/pleiades-acv/				
Cible géographique	France				
Type d'aménagement	Toutes opérations d'aménagement à l'échelle d'un quartier (basé spécifiquement sur le bâtiment)				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Oui				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Non	Non	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Oui	Non indiqué	Non	Non	Oui
Type de support	Logiciel				
Remarques	NovaEquer peut être utilisé pour comparer plusieurs plans masse d'une zone d'aménagement sur des critères d'analyse du cycle de vie. Il peut également être utilisé pour diagnostiquer un quartier existant. Cependant, il faut d'abord avoir modélisé et avoir réalisé la simulation thermique dynamique avec Pléiades + COMFIE pour réaliser l'ACV d'un bâtiment sous NovaEquer.				

Tableau 20 : Calculettes Carbone - ACV Produits et Clim'éco

Calculettes Carbone : ACV Produits et Clim'éco					
<i>Eiffage</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	2009				
Objectifs	Eiffage a développé de nombreuses "calculettes" carbone dans chacun de ses métiers : les travaux publics, la construction et l'énergie. L'objectif est de permettre aux clients d'objectiver les argumentaires environnementaux grâce à un calcul précis des émissions de GES.				
Portée réglementaire	Non				
Site web	http://www.eiffage.com/files/live/sites/eiffage/files/Catalogue_Eiffage/dossier19.pdf				
Cible géographique	Monde entier				
Type d'aménagement	Toutes opérations d'aménagement, selon l'outil choisi				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Oui				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Non explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Non	Non	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Type de support	Logiciel				
Remarques					

Tableau 21 : TRACC Expert

TRACC Expert (Techniques Routières Adaptées au Changement Climatique)					
<i>IFSTTAR et Membres du partenariat du projet Sud-Ouest Européen "TRACC" : CEREMA DTER Sud-Ouest, CG 31 et SPRIR Midi-Pyrénées</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	2011				
Objectifs	Cet outil est un logiciel d'aide à la décision permettant l'analyse comparative de techniques routières. Il comporte un module d'analyse environnementale où les émissions de GES sont calculées durant les phases de fabrication, transport et mise en oeuvre.				
Portée réglementaire	Non				
Site web	http://tracc-expert.ifsttar.fr/				
Cible géographique	Europe				
Type d'aménagement	Infrastructures routières				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non indiqué				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Oui	Non	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Oui	Oui	Non	Non	Non
Type de support	Logiciel				
Remarques	Une base de données Produits recense l'ensemble des techniques routières utilisées sur le territoire national français, avec des documents de synthèse pour chacune des techniques.				

Tableau 22 : CO2NCERNED

CO2NCERNED					
<i>Vinci Construction Grands Projet</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	2011				
Objectifs	Cet outil d'écomparaison a été développé pour réaliser les bilans CO2 des projets, tant pour le cadre bâti que pour les infrastructures.				
Portée réglementaire	Non				
Site web					
Cible géographique	France				
Type d'aménagement	Grandes infrastructures de transports				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non indiqué				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Non	Non	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non indiqué		Oui	Non	Non
Type de support	Non indiqué				
Remarques					

Tableau 23 : GEMIS

GEMIS					
<i>öko-institut et université polyvalente de Kassel (Allemagne)</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	1987				
Objectifs	Cet outil permet d'évaluer les impacts environnementaux et économiques des systèmes énergétiques. C'est un outil d'aide à la décision pour les collectivités le mettant en œuvre et il peut apporter des éléments essentiels à l'élaboration de la stratégie et de la planification énergétique du territoire. Il traite toutes les émissions polluantes, GES et autres émissions.				
Portée réglementaire	Non				
Site web					
Cible géographique	Monde entier, après mise à jour d'un certain nombre de données (FE et mix énergétique notamment)				
Type d'aménagement					
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non indiqué				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non concerné				Oui
Type de support	Logiciel				
Remarques	Un modèle "BASIS", non libre d'accès, a été développé pour la définition de scénarios. GEMIS est un outil adapté aux systèmes d'énergie, de transport et de flux de matière. Il peut servir de référence pour quelques éléments d'un projet d'aménagement, mais pas dans son intégralité.				

Tableau 24 : GRIP

GRIP					
<i>Tyndall Center, Royaume-Uni</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	2007				
Objectifs	Le modèle UIAF a été développé pour simuler l'évolution des impacts climatiques et des émissions de GES à l'échelle de la ville. L'atout du modèle est d'avoir un outil simplifié de quantification des émissions de GES à une échelle urbaine (GRIP).				
Portée réglementaire	Non				
Site web					
Cible géographique	Europe				
Type d'aménagement	Non concerné				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non concerné				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Non	Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non concerné				Oui
Type de support	Logiciel				
Remarques	Cet outil est utile pour réaliser un diagnostic du territoire, mais n'est pas adapté pour des opérations d'aménagement.				

Tableau 25 : Carbon Tool project

Carbon Tool project					
<i>Team of researchers from University of Toronto Engineering</i>					
Stade de développement de l'outil	En cours de développement				
Année					
Objectifs	L'objectif de cet outil porte sur la réduction des émissions de GES sur tous types de projets d'infrastructures. Cet outil d'aide à la décision pourra et devra être utilisé dans les phases les plus en amont des projets.				
Portée réglementaire	Non				
Site web	https://news.engineering.utoronto.ca/green-infrastructure-new-tool-help-construction-industry-reduce-carbon-footprint/				
Cible géographique	Canada				
Type d'aménagement	Tous projets d'infrastructures				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non indiqué				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Non indiqué	Non indiqué	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Oui	Oui	Non indiqué		Oui
Type de support	Non indiqué				
Remarques	L'outil sera doté de données issues d'anciens projets et de données publiques.				

Tableau 26 : Carbon Planning Tool

Carbon Planning Tool					
<i>Environment Agency, Royaume-Uni</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	2012				
Objectifs	Cet outil permet de calculer les émissions de GES sur la phase de construction d'un projet. Il peut également être utilisé pour calculer l'empreinte carbone finale du projet.				
Portée réglementaire	Non				
Site web	https://www.ice.org.uk/knowledge-and-resources/best-practice/environment-agency-carbon-calculator-tool				
Cible géographique					
Type d'aménagement	Toutes opérations d'aménagement				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Oui				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Oui	Non	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non	Oui	Non	Non	Non
Type de support	Tableur Excel				
Remarques					

Tableau 27 : Curb Tool

Curb Tool					
<i>C40 et World Bank, en partenariat avec AECOM</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	2016				
Objectifs	Curb Tool est un outil interactif de scénario d'évolution des émissions de GES à l'échelle d'une ville. Il permet aux collectivités de connaître leurs émissions et de réduire leur impact environnemental via différentes actions.				
Portée réglementaire	Non				
Site web	https://staging.c40.org/programmes/climate-action-for-urban-sustainability-curb				
Cible géographique	Monde entier				
Type d'aménagement	Non concerné				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non concerné				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Non indiqué	Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non concerné				Oui
Type de support	Tableur Excel				
Remarques	Cet outil est utile pour réaliser un diagnostic du territoire, mais n'est pas adapté pour des opérations d'aménagement.				

Tableau 28 : City Explained - CommunityViz

City Explained - CommunityViz					
<i>Orton Family Foundation - Vermont</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année					
Objectifs	Community Viz est un outil d'aide à la décision et de visualisation des impacts de projets d'aménagement, notamment en ce qui concerne les émissions de GES, grâce à un outil SIG.				
Portée réglementaire	Non				
Site web	http://communityviz.city-explained.com/index.html				
Cible géographique	Monde entier				
Type d'aménagement	Toutes opérations d'aménagement, à l'échelle minimum du quartier				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non indiqué				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non	Oui	Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non indiqué		Oui	Non indiqué	Oui
Type de support	Extensions SIG				
Remarques					

Tableau 29 : DPA

Development Pattern Approach (DPA)					
<i>University of British Columbia Design Centre for Sustainability's Neighbourhoods Lab - North Vancouver</i>					
Stade de développement de l'outil	En cours de développement				
Année					
Objectifs	Cet outil est une suite de méthodes afin de modéliser des scénarios de développement urbain et de quantifier leur performance grâce à des indicateurs de durabilité. Différentes caractéristiques sont mesurées telles que les émissions de GES associées à des zones spécifiques, que ce soit sur un diagnostic actuel ou une vision à long terme.				
Portée réglementaire	Non				
Site web					
Cible géographique	Monde entier				
Type d'aménagement	Toutes opérations d'aménagement				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non indiqué				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Non indiqué		Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non indiqué		Oui	Non	Oui
Type de support					
Remarques					

Tableau 30 : INDEX

INDEX (and Cool Spots)					
<i>Criterion planners - Etats-Unis (Oregon)</i>					
Stade de développement de l'outil	Opérationnel				
Année	1994				
Objectifs	L'outil INDEX est un logiciel basé sur un SIG comparant la consommation énergétique, les coûts, la pollution atmosphérique, les émissions de GES et d'autres indicateurs, que ce soit pour des conditions actuelles ou pour des scénarios de planification alternatifs.				
Portée réglementaire	Non				
Site web					
Cible géographique	Monde entier				
Type d'aménagement	Toutes opérations d'aménagements				
Réalisation au stade de l'étude d'impact	Non				
Explicatif des facteurs d'émission retenus	Pas explicité				
Cible sectorielle					
	Particuliers	Bureaux d'étude	Collectivités	Territoires	
	Oui	Oui	Oui	Oui	
Domaines de compétences					
	Etudes et travaux préalables	Construction	Exploitation	Fin de vie	Développement du territoire
	Non indiqué		Oui	Non	Oui
Type de support	Extension SIG				
Remarques	L'interface de l'outil permet son utilisation par des utilisateurs n'ayant pas forcément de compétences techniques. L'évaluation des émissions de GES du développement urbain proposé est susceptible de devenir une pratique standard comparable aux types d'études d'impact.				

Annexe 3 : Données utilisables ou non du projet PEM d'Auray pour la réalisation d'un BC

Tableau 31 : Données utilisables ou non du projet PEM d'Auray pour la réalisation d'un BC

Phase de travaux	Explicatif	Éléments d'aide à la mise en œuvre du BC	Valeur donnée	Source des FE	Valeur des FE
Installation de chantier	Installations propres au chantier	X	X	X	X
	Installations de signalisation et de son cantonnement	X	X	X	X
Travaux préparatoires – Terrassement	Nettoyage général du terrain	X	45 000 m ²	X	X
	Déconstruction de voiries existantes	X	21 300 m ²	Possibilité de prendre les FE des déchets de construction dans la Base Carbone	
	Déposes et démolition diverses	X	6 200 m ²	X	X
	Terrassement	Mouvement de terres (déblais et remblais)	24 130 m ³	Base Carbone	Déblais : 3,2 kgéqCO ₂ /m ² Remblais : 18,5 kgéqCO ₂ /m ²
Voirie – revêtement	Chaussée en enrobé (enrobé bitumineux)	Voirie lourde	6 650 m ² 5 cm de BBME, 10 cm de GB3, 25 cm de GNT	Base Carbone	103 kgéqCO ₂ /m ²
		Voies de circulation parkings + pistes cyclables	6 900 m ² 4 cm de BBSG, 8 cm de GB3, 25 cm de GNT	Base Carbone	55 kgéqCO ₂ /m ²
		Places de stationnement	5 150 m ² Tapis végétal, 7 à 10 cm de granulat, une couche d'assise en mélange terre/pierre	Base Carbone	55 kgéqCO ₂ /m ²
		Trottoirs et cheminement piétons	3 400 m ² 15 cm de béton désactivé	Base Carbone	FE(béton de ciment) : 174 kgéqCO ₂ /m ²
			6 150 m ² Granit	Base INIES	FE(pierre naturelle) : 66,4 kgéqCO ₂ /m ²

		Structure lourde	100 m ² 8/10 cm de pavé granit, 4 cm de lit de pose, 18 cm de béton BC5, 25 cm de GNT	Base Carbone	55 kgéqCO ₂ /m ²
Assainissement	Eaux pluviales	Canalisations en béton armé centrifugé	1 192 ml	Base INIES	135 kgéqCO ₂ /m
		Regards de visite en béton préfabriqué	67 u (diamètre de 1 m)	Base INIES	722 kgéqCO ₂ /u
		Bassin de rétention en béton lesté	155 m ³	Base INIES	FE pour 3 000 L : 2 520 kgéqCO ₂
		Caniveau	135 ml	X	X
		Noues avec complexe filtrant	400 m ²	X	X
		Bassin d'infiltration	210 m ³	X	X
	Eaux usées	Canalisations EU en grès	150 ml	X	X
		Bac à graisse	1 u	X	X
Eclairage extérieur		Candélabres	127 u	Base INIES	656 kgéqCO ₂ /u
		Tranchées	2 893 ml	Base INIES	FE des fourreaux disponibles selon leur matériau (Polyéthylène, PVC, polypropylène)
Réseaux divers	Eau potable	Tranchées	94 ml	Base INIES	FE des fourreaux disponibles selon leur matériau (Polyéthylène, PVC, polypropylène)
	Télécom & fibre optique	Tranchées	234 ml		
	Electricité	Tranchées	2 607 ml		
	Gaz	Tranchées	45 ml		
Mobiliers	Fourniture et mise en place	Mobiliers urbains divers	131 u	X	X
		Bornes escamotables et automatiques d'accès aux convoyeurs et pompiers	8 u	X	X

		Bornes énergie escamotables	1 u	X	X
		Barrières levantes	6 u	X	X
		Abri-vélos/Abribus	2 u	X	X
		Conteneurs enterrés	2	X	X
		Murets de soutènement	150 ml	X	X
		Panneaux de signalisation et panneaux de rue	X	X	X
		Signalisation horizontale en peinture blanche	X	X	X

BBME : Béton bitumineux à module élevé

GB3 : Granulat brut

GNT : Gravier non traité

BBSG : Béton bitumineux semi grenu

Ml : mètre linéaire

U : unité

Données non utilisables pour la réalisation d'un BC : pas de chiffrage, pas de FE, données du client succinctes...

Données potentiellement utilisables pour la réalisation d'un BC : FE déterminés en fonction d'hypothèses, données du client à approfondir...

Données utilisables directement pour la réalisation d'un BC

Annexe 4 : Les différentes catégories d'aménagement définies pour l'outil BC adapté aux projets d'aménagement

- Infrastructures de transport :

- Transport ferroviaire :
 - ✓ Rails
 - ✓ Bâtiment de gare
 - ✓ Voirie et quais (arrêts/stations, aires de stationnement, accès...)
 - ✓ Alimentation en électricité
 - ✓ Aménagements annexes (installations techniques, bâtiments hors gare, ouvrages d'art, Génie Civil (GC), signalisation...)
- Transport routier :
 - ✓ Routes/Voies
 - ✓ Aires de stationnement
 - ✓ Aménagements annexes (infrastructures de péage, ouvrages d'art, GC, signalisation, glissières de sécurité...)
- Transports urbains :
 - ✓ Tramway
 - Rails
 - Routes/Voies hors rails
 - Arrêts/Stations
 - Alimentation en électricité
 - Aménagements annexes (ouvrages d'art, GC, signalisation...)
 - ✓ Bus
 - Routes/voies
 - Arrêts/Stations
 - Alimentation en électricité (eBusWay)
 - Aménagements annexes (ouvrages d'art, GC, signalisation...)
 - ✓ Métro
 - Rails
 - Arrêts/stations
 - Alimentation en électricité
 - Aménagements annexes (ouvrages d'art, GC, signalisation...)
- Transport aérien : aéroports, structures anti-bruit, signalétique
 - ✓ Bâtiment (aérogare, terminal, tour de contrôle...)
 - ✓ Pistes
 - ✓ Aménagements annexes (bâtiments hors aéroport, aires de stationnement, structures anti-bruit, ouvrages d'art, GC, signalisation...)
- Circulations douces piéton/vélo
 - ✓ Routes/voies
 - ✓ Voirie (aires de stationnement vélo, trottoirs, espaces de repos, accès...)
 - ✓ Aménagements annexes (ouvrages d'art, GC, signalisation...)
- Transports maritimes et fluviaux
 - ✓ Ports (quais, digues, jetées...)
 - ✓ Aménagements annexes (bâtiment d'accueil des passagers, installations techniques diverses, ouvrages d'art, GC, signalisation...)

- **Aménagements urbains :**

- ZAC (comprenant les zones/parcs d'activités) ou Ecoquartiers/Lotissements
 - ✓ Bâtiments
 - Logements : logements individuels, logements individuels denses, logements collectifs
 - Activités : commerces, bureaux, enseignement/santé, loisirs
 - ✓ Voirie
 - Routes/voies + aires de stationnement + trottoirs
 - Aménagements annexes (accès, GC, signalisation...)
 - ✓ Réseaux
 - Réseau d'assainissement
 - Réseau d'eau potable
 - Réseau de gaz
 - Réseau de chauffage
 - ✓ Espaces publics
 - Espace public minéralisé
 - Espaces verts
 - Eclairage public
- Bâtiments/Equipements/Services (tout type de bâtiments)
 - ✓ Bâtiments - logements : logements individuels, logements individuels denses, logements collectifs
 - ✓ Bâtiments - activités : commerces, bureaux, enseignement/santé, loisirs
- Espaces publics :
 - ✓ Places
 - ✓ Espaces verts
 - ✓ Voirie
 - ✓ Eclairage public
 - ✓ Aménagements annexes (accès, GC, signalisation...)

- **Aménagements industriels :**

- Industrie agroalimentaire : ensemble des activités industrielles qui transforment des productions alimentaires issues de l'agriculture et de la pêche en aliments industriels destinés essentiellement à la consommation humaine.
- Industrie manufacturière : industries de transformation des biens mais aussi réparation et installations d'équipements industriels ainsi que des opérations de sous-traitance.
- Cimenterie : usine spécialisée dans la fabrication de ciment.
- Industrie lourde : activités nécessitant l'emploi d'outils et de capitaux très importants (secteurs liés à la transformation de matières premières comme les mines, la métallurgie, la papeterie et la chimie).
- Centrales électriques.

GC : La notion de Génie Civil comprend le terrassement, l'assainissement, les ouvrages hydrauliques ou encore les ouvrages de soutènement.

Annexe 5 : FE de la phase construction des bâtiments

Tableau 32 : Récapitulatif des FE de la phase construction des bâtiments (source : Outil GES OpAm)

Emissions en kgéqCO₂/m²	
Explications	Valeur du FE
Bâtiments de logements	
Logements individuels	
Logements individuels maçonnerie	436,3
Logements individuels béton et bois géré durablement	271,3
Logements individuels béton et bois non géré durablement	330
Logements individuels bois géré durablement et matériaux naturels	-55
Logements individuels bois non géré et matériaux naturels	110
Logements individuels terre cuite	660
Logements individuels terre et paille	25,7
Logements individuels briques	370,3
Logements individuels denses	
Logements individuels denses maçonnerie	392,3
Logements individuels denses béton et bois géré durablement	245,7
Logements individuels denses béton et bois non géré durablement	297
Logements individuels denses bois géré durablement et matériaux naturels	-51,3
Logements individuels denses bois non géré et matériaux naturels	99
Logements individuels denses terre cuite	594
Logements individuels denses terre et paille	22
Logements individuels denses briques	333,7
Logements collectifs	
Logements collectifs maçonnerie	348,3
Logements collectifs béton et bois géré durablement	216,3
Logements collectifs béton et bois non géré	264
Logements collectifs bois géré durablement et matériaux naturels	-44
Logements collectifs bois non géré et matériaux naturels	88
Logements collectifs terre cuite	528
Logements collectifs terre et paille	22
Logements collectifs briques	297
Bâtiments d'activités	
Commerces	
Commerces maçonnerie et béton	550
Commerces acier	183,3
Commerces béton et bois géré durablement	348,3
Commerces béton et bois non géré	414,3
Commerces bois géré durablement et matériaux naturels	-55
Commerces bois non géré et matériaux naturels	139,3
Commerces terre cuite	825
Commerces terre et paille	33
Commerces briques	465,7
Bureaux	
Bureaux maçonnerie et béton	469,3
Bureaux acier	157,7
Bureaux béton et bois géré durablement	293,3
Bureaux béton et bois non géré	352
Bureaux bois géré durablement et matériaux naturels	-55
Bureaux bois non géré et matériaux naturels	117,3
Bureaux terre cuite	711,3
Bureaux terre et paille	29,3

Bureaux briques	399,7
Enseignement/Santé	
Enseignement/Santé maçonnerie et béton	440
Enseignement/Santé béton et bois géré durablement	275
Enseignement/Santé béton et bois non géré	330
Enseignement/Santé bois géré durablement et matériaux naturels	-55
Enseignement/Santé bois non géré et matériaux naturels	110
Enseignement/Santé terre cuite	667,3
Enseignement/Santé terre et paille	25,7
Enseignement/Santé briques	374
Loisirs	
Loisirs maçonnerie et béton	506
Loisirs acier	168,7
Loisirs béton et bois géré durablement	319
Loisirs béton et bois non géré	381,3
Loisirs bois géré durablement et matériaux naturels	-55
Loisirs bois non géré et matériaux naturels	128,3
Loisirs terre cuite	766,3
Loisirs terre et paille	29,3
Loisirs brique	429

Annexe 6 : FE de la phase exploitation des bâtiments de type logements

Tableau 33 : Récapitulatif des FE de la phase exploitation des bâtiments de type logements

Description	Valeur du FE	Unité
Electricité		
Chauffage/Climatisation/ECS	180	géqCO ₂ /kWh
Electricité spécifique	60	géqCO ₂ /kWh
Eclairage auxiliaire	106	géqCO ₂ /kWh
Gaz		
Chauffage/ECS	205.33	géqCO ₂ /kWh
Bois		
Chauffage/ECS	0	géqCO ₂ /kWh

Annexe 7 : FE de la phase construction de la voirie

Tableau 34 : Récapitulatif des FE de la phase construction de la voirie

Emissions en kgéqCO ₂ /m ²					
Type de voies	Souple	Bitume	Enrobé à froid	Semi-rigide	Béton
Voies de desserte	84,3	128,3	91,7	220	421,7
Voies de distribution	121	146,7	102,7	238,3	440
Voies à fort trafic		183,3	128,3	275	495
Voies de bus		128,3	91,7	220	495
Trottoirs	88				
Parkings	91,7				
Voies cyclables	110				

Annexe 8 : FE de la phase construction des réseaux

Tableau 35 : Récapitulatif des FE de la phase construction des réseaux

Emissions en kgéqCO ₂ /ml	
Type de réseaux	Valeur du FE
Réseau d'assainissement	80,7
Réseau d'eau potable	161,3
Réseau de gaz	45,8
Réseau de chauffage	95,3

**Directeurs de recherche : Kamal SERRHINI (tuteur Polytech DAE)
et Jean-Philippe BARROIS (tuteur entreprise EGIS)**

Victoria DEMETTRE
PFE/DAE5
Contrat de professionnalisation –
option ADAGE
2018-2019

Méthode de standardisation d'une approche simplifiée bilan carbone pour un projet urbain au stade de l'étude d'impact : conception d'une méthode de comptabilité carbone pour la filiale Egis Structures et Environnement

Résumé :

Au travers de nombreuses prises de conscience et de réglementations en découlant, la question du changement climatique est aujourd'hui au cœur des enjeux environnementaux mondiaux. La lutte contre ce dérèglement climatique a bouleversé les manières de travailler et d'agir des acteurs de l'aménagement du territoire. En effet, le changement climatique doit être pris en compte et doit accompagner toute réflexion de projet d'aménagement, afin d'en limiter les impacts sur l'environnement.

C'est pour connaître cette atteinte à l'environnement que des bilans carbone (BC) seraient à réaliser pour tout projet d'aménagement en phase amont, c'est-à-dire au stade de l'étude d'impact. Ces BC permettraient de quantifier les émissions de gaz à effet de serre (GES) induites par le projet. C'est dans ce contexte que l'outil BC ® de l'ADEME a été étudié, ainsi que d'autres outils BC tels que l'outil GES OpAm ou encore l'outil BC de l'AFD, afin de créer un outil simplifié et adapté aux projets d'aménagement et aux besoins et préférences de la filiale Egis Structures et Environnement.

Cet outil, sous format Excel, permet de calculer le BC d'un projet, tout au long de sa durée de vie, c'est-à-dire de la situation initiale avant-projet à la phase d'exploitation du projet. Sa conception n'a pour l'instant été réalisée que pour un type d'aménagement spécifique, à savoir une Zone d'Aménagement Concerté (ZAC). Le développement de l'outil devra être poursuivi pour toutes les catégories d'aménagement afin de répondre aux besoins de la filiale. Ce travail à poursuivre pourra prendre quelques mois voire quelques années avant d'aboutir à un outil complet, adapté et adaptable.

Mots Clés : Bilan Carbone, Méthode, Outil, Projets, Adaptation