



**LE BILAN CARBONE DES MATÉRIAUX DANS LA CONSTRUCTION D'UN  
BÂTIMENT : CAS DU PROJET DE L'AMBASSADE D'ÉTHIOPIE EN CÔTE  
D'IVOIRE**

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR 2iE AVEC GRADE DE  
MASTER

**SPÉCIALITÉ : GÉNIE CIVIL – BÂTIMENT ET TRAVAUX PUBLICS**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 25/01/2024 par :

**Zenabou OUATTARA (20200169)**

**Directeur de mémoire : Dr Césaire HEMA**, Enseignant-chercheur, Département Génie civil,  
Institut 2iE

**Encadrant : DOSSO Aboubakar**, Ingénieur, conducteur des travaux du projet de l'ambassade  
d'Éthiopie chez CICO SA

**Structure d'accueil du stage : CICO SA**

**Jury d'évaluation du mémoire :**

Président : Pr. Dial NIANG

Membres et correcteurs : M. Mamadou Pousga Junior KABORE

M. Kader BANAOU DJIBO

**PROMOTION [2023-2024]**

## DÉDICACE

Ce mémoire est dédié à toute ma famille :

Mon bien-aimé de père qui n'a cessé de faire de l'éducation de ses enfants une priorité en nous épaulant sur tous les plans et en même temps, nous permettre de bénéficier de son expérience.

Ma brave et tendre mère qui n'a jamais cessé d'être présente tout en représentant pour moi un pilier moral, émotionnel et dont je ne cesserai d'être fière.

Ma sœur et mes frères qui sont pour moi d'un soutien inestimable, un reflet d'enfance et sur qui je peux me tourner dans les bons comme dans les mauvais moments.

À tous ceux et celles qui me sont chers et qui m'ont soutenu moralement.

Aucun mot ne peut exprimer mon amour et ma gratitude, un grand merci à vous !

## CITATION

« Agissez toujours comme s'il était impossible d'échouer. »

Winston Churchill

## REMERCIEMENTS

Ce présent mémoire est le fruit de nombreux mois de dur labeur et cela n'a été possible qu'avec les efforts de plusieurs personnes. Ainsi qu'il m'est permis de remercier et d'exprimer ma gratitude envers tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, particulièrement à l'endroit de :

- ❖ **L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE)** pour la formation de qualité et les compétences acquises à l'issue de ce cycle d'ingénieur ;
- ❖ Mon Directeur de Mémoire, **Dr Césaire HEMA**, pour sa disponibilité et ses remarques pertinentes ;
- ❖ **CICO SA** à travers son Directeur Général, **M. DJEDJERO**, pour cette opportunité qu'il m'a offerte en me permettant d'effectuer mon stage de fin d'études (PFE) au sein sa structure. Je tiens également à le remercier particulièrement ;
- ❖ Mon maître de stage, **ING DOSSO Aboubakar** et mon encadreur technique **M. KADJO**, pour leurs disponibilités, leurs interventions, leurs suggestions et commentaires qui ont été le fil conducteur de ce travail ;
- ❖ À la **Direction des Orientations des Bourses (DOB)** qui m'a permis de faire mes études de Master à l'Institut 2iE à travers la bourse d'études offerte ;
- ❖ **À toute ma famille**, ami et camarade de promotion, pour ce grand soutien spirituel et moral à mon égard.

Je souhaite exprimer ma gratitude à tous ceux qui, par leur soutien, ont joué un rôle, de près ou de loin, dans la réussite de ce travail.

## RÉSUMÉ

L'objet de cette étude est l'évaluation du bilan carbone du gros œuvre du projet de construction de l'ambassade d'Éthiopie en Côte d'Ivoire. Elle évalue l'impact carbone des émissions de gaz à effet de serre (GES) de quatre bâtiments à réaliser dans la commune de Cocody qui a permis de retracer la collecte des données d'entrées. Elle a également permis d'évaluer le bilan carbone à travers les émissions de gaz à effet de serre que l'entreprise émettra ; d'analyser les résultats du bilan carbone obtenu et faire des recommandations pour d'atténuer le bilan carbone, afin de permettre sa reproduction dans d'autres expériences similaires. La réalisation du bilan carbone dans un pays peut se faire par diverses méthodes et celle retenue dans le cas de cette étude est basée sur l'analyse du cycle de vie, qui consiste à calculer les émissions de gaz à effet de serre en prenant en compte tous les impacts environnementaux associés à l'activité. **Pour cette étude, trois matériaux ont été retenus sur la base des matériaux les plus représentatifs du projet : le béton, la plaque de plâtre et le verre.** Avec l'outil d'aide à l'analyse de cycle de vie retenue, le logiciel Open LCA, les émissions considérées comprennent les émissions directes et les émissions indirectes pour chacun de ces trois matériaux. Pour l'heure, l'évaluation du bilan carbone du gros œuvre de la construction de l'ambassade d'Éthiopie met en lumière les activités de construction de ces quatre bâtiments et génèrent des émissions de l'ordre de **800 172 Kg CO<sub>2</sub> éq.** Le matériau le plus émetteur est le béton avec 733 392 Kg CO<sub>2</sub> éq soit 92% des émissions totales. Ces chiffres montrent la part de la contribution des secteurs du bâtiment de par ses activités sur les émissions anthropiques de gaz à effet de serre et nous interpellent sur les actions à mener dans le but de réduire le bilan carbone lié la construction. Au-delà de sensibiliser l'entreprise avec une première comptabilisation des gaz à effet de serre, ce travail annonce une démarche orientée vers des actions visant à atténuer l'impact du changement climatique à venir.

### Mots Clés :

---

1. Bâtiment bas carbone
2. Bilan carbone
3. Équivalent CO<sub>2</sub>
4. Gaz à effet de serre
5. Impact carbone

## ABSTRACT

The purpose of this study is to assess the carbon footprint of the shell of the construction project for the Ethiopian embassy in Côte d'Ivoire. It assesses the carbon impact of greenhouse gas (GHG) emissions from four buildings to be constructed in the commune of Cocody, which enabled the collection of input data to be traced. It also made it possible to assess the carbon footprint through the greenhouse gas emissions that the company will admit; to analyse the results of the carbon footprint obtained and make recommendations with a view to reducing the carbon footprint, so that it can be replicated in other similar experiments. There are various methods for carrying out a country's carbon footprint, and the one chosen for this study is based on life cycle analysis, which involves calculating greenhouse gas emissions by taking into account all the environmental impacts associated with the activity. For this study, three materials were selected on the basis of those most representative of the project: concrete, plasterboard and glass. Using Open LCA, the life cycle analysis tool chosen, the emissions considered include direct and indirect emissions for each of these three materials. For the time being, the assessment of the carbon footprint of the shell of the construction of the Ethiopian embassy highlights the construction activities of these four buildings, which generate emissions of around 800 172 Kg CO<sub>2</sub> eq. The material that emits the most is concrete, with 733 392 Kg CO<sub>2</sub> eq, or 92% of total emissions. These figures show the contribution of the building sector's activities to man-made greenhouse gas emissions, and give us an idea of the actions that need to be taken to reduce the building sector's carbon footprint. As well as raising the company's awareness with an initial accounting of greenhouse gases, this work heralds an approach geared towards actions to mitigate the impact of future climate change.

### Keywords:

- 1.Low-carbon building
- 2.Carbon footprint
- 3.CO<sub>2</sub> equivalent
- 4.Greenhouse gases
- 5.Carbon impact

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADEME : Agence de l'Environnement et la maîtrise de l'Énergie

ACV : Analyse de Cycle de Vie

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique

CCTP : Cahier des Charges Techniques et Particulières

COP : La conférence des parties

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de Carbone

FDE : Fiche de Déclaration Environnementale

FDES : Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

KG CO<sub>2</sub> EQ: Kilogramme de CO<sub>2</sub> Equivalent

PRG : Potentiel de Réchauffement Global

EF : Emission Factor

FE : Facteur d'émissions

## SOMMAIRE

DÉDICACE.....	I
CITATION .....	I
REMERCIEMENTS .....	II
RÉSUMÉ.....	III
ABSTRACT .....	IV
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	V
LISTE DES FIGURES .....	IX
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET .....	4
I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL.....	4
1. LA STRUCTURE D'ACCUEIL : CICO SA .....	4
2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'ENTREPRISE .....	4
3. ORGANIGRAMME DE CICO SA .....	5
II. PRÉSENTATION DE LA ZONE DU PROJET.....	5
1. LOCALISATION DU PROJET.....	5
2. DESCRIPTION DU PROJET .....	6
3. LES INTERVENANTS DU PROJET .....	7
III. PRÉSENTATION DU PROJET .....	7
1. CONTEXTE.....	7
2. PROBLEMATIQUE .....	8
IV. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES .....	9
1. OBJECTIFS .....	9
2. HYPOTHESES .....	9
3. DONNEES DE BASE ET LIMITES DE L'ETUDE.....	10
CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART SUR LE BILAN CARBONE .....	11
I. GÉNÉRALITÉS .....	11
II. REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	11
1. DÉFINITIONS DES CONCEPTS .....	12
2. AVANTAGES ET LIMITES DE L'ÉVALUATION DU BILAN CARBONE.....	17
2.1. AVANTAGES .....	17
2.2. LIMITES .....	17
III. BILAN CARBONE.....	17
1. OBJECTIFS DU BILAN CARBONE .....	18

2.	LES PERIMETRES D'ETUDE .....	19
3.	LES DIFFERENTES METHODES D'EVALUATION DU BILAN CARBONE.....	20
3.1.	GUIDES METHODOLOGIQUES D'EVALUATION DES GES .....	20
3.2.	DIFFERENCES ENTRE LES METHODES D'EVALUATION DU BILAN GES ...	22
IV.	EXEMPLE DE POLITIQUE, RÉGLEMENTATION OU PROGRAMME FAVORABLES À LA TRANSFORMATION DU SECTEUR DU BÂTIMENT.....	23
	CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES .....	25
I.	MATÉRIELS .....	25
II.	MÉTHODES .....	26
1.	RECHERCHE DOCUMENTAIRE .....	26
2.	METHODOLOGIE D'EVALUATION DU BILAN DES GAZ A EFFET DE SERRE (GES).....	27
3.	COLLECTE DE DONNEES .....	28
4.	LES DIFFERENTES COMPOSANTES PRISES EN COMPTE.....	29
5.	MODE DE CALCUL DU CO <sub>2</sub> .....	32
	CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	34
I.	RÉSULTATS DES DIFFÉRENTES HYPOTHÈSES .....	34
1.	COMPOSANT 1 : MISE EN ŒUVRE DU BETON SUR CHANTIER.....	34
2.	COMPOSANT 2 : L'USAGE DE LA PLAQUE DE PLATRE HYDROFUGE BA13 ..	35
3.	COMPOSANT 3 : L'USAGE DU VERRE POUR LES CLOISONS ET PAROIS.....	36
4.	BILAN TOTAL DES EMISSIONS .....	38
II.	DISCUSSIONS .....	39
1.	ANALYSE DES RESULTATS .....	39
2.	AIDE A L'INTERPRETATION DES RESULTATS .....	40
3.	INTERPRETATION DES RESULTATS DE L'EMPREINTE CARBONE OBTENUE	40
III.	RECOMMANDATION POUR ATTÉNUER L'EMPREINTE CARBONE .....	42
1.	PLAN D'ACTION DE REDUCTION DES EMISSIONS .....	42
	CONCLUSION .....	48
	BIBLIOGRAPHIE .....	51
	WEBOGRAPHIE.....	53
	ANNEXES .....	I

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : PRG des principaux GES .....	15
Tableau 2: Distance parcourue pour approvisionner le chantier en matériaux.....	29
Tableau 3: Descriptif du matériau béton .....	29
Tableau 4: Descriptif du matériau plaque de plâtre .....	31
Tableau 5 : Descriptif du matériau verre.....	31
Tableau 6 :Synthèse des émissions liées à l'utilisation du béton dans le bâtiment.....	35
Tableau 7:Synthèse des émissions liées à l'utilisation de la plaque de plâtre dans le bâtiment .....	36
Tableau 8 :Synthèse des émissions liées à l'utilisation du matériau verre dans le bâtiment ...	38
Tableau 9 :Bilan des émissions GES par catégorie de matériau .....	39

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme de l'entreprise CICO SA. ....	5
Figure 2: Vue du projet avec l'application Google Earth dans la commune de Cocody .....	6
Figure 3: Effet de serre, 3e rapport de GIEC .....	13
Figure 4 : Part mondiale de l'énergie finale et des émissions des bâtiments et de la construction, 2019. ....	18
Figure 5: Illustration des périmètres de comptabilisation des GES .....	19
Figure 6 : Présentation de l'interface du logiciel OpenLCA (aide à l'AVC).....	26
Figure 7: Exemple pris au hasard de la répartition des émissions de gaz à effet de serre d'un béton donné. ....	30
Figure 8: Répartitions des émissions GES pour le béton .....	34
Figure 9 : Répartition des émissions GES de la plaque de plâtre .....	36
Figure 10 : Répartition des émissions GES du verre .....	37
Figure 11 : Répartition des émissions des différents matériaux.....	38
Figure 12 : Bilan des émissions GES .....	41

## INTRODUCTION

Abidjan, qui tient le rôle de capitale économique de la Côte d'Ivoire, se présente comme une ville qui connaît un essor remarquable en termes d'amélioration des infrastructures et des logements. Cela se justifie par sa forte densité avec une diversité de population et les activités économiques dont elle regorge. De ce fait, de nombreuses infrastructures voient le jour. Cependant, la réalisation de ces infrastructures est faite généralement indépendamment des émissions de gaz à effet de serre (GES) que ces activités engendrent, souvent nocives, dangereuses et à caractère irréversible pour la planète par le rejet de ces pollutions dans l'atmosphère.

Le secteur du bâtiment paraît à l'heure actuelle comme l'un des secteurs entraînant le plus d'impacts environnementaux. Environ 40% de la consommation mondiale d'énergie et près de 30% des émissions mondiales de gaz à effet de serre sont attribuables au secteur du bâtiment. Ces chiffres soulignent l'importance des enjeux environnementaux liés à la construction des bâtiments. Selon un scénario tendanciel des émissions de CO<sub>2</sub>, le secteur des bâtiments pourrait atteindre 7 Gt dans les pays en développement[2] et selon GlobalABC, 11% des émissions mondiales de gaz à effet de serre sont dues à l'industrie des matériaux de construction. En effet, l'impact environnemental des bâtiments est en majeure partie dû à la consommation très élevée de ressources (granulats, ciments et métaux), émettant des quantités de déchets ainsi que de polluants (émissions de CO<sub>2</sub>, particule fine), à l'origine du réchauffement climatique.

Ayant pris conscience des dangers qu'encourt l'humanité, de nombreux accords, actions, conventions et protocoles ont été signés pour tenter d'apporter des solutions face au risque que court la planète, on peut citer : la convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques marque la première initiative au sein de l'ONU visant une meilleure compréhension du changement climatique pour proposer des solutions efficaces afin de l'atténuer [3]. La réglementation environnementale pour les nouvelles constructions de bâtiments (RE2020) s'inscrit dans le cadre de la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV 2015) et à la loi d'évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (ELAN 2018). Elle vise à poursuivre les objectifs d'amélioration de la performance énergétique des bâtiments neufs, de réduction de leur impact climatique (en prenant en compte les émissions

de gaz à effet de serre sur l'ensemble de leur cycle de vie) et d'adoption aux conditions climatiques futures[2].

Pour atteindre ses objectifs, cela suppose l'existence d'un instrument pour évaluer les émissions de gaz à effet de serre : le bilan carbone. Il est donc indispensable que chaque État, collectivité et entreprise dresse le bilan carbone de ses activités, actions, pour évaluer non seulement les émissions mais aussi pour orienter les décisions dans le sens de leur réduction.

La Côte d'Ivoire a pris l'engagement de diminuer ses émissions de gaz à effet de serre de 30,41 % d'ici à 2030, comme indiqué par l'ancien ministre de l'Environnement et du Développement durable, Jean-Luc Assi, lors d'un segment de haut niveau présentant les nouvelles ambitions nationales dans le cadre de la révision générale des Contributions Déterminées au niveau National (CDN). A la COP26, sur le changement climatique (COP26), Jean-Luc Assi a souligné que cette ambition témoigne la volonté de la Côte d'Ivoire de s'engager sur une trajectoire de développement à faible émission de carbone et résiliente face au changement climatique[32].

Cette étude s'inscrit dans ce contexte, qui est un exercice d'évaluation du bilan carbone du gros œuvre pour le projet de construction de l'ambassade d'Éthiopie en Côte d'Ivoire déjà en phase d'exécution. Cette étude a donc pour objectif de proposer et d'accompagner l'entreprise CÔTE D'IVOIRE CONSTRUCTION (CICO SA) vers des projets de bâtiment bas carbone. Ce sujet occupe une place importante dans de nombreux États, notamment les pays développés, qui contraignent certaines entreprises de certaines tailles de dresser le bilan des émissions carbone résultant de leurs actions et activités. Bien que cette action ne prévale pas dans nos pays actuellement, il semble essentiel de développer des outils et des compétences pour répondre aux exigences d'une communauté engagée dans la lutte contre le changement climatique et de contribuer au développement durable. Dans cette perspective, cette étude se concentre sur l'évaluation de l'empreinte carbone des matériaux utilisés dans la construction des bâtiments de l'ambassade d'Éthiopie en Côte d'Ivoire.

Le présent mémoire est subdivisé en 4 chapitres. Le chapitre I est consacré à la structure d'accueil et au projet. Le chapitre II présente l'état de l'art sur le bilan carbone, en partant de la revue de la littérature, de la définition des concepts, et s'achève avec la présentation des

démarches d'élaborations du bilan carbone. Le chapitre III présente les différentes méthodes et hypothèses formulées pour l'évaluation du bilan carbone de notre projet. Le chapitre IV présente les résultats obtenus, les différentes discussions ainsi que les recommandations.

## CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

### I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

#### 1. La structure d'accueil : CICO SA

Fondée le 15 mars 2000, Côte d'Ivoire Construction, également connue sur le nom de CICO, est une société anonyme (SA). A l'origine spécialisée dans la construction de piscine, CICO SA est aujourd'hui un expert reconnu dans les domaines du génie civil, du bâtiment et des voiries et des réseaux divers (VRD), avec pour ambition stratégique de devenir le leader du secteur d'un BTP en Afrique de l'Ouest. CICO a établi un système de gestion de la qualité conforme à la norme ISO 9001 et a obtenu la certification en février 2017.

Sous la direction de **M. DJEDJERO Mathieu Akpa**, ingénieur des travaux publics, diplômé de l'ENSTP de Yamoussoukro. Grâce à ses matériaux de construction et son personnel qualifié, l'entreprise a pu conquérir sa clientèle et à s'étendre à la foi sur niveau national et sous-régional. L'entreprise se consacre à la conception, la réalisation, l'exploitation et la réhabilitation d'ouvrages de construction et d'infrastructures.

L'entreprise compte 200 collaborateurs comprenant ingénieurs locaux et expatriés, des architectes, des techniciens, chefs de chantiers qui apportent chacun leur expertise complémentaire. Le personnel de chantier s'élève à environ 1000 personnes. Ces hommes s'appuient sur ces équipements avec un parc matériel. Ce qui leur permet de disposer toujours d'engins adéquats en vue d'anticiper les besoins particuliers des différents chantiers. CICO SA a un capital de 600 millions FCFA.

L'objectif de CICO SA étant la satisfaction de sa clientèle, elle aspire à partager son savoir-faire avec les États, les organisations internationales, les professionnels et les particuliers, contribuant ainsi à relever des défis toujours plus grands.

#### 2. Situation géographique de l'entreprise

CICO SA se trouve dans la commune de Cocody, le long du boulevard Latrille II Plateaux, en face de Oilibya (ex-carrefour Mobil). Le siège de l'entreprise a pour coordonnées géographiques.

5 °22` 01.4"N et 3°59`52".8W.

### 3. Organigramme de CICO SA

L'organigramme de l'entreprise est illustré par le graphique ci-dessous.

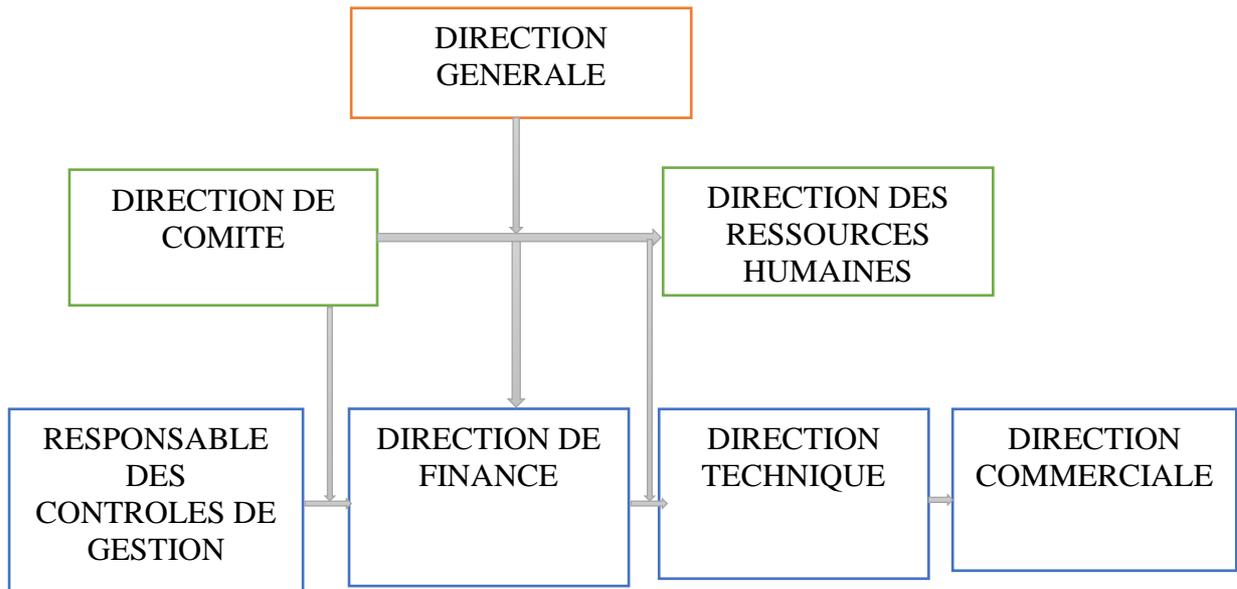


Figure 1 : Organigramme de l'entreprise CICO SA.

## II. PRÉSENTATION DE LA ZONE DU PROJET

### 1. Localisation du projet

Le projet de construction de l'ambassade d'Éthiopie est implanté en Côte d'Ivoire, spécifiquement dans la région des lagunes, au sein du district autonome d'Abidjan. Les travaux se déroulent principalement dans la commune de Cocody, localisée à l'Est d'Abidjan, avec une étendue de 132km<sup>2</sup> et des coordonnées géographiques 5°21' 23" N et 3° 58' 57" O. cette commune est bordée au Nord par la commune d'Abobo, par la lagune Ébrié au sud, à l'Est par la commune de Bingerville et par les communes du plateau et d'Adjamé à l'Ouest. La figure 2 offre une représentation de la localisation du projet au sein de la commune de Cocody.



Figure 2: Vue du projet avec l'application Google Earth dans la commune de Cocody

## 2. Description du projet

Le projet consiste à la réalisation de quatre (4) bâtiments R+1 dans le quartier rue du bélier. La construction de l'ambassade est structurée comme suite :

### ➤ Une résidence pour l'ambassadeur.

Ce bâtiment à R+1 comprend :

Au rez-de-chaussée : une piscine, une salle de sport, un pool housse avec deux WC, une machinerie, un parking, une cuisine européenne avec deux réserves, un office, une buanderie, un séjour familial, une salle à manger familiale, une salle à manger, une salle de réception, un grand salon, un petit salon, deux dégagements, un couloir, un sas, des WC visiteurs, un local technique, deux cages d'escalier, un local des chauffeurs et un parking.

À l'étage : une salle d'étude, un magasin, un couloir, une chambre principale avec un dressing, une salle d'eau et une terrasse, six chambres d'enfants comportant une salle d'eau et un balcon.

### ➤ Une chancellerie

Ce bâtiment à R+1 comprend :

Au rez-de-chaussée : des bureaux, un hall d'accueil, une salle de conférence, une salle d'attente, un salon de thé, des blocs sanitaires, une archive, trois cages d'escaliers menant aux niveaux supérieurs et un ascenseur et au premier étage : deux bureaux pour l'ambassadeur et de son

adjoint, leur secrétariat respectif, une salle d'attente, une salle de réunion, des bureaux, des blocs sanitaires, une salle d'archive et une kitchenette.

➤ **D'un bâtiment du personnel**

Ce bâtiment en R+1 comprend :

Au rez-de-chaussée : Des chambres, une buanderie, un escalier d'accès au niveau supérieur et un local technique et à l'étage : des chambres, une buanderie et un balcon.

➤ **D'une salle polyvalente**

Ce bâtiment est le seul à ne pas être en R+1. Ce bâtiment est le pôle où se tiendront les conférences de l'ambassade.

➤ **Local technique, clôture et bâtiments annexes**

Comme ouvrage on a : un local de chauffeur, une guérite, un multipurpose room, deux locaux GE, un sas, deux entrées de parkings et une clôture périphérique.

La procédure d'attribution du marché s'effectue par le biais d'un appel d'offres privé. La phase de chantier est sous la responsabilité de l'entreprise CICO SA (COTE DIVOIRE Construction), qui assure l'ordonnancement, la direction et la coordination des travaux. Elle est également chargée d'organiser les réunions hebdomadaires de chantier. Le budget alloué à la construction de l'ambassade s'élève à 3 134 000 000 francs CFA hors taxe, avec une durée prévisionnelle des travaux de 36 mois.

### **3. Les intervenants du projet**

Pour le projet de construction de l'ambassade d'Éthiopie en Côte d'Ivoire, l'entreprise ICI (Ingénieur-Conseil en Infrastructure) assume le rôle de maître d'ouvrage délégué et bureau d'études, tandis qu'ARCHICONCEPT agit en tant que maître d'ouvrage. Le contrôle des travaux est confié au bureau d'étude SOCOTEC.

## **III. PRÉSENTATION DU PROJET**

### **1. Contexte**

Dans la lutte contre l'urgence climatique, l'Europe a adopté la neutralité carbone d'ici 2050 comme pivot de sa stratégie de restructuration économique du territoire, consolidant ainsi son leadership dans cette lutte[4]. Pour se conformer à ces nouvelles régulations, les entreprises peuvent se baser sur les outils de la comptabilité carbone. Malgré sa diffusion au sein des entreprises françaises, la comptabilité carbone éprouve encore des difficultés à s'y imposer

pleinement. Atteindre ces objectifs nécessite l'instrumentalisation du changement climatique pour mesurer les émissions de gaz à effet de serre.

Le projet de construction de l'ambassade d'Éthiopie étant typiquement d'ordre coopératif et diplomatique, elle a pour nécessiter de tisser et renforcer les liens entre l'Éthiopie et la Côte d'Ivoire, mais dans sa mise en effet, celle-ci aura un fort impact sur le changement climatique qu'elle soit directe ou indirecte.

La zone du projet se trouve dans un environnement qu'on pourrait qualifier de zone forestière avec ses nombreux arbres aux alentours. Les forêts de nature ayant ce pouvoir de capter les émissions de gaz à effet de serre (GES) se verront modifier par les activités humaines génératrices de pollution ayant un impact considérable sur le changement climatique notamment pour le transport des matériaux sur le site (sable, gravier, ciment, etc.) et la circulation des engins de terrassement, mais également pour les productions de matériaux comme le béton, sa production émet une grande quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

## 2. Problématique

L'une des méthodes les plus utilisées pour quantifier les émissions de gaz à effet de serre résultant d'une activité est la réalisation de son bilan carbone. L'évaluation du bilan carbone donne une vision sur les actions génératrices de gaz à effet de serre. Une stratégie appliquée dans les pays développés. Cependant, en Afrique, elle peine à voir le jour.

Il sera donc judicieux que les États, les collectivités territoriales, les entreprises et institutions dressent le calcul carbone de leurs actions pour non seulement évaluer leurs émissions, mais aussi prendre des décisions appropriées allant dans le sens de leur réduction.

Toutefois, cette évaluation du bilan carbone sera typiquement appliquée sur le projet de construction de l'ambassade d'Éthiopie qui est en phase d'exécution, tout en restant fidèle aux matériaux déjà prévus par le projet.

Face à un tel problème, la préoccupation qui se pose est la suivante :

- Quelles sont les quantités et l'origine des gaz à effet de serre lors d'un projet de construction des bâtiments en Côte d'Ivoire ?

## IV. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

### 1. Objectifs

De façon générale il s'agira d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre engendré par la construction des différents bâtiments de l'ambassade d'Éthiopie en Côte d'Ivoire. Cela permettra d'avoir un aperçu des émissions GES et de se rendre compte de notre part de responsabilité dans ces émissions dangereuses tout en opérant des choix qui tiennent compte de la protection de l'environnement dans nos actions quotidiennes en vue de réduire l'impact carbone émit en mettant en place des actions réductrices.

De façon spécifique, nos objectifs sont de :

- Collecter les données d'entrées nécessaires à l'évaluation des GES.
- Évaluer le bilan carbone à travers les émissions de gaz à effet de serre (GES) que l'entreprise émettra tout au long du projet.
- Analyser le bilan carbone obtenu.
- Faire des recommandations dans l'optique d'atténuer l'empreinte carbone.

Cette présente étude permettra à l'entreprise dans un premier temps de se familiariser à la notion de bilan de gaz à effet de serre, connaître ses contours d'évaluation et ses stratégies d'actions pour sa réduction. En second lieu, l'entreprise pourra l'intégrer dans son système de management pour la conquête des projets nationaux et internationaux, ainsi donc utiliser le bilan carbone comme un atout, en intégrant le volet comptabilisation carbone dès la phase de conception de ses projets pour soumissions de dossier d'appel d'offres.

### 2. Hypothèses

Pour évaluer le bilan carbone du projet de construction de l'ambassade d'Éthiopie, les différentes hypothèses sur lesquelles ce travail est fondé sont :

- Les matériaux pour lesquels les données sont insuffisantes ou inexistantes, des paramètres globaux seront considérés.
- Les hypothèses de calcul seront établies sur la base des matériaux les plus utilisés dans la réalisation du projet.

### 3. Données de base et limites de l'étude

Au niveau de l'entreprise, les documents utilisés sont les suivants :

- Le Cahier des Clauses Techniques et Particulières (CCTP) des différents corps d'états.
- Le planning du projet.
- Le Cahier des Prescriptions Techniques Particulières (CPTP).
- Les fiches des bons de livraison des matériaux.

Comme limites dans la phase de collecte des données, on a :

- Données manquantes pour approvisionnement du chantier.
- Absence de fiche technique des matériaux du second œuvre.
- Un personnel non sensibilisé sur la notion du bilan carbone.

## CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART SUR LE BILAN CARBONE

### I. GÉNÉRALITÉS

Le changement climatique représente un défi économique, social et environnemental majeur pour le XXI<sup>e</sup> siècle. Diverses activités humaines telles que les déplacements et l'utilisation d'énergie fossile contribuent à générer un effet de serre additionnel, renforçant celui qui a permis le développement de la vie sur terre en faisant passer la température moyenne de -18°C à +15°C[6]. Au cours des derniers siècles, la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère a constamment augmenté, suscitant des préoccupations parmi les scientifiques quant aux possibles hausses de température et à leurs conséquences dramatiques sur nos sociétés.

Quelques ouvrages scientifiques qui abordent le sujet sont présentés ci-après :

**Guide de la RE2020, réglementation environnementale des bâtiments neufs**, elle fait les synthèses des points principaux de la RE 2020. La RE2020, présentée de manière synthétique dans sa globalité, offre une vue d'ensemble du sujet. Dans la partie détaillée, elle permet d'approfondir la compréhension de la RE 2020, en organisant l'information par thème, depuis sa genèse jusqu'à l'explication des méthodes de calcul. **L'échec du bilan carbone « obligatoire », symbole du désintérêt pour les enjeux climatiques** publié le 24 mars 2023 par le journal *le monde* dans lequel il dénonce les agissements de certaines entreprises et secteur au non-respect de publication de leur bilan carbone et la négligence face aux enjeux climatiques.

L'évaluation du bilan carbone n'est pas une thématique passée sous silence dans tous les secteurs d'activités.

### II. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Pour mener à bien ce travail, plusieurs études réalisées dans le but d'une évaluation du bilan carbone ont été consultées. Les principales études consultées sont :

- Référentiel sur les facteurs d'émissions de GES, Édition 2016 ;
- Annales des mines, responsabilité et environnement 2018/2 (n° 90), page 38 à 40 éditions f.f.e ;
- Guide méthodologique de l'ADME appliqué aux bâtiments.

- Étude préliminaire d'adaptation aux changements climatiques en Afrique, juillet 2009.
- Guide méthodologique d'utilisation du logiciel openLCA

## **1. Définitions des concepts**

### **1.1. Bilan carbone**

Selon l'ADEME, le bilan GES, également appelé bilan carbone, est défini comme « une évaluation de la quantité de gaz à effet de serre émise (ou capté) dans l'atmosphère sur une année par les activités d'une organisation ou d'un territoire ».

Il permet d'évaluer l'empreinte carbone en prenant en compte l'ensemble des émissions directes et indirectes de CO<sub>2</sub> et d'autre gaz à effet de serre. Le bilan carbone vise à mesurer, suivre et réduire les émissions de GES, en fournissant une analyse plus détaillée des sources d'émissions et en identifiant des leviers d'actions pour les réduire. Le bilan carbone est exprimé en équivalent dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub> éq).

Cela signifie que, pour chaque GES émis, on calcule la quantité de CO<sub>2</sub> qui aurait le même impact sur le réchauffement climatique. Par exemple, si un gaz a un potentiel de réchauffement 20 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub>, chaque tonne de ce gaz sera comptabilisée comme l'équivalent de 20 tonnes de CO<sub>2</sub> et c'est le cas du méthane.

### **1.2. Empreinte carbone**

Selon le Ministère de la Transition Écologique (MTE), l'empreinte carbone est définie comme un « indicateur estimant la quantité de gaz à effet de serre émise pour satisfaire la consommation au sens large (bien, service, utilisation d'infrastructure) d'un individu, d'une population, d'un territoire ou d'une activité en tenant compte des émissions liées aux importations et aux exportations, quel que soit le lieu de production de ses biens et service (production intérieure ou importation) »[9].

Ainsi, elle évalue les émissions de carbone associées aux biens et services produits à l'échelle nationale, ainsi qu'à ceux que nous importons chaque année.

### **1.3. Effet de serre**

Le phénomène de l'effet de serre est un processus thermique naturel qui réchauffe le climat en raison de la présence de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, notamment la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et le méthane ( $\text{CH}_4$ ) [9]. Bien qu'il soit un processus naturel, il est souvent associé aux risques du changement climatique. De façon concrète, c'est la surproduction de gaz à effet de serre par l'activité humaine qui aggrave cet effet qui conduit à un réchauffement climatique nuisible à l'équilibre climatique de la planète [9]. Les principales sources d'émissions de GES sont :

- La combustion des énergies fossiles.
- La pollution industrielle.
- L'émission polluante des transports.
- La déforestation.

Au cours des dernières décennies, plusieurs indicateurs et d'études ont mis en évidence le réchauffement climatique à l'échelle mondiale. Ce phénomène préoccupant nous interpelle quant à nos activités fortement émettrices en gaz à effet de serre, notamment celle liées au secteur du bâtiment. La figure 3 illustre l'effet de serre selon le 3e du GIEC [9].

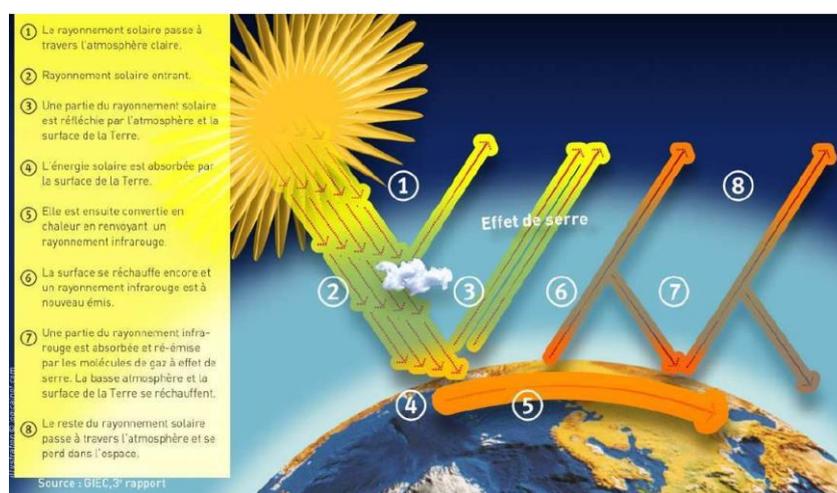


Figure 3: Effet de serre, 3e rapport de GIEC

#### 1.4. Gaz à effet de serre

Les « gaz à effet de serre », désignent les constituants gazeux de l'atmosphère, qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique, capable d'absorber et de réémettre le rayonnement infrarouge (CCNUCC, 1992) [9]. Parmi de nombreux gaz à effet de serre impliqués dans le

réchauffement climatique, six figurent principalement sur la liste de Protocole de Kyoto (1998) :

- Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), émis par la combustion d'énergies fossiles, les activités agricoles, la déforestation et l'urbanisation, etc.
- Méthane (CH<sub>4</sub>), émis principalement par l'élevage des bovins et ruminants, mais aussi par des fuites lors des processus de méthanisation (création de biogaz grâce aux déchets organiques) ou compost pas assez aéré.
- Oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), émis principalement par les industries du froid et automobile.
- Hydrofluorocarbures (HFC), émis par les décharges d'ordures, exploitations minières et pétrolières.
- Perfluorocarbure (PFC), émis par les climatiseurs, systèmes de froid et extincteurs.
- Hexafluorure de Soufre (SF<sub>6</sub>), émis par l'industrie pharmaceutique[9].

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est principalement émis sur terre par combustion des énergies fossiles, notamment le gaz, le pétrole et le charbon, ainsi que par les activités telles que de la déforestation et de la construction[9].

### 1.5. Facteurs d'émissions

Un facteur d'émission est un coefficient qui représente l'ensemble des émissions, à la fois directes et indirectes, nécessaire tout au long de la durée de vie d'un procédé, d'un produit ou d'un service. C'est-à-dire qu'on analyse l'ensemble du cycle de vie de l'élément concerné (depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie) et on détermine à chaque étape des émissions générées. Le résultat obtenu sert d'élément de référence pour les calculs.

Sur la Base Carbone de l'ADEME[30], une incertitude est associée à chacun de ces facteurs d'émissions. Plus on s'éloigne du flux physique, plus l'incertitude associée au facteur d'émission est élevée. Par exemple, sur un déplacement en voiture l'incertitude associée au facteur d'émission est de :

- 10% si on suit les litres du carburant consommés ;
- 60% si on suit les km parcourus en effet, l'impact varie si l'on roule en centre-ville ou sur autoroute, dans un véhicule compact ou dans un SUV, etc.
- 80% si on suit les dépenses de carburants, les variations du prix des carburants rajoutant de l'incertitude.

Les ratios monétaires donnent un nombre de grandeurs, ils ne permettent pas d'interpréter les variations des émissions.

## 1.6. Analyse de cycle de vie (ACV)

L'analyse de cycle de vie est une des méthodes d'évaluation environnementale multicritère et multi-étape qui vise à quantifier les impacts d'un produit, d'un matériau ou d'un procédé sur l'ensemble de son cycle de vie. Cette approche englobe toutes les étapes, de l'extraction de matières premières au traitement en fin de vie, en passant par les étapes de mise en œuvre et sa durée de vie[14].

## 1.7. Base de données

Dans le contexte logiciel, une « base de données » sert de référentiel pour les composants nécessaires à la réalisation d'ACV.

## 1.8. Processus

Un processus se définit comme un ensemble d'activités qui convertissent les entrées en sorties. Ils sont caractérisés par une référence quantitative, c'est-à-dire le produit que le procédé produit, ou, pour les procédés de traitement des déchets, les déchets qu'il traite.

## 1.9. Le potentiel réchauffement climatique global (PRG)

Le potentiel réchauffement climatique global est un indice qui cherche à synthétiser l'évaluation de l'effet cumulatif de toutes les substances contribuant à l'augmentation de l'effet de serre (INSEE, 2016). Celui du CO<sub>2</sub> est de 1, sur une durée de 100 ans. (cf. Tableau 1).

Nom du gaz	PRG à 100 ans	
	4e rapport du GIEC	5e rapport du GIEC
CO <sub>2</sub> f	1	1
CH <sub>4</sub> f	25	30
CH <sub>4</sub> b	25	28
N <sub>2</sub> O	298	265
SF <sub>6</sub>	22800	26100
CO <sub>2</sub> b	*	*

Tableau 1 : PRG des principaux GES

## 1.10. Climat

Le climat fait référence à l'ensemble des conditions météorologiques qui caractérisent l'état de l'atmosphère dans une région spécifique et pendant une période donnée.

### 1.11. Réchauffement climatique

La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son article premier, qualifie les changements climatiques de « modifications directement ou indirectement attribuables à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale, venant s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables »[9].

### 1.12. Énergie fossile

On désigne par « énergie fossile » une énergie produite à partir de roches formées par décomposition d'organismes vivants, ensevelis dans le sol depuis des millions d'années, notamment par le processus de méthanisation. Les énergies fossiles telles que le gaz naturel, le pétrole ou le charbon ne sont pas renouvelables et proviennent de la décomposition d'êtres vivants enfouis dans le sol depuis des millions d'années[9]. L'exploitation de ces combustibles fossiles entraîne des dommages environnementaux, notamment la production de gaz à effet de serre. Cette utilisation intensive des énergies non renouvelables perturbe significativement le cycle du carbone, contribuant ainsi au réchauffement climatique.

### 1.13. Développement durable

Le concept de **développement durable**, officialisé en 1987 par la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement à travers le rapport Brundtland, présidée par cette dernière[9] est défini comme « *un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* ».

Appliqué à l'économie, le développement durable englobe trois dimensions qui sont le volet économique, sociale et environnementale.

L'objectif majeur du XXI<sup>e</sup> siècle consiste à réussir à harmoniser le progrès social et économique avec la préservation de l'équilibre naturel de la planète.

## **2. Avantages et limites de l'évaluation du bilan carbone**

### **2.1. Avantages**

L'évaluation du bilan carbone apporte de nombreux avantages si elle est bien utilisée et évaluée de façon annuelle. La comptabilisation du bilan carbone montre que l'entreprise s'engage à prendre des mesures pour limiter ses émissions, ainsi donc l'entreprise possédera à son actif un avantage supplémentaire à faire valoir lors des appels d'offres par exemple. De plus, comme autre avantage, le bilan carbone montre que l'entreprise s'engage dans le développement durable avec une image de marque écologique. Le bilan carbone permet de réduire des dépenses énergétiques.

### **2.2. Limites**

La mise en œuvre de la comptabilité carbone par les divers acteurs s'avère être un processus complexe. Malgré sa pertinence en tant qu'outil, le bilan carbone présente certaines limites, en partie dues aux débats et tensions entre les acteurs aux « intérêts divergents », notamment en ce qui concerne les méthodes de calcul, les objectifs, le champ d'application et la réglementation de cette innovation. Comme exemple, le cas de la phase de collecte des données, elle est celle qui demande beaucoup de temps et est la plus complexe, car il s'agira de recueillir des données très pertinentes sur l'activité et les facteurs d'émissions et demande l'investissement de tout un chacun. La réalisation du bilan carbone implique de se former en interne et ainsi d'améliorer nos compétences en interne dans le domaine. Ensuite vient la phase de l'établissement de plan d'action, il faut un budget alloué pour la mise en application des plans d'action, les plans d'action qui doivent être en cohérence avec les objectifs de l'entreprise.

Il existe cependant des appareils pour mesurer le gaz carbone (CO<sub>2</sub>), mais cette méthode n'est pas incluse dans les différentes méthodes de comptabilisation du bilan carbone. Les principes les plus courants pour les capteurs de CO<sub>2</sub> sont les capteurs de gaz infrarouges non dispersifs et les capteurs de gaz chimiques, mais ne sont pas totalement fiables, car chaque appareil a ses contraintes.

## **III. BILAN CARBONE**

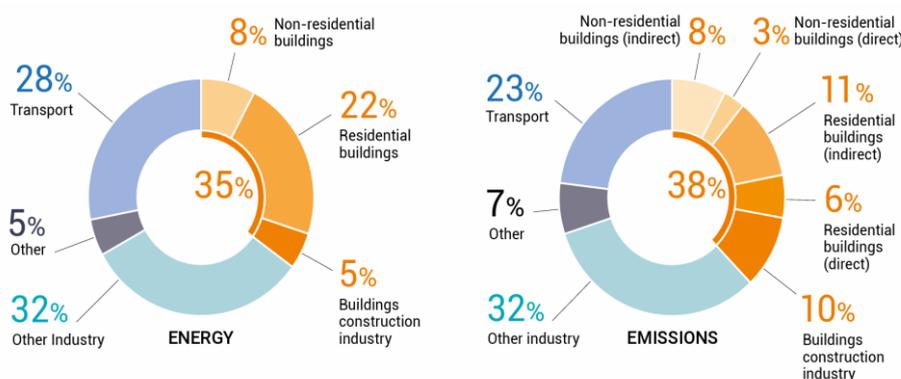
### **1. État des lieux**

En 2019, bien que la consommation finale totale d'énergie dans le secteur mondial des bâtiments soit restée stable par rapport à l'année précédente, les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de l'exploitation des bâtiments ont atteint leur niveau le plus élevé, s'élevant à environ 10 GtCO<sub>2</sub>, soit 28 % du total mondial des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie[3]. Si l'on inclut les émissions de l'industrie de la construction de bâtiments, cette part passe à 38 % des émissions mondiales totales de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie[3].

L'accroissement des émissions dans le secteur du bâtiment est attribuable à une utilisation persistante du charbon, du pétrole et du gaz naturel pour le chauffage et la cuisson. Cela s'accompagne d'une activité plus intense dans les régions où l'électricité demeure fortement carbonée, entraînant ainsi un niveau constant d'émissions directes, mais une augmentation d'émissions indirectes.

Alors que nous continuons à nous industrialiser et à nous urbaniser à un rythme toujours plus rapide, il est important que nous tenions compte de l'impact carbone du bâtiment dans l'émission des gaz à effet de serre. L'une des mesures clés pour évaluer la durabilité d'un matériau est son empreinte carbone émise lors de son cycle de vie, de la production à l'élimination.

La figure 4 ci-après présente des chiffres de la part mondiale des émissions de gaz à effet de serre dû au secteur du bâtiment.



Notes: Buildings construction industry is the portion (estimated) of overall industry devoted to manufacturing building construction materials such as steel, cement and glass. Indirect emissions are emissions from power generation for electricity and commercial heat.

Figure 4 : Part mondiale de l'énergie finale et des émissions des bâtiments et de la construction, 2019.

### 1. Objectifs du bilan carbone

La réalisation d'un bilan carbone répond à plusieurs objectifs :

- Mesurer, en ordre de grandeur, l'impact d'une activité sur les émissions de gaz à effet de serre.
- Apprécier le niveau de vulnérabilité et de dépendance d'une activité face aux contraintes énergétiques et climatiques.
- Hiérarchiser les priorités d'actions en vue d'une réduction effective des émissions.
- Avoir un cadre méthodologique de référence quantifié pour suivre l'avancement et les progrès réalisés dans le temps.

Les chiffres obtenus à la fin de la démarche permettent de choisir les actions à mener en priorité pour réduire les émissions.

## 2. Les périmètres d'étude

Les GES sont classés en trois catégories, communément appelées « Scope » (pour périmètre en anglais) [7]. Ces scopes servent à analyser en détail l'ensemble des activités d'une entreprise, identifiant ainsi les sources d'émissions significatives pouvant être maîtrisées et/ou influencées. Il en existe trois, présentés dans la figure 5.

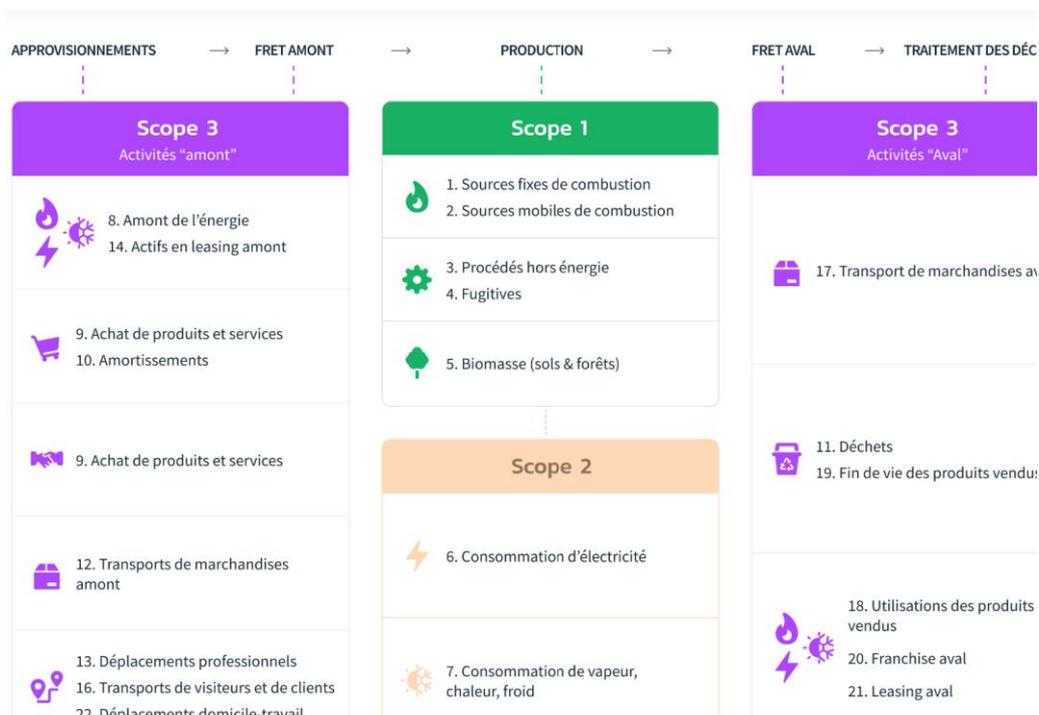


Figure 5: Illustration des périmètres de comptabilisation des GES

## **Le scope 1 : les émissions directes**

Il s'agit d'un ensemble d'émissions directement produites par l'entreprise et sa combustion d'énergies fossiles. L'entreprise est responsable de ces émissions et en a le contrôle. Par exemple, les émissions produites par l'usage des véhicules de fonction font partie du scope 1.

## **Le scope 2 : les émissions indirectes en lien avec l'énergie**

Cette fourchette fait référence à toutes les émissions totales générées par l'entreprise lors de sa fabrication ou de son achat. L'équipement d'extraction ou de fabrication utilisé pour produire de l'énergie (panneaux solaires photovoltaïques, éoliens, etc.) n'est pas inclus. Par exemple, la consommation de kWh d'électricité du siège appartient au scope 2.

## **Le scope 3 : toutes les émissions indirectes n'appartenant ni au scope 1 ni au scope 2**

On y retrouve le plus de catégories d'émission. Toutes les émissions de GES qui peuvent se produire en amont ou en aval sont comptabilisées dans ce périmètre. Par exemple, les achats de matériels de bureau font partie de ce scope.

Il est important de bien définir dans chaque scope les activités à prendre en compte. Par exemple, si l'on décide d'évaluer nos émissions à domicile de la fabrication d'un béton, les résultats seront différents :

- Si l'on choisit de limiter notre calcul à la simple utilisation d'énergie ;
- Si l'on considère toute la chaîne de production du béton.

### **3. Les différentes méthodes d'évaluation du bilan carbone**

#### **3.1. Guides méthodologiques d'évaluation des GES**

L'évaluation environnementale offre une densité de méthodes, plus ou moins similaires, adaptées à différents contextes, champs d'application, temporalités ou encore objectifs d'évaluation[14]. Selon le [wearegreen.io](https://wearegreen.io), plusieurs méthodologies et normes de calcul existent pour mesurer l'empreinte carbone d'une entreprise, dont le Bilan Carbone®, le GHG Protocol, le référentiel ISO, les analyses de cycle de vie des produits entre autres.

Le choix de la méthode d'évaluation du bilan de GES par une entreprise peut résulter soit d'une obligation des autorités compétentes, des exigences de la méthode, ou simplement de la facilité de mise en œuvre. Le libre arbitre dans le choix de la méthode peut influencer les résultats obtenus.

- **Méthode GHC Protocol :**

Le GHG Protocol représente une méthode normalisée et largement acceptée pour mesurer et gérer les GES des organisations[14]. Cette méthode, largement reconnue à l'international, a servi de base à l'élaboration de la norme ISO 14064-1. Elle constitue une approche de comptabilisation et de déclaration des émissions de GES pour les entreprises, prenant en compte tous les scopes. Bien que largement utilisé à l'international, en France, le Bilan Carbone est préféré, étant plus exhaustif et exigeant, fournissant des consignes plus précises sur la comptabilisation des émissions indirectes (scope 3). Le protocole de gaz à effet de serre suit un processus méthodologique précis, comprenant les étapes suivantes :

- Délimitation d'un cadre organisationnel, impliquant la proportion du capital et le niveau de contrôle.
- Identification d'un cadre opérationnel définissant les émissions à inclure.
- Estimation des émissions de gaz à effet de serre conformément aux directives du GIEC.
- Sélection d'une année de référence pour les émissions.
- Prise et gestion de la qualité de l'inventaire et incertitudes.
- Réalisation d'un audit par un tiers pour garantir la fiabilité des données.
- Evaluation des émissions obtenues.
- Elaboration de recommandations pour établir des objectifs de réduction des émissions.

- **Méthode suivant la norme ISO 14064 :**

La norme ISO 14064 partie 1 représente un standard international dédié à la déclaration des émissions GES par les entreprises.[14]. Initié en 2006, son objectif était de développer un modèle de déclaration des GES aligné avec les normes ISO existantes en matière de gestion de l'énergie et de l'environnement, telle que l'ISO 14001 et l'ISO 50001.

En s'inspirant du GHG Protocol, la norme ISO 14064 adapte ses exigences dans la structure ISO. En 2007, l'ISO a accordé son soutien simultanément au GHG Protocol et à la norme ISO 14064.

- **Méthode Bilan Carbone® :**

La méthode Bilan Carbone® représente une méthode de comptabilisation et de déclaration des émissions de gaz à effet de serre, avec des outils et des programmes de formations adaptés [14]. En France, cette méthode est accessible à tous les acteurs économiques, quels que soient le niveau d'expertise, en fournissant des recommandations personnalisées en fonction de leurs besoins.

Pour le Bilan Carbone, on se focalise sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. L'ADEME insiste sur le fait d'informer et d'impliquer les différentes parties prenantes tout au long du processus, favorisant ainsi la mise en œuvre et la durabilité des actions visant à réduire les émissions. Le processus se déroule comme suit :

- Détermination du périmètre de calcul, en tenant compte de l'année, des émissions et activités.
- Collecter les données, les évaluer puis analyser les résultats, en se focalisant sur les sources d'émissions principales.
- Mettre en place des plans d'actions adaptées en classifiant ces actions en fonction de l'efficacité, la faisabilité tout en privilégiant les mesures avec un impact considérables.
- Faire une synthèse et restitution finale, formalisant la publication des émissions carbone de l'entreprise tout en mettant en évidence les progrès réalisés.

- **Méthode basée sur l'analyse du cycle de vie (ACV) :**

L'analyse de cycle de vie (ACV) vise à mesurer tous les impacts environnementaux associés à une activité, en examinant toutes les phases du cycle de vie de cette activité [14]. Le cycle de vie englobe toutes les étapes nécessaires à la réalisation d'une activité ou à l'existence d'un produit ou d'un service. Les ACV prennent en compte l'ensemble du cycle de vie d'un produit ou d'une activité, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à leur élimination finale. Cette approche exhaustive permet une évaluation plus complète et précise des impacts environnementaux.

### 3.2. Différences entre les méthodes d'évaluation du bilan GES

- **Méthode GHG Protocol et la norme ISO 14064 :**

Bien qu'elle fasse distinction entre les émissions directes et indirectes, l'analyse de cycle de vie ne détermine pas les domaines d'applications. Les émissions de portée 1 du GHG Protocol. Les émissions du scope 1 du GHG Protocol correspondent aux émissions directes telle que définie par de la norme ISO 14064, qui regroupe les scopes 2 et 3 en tant qu'émissions indirectes. Cependant la norme ISO 14064 ne fournit pas de directives strictes pour la classification des émissions indirectes et impose des exigences différentes en termes de structure et de contenu du rapport.

En somme, malgré quelques distinctions, les émissions couvertes par les deux normes demeurent sensiblement les mêmes, fournissant un cadre limpide pour la déclaration des émissions de gaz à effet de serre.

- **Méthode Bilan Carbone® et le GHG Protocol :**

Les deux méthodes convergent dans la catégorisation. L'objectif d'harmonisation **de la comptabilité carbone** à l'échelle mondiale est essentiel. Les distinctions entre les deux réside dans leur degré **d'exigence** [14]. Entre autres nous avons :

- La méthode Bilan Carbone® requiert une analyse complète du scope 3 également appelé périmètre indirect, tandis que le alors GHG Protocol exige une analyse de seulement quelques postes du scope 3.
- La méthode Bilan Carbone® exige la **mise en œuvre d'un plan de réduction d'émissions de gaz à effet de serre** tandis que GHG Protocol se contente de le suggérer.
- La méthode Bilan Carbone® ne permet pas **l'exclusion de certaines activités**, contrairement au lorsque GHG Protocol qui le permet.

#### **IV. EXEMPLE DE POLITIQUE, RÉGLEMENTATION OU PROGRAMME FAVORABLES À LA TRANSFORMATION DU SECTEUR DU BÂTIMENT**

**Le label chantier zéro carbone** : une certification volontaire qui évalue l'empreinte des projets de construction. Ce label, initié par le ministère français de la Transition écologique et solidaire

en collaboration avec d'autres organismes, vient compléter d'autres certifications volontaires pour le bâtiment. A titre d'exemple, le label BBCA évalue la performance environnementale des bâtiments résidentiels neufs tandis que le label THPE évalue la performance thermique des nouvelles constructions.

**La réglementation environnementale des bâtiments (RE2020)** : Entrée en vigueur en France en janvier 2022, cette nouvelle réglementation remplace et succède la réglementation thermique 20 (la RT2012 impose le calcul d'impact carbone des bâtiments, ainsi que le respect d'un seuil maximal réglementaire). La réglementation environnementale des bâtiments exprime cette nouvelle volonté de se diriger vers une économie de la construction moins énergivore et plus respectueuse de l'environnement.

**La Réduction des émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation** vise la réduction de la déforestation et de la dégradation, tout en valorisant le carbone stocké dans les forêts. Certains pays expérimentent cette approche en vue de bénéficier de compensation financière pour leurs efforts en atténuation du réchauffement climatique. La REDD cherche à valoriser le carbone stocké dans les forêts, et son adoption par certains pays en tant que stratégie d'atténuation du réchauffement climatique souligne l'évolution de cette idée dans les débats internationaux, avec la perspective de compensation financière pour les nations engagées dans la réduction de la déforestation et de la dégradation forestière[29].

## CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES

### I. MATÉRIELS

Les matériels ci-dessous ont été utilisés afin d'atteindre nos objectifs :

- Le logiciel openLCA.
- Le logiciel Google Maps.
- Pack office Microsoft.

#### **Logiciel openLCA :**

OpenLCA (life cycle Assessment) développé en 2007 par Green Delta est un logiciel d'analyse de cycle de vie (ACV) avec le support du PE1 international[34]. OpenLCA est un outil de modélisation et d'évaluation des cycles de vie, de réalisation d'analyses de cycle de vie. OpenLCA offre 8 méthodes d'évaluation du bilan carbone (Cf, Annexe3), chacune se concentrant sur des aspects spécifiques de l'impact environnemental. Les méthodes d'évaluation d'impact sont des composantes essentielles de l'analyse du cycle de vie. Elles quantifient les impacts environnementaux potentiels associés aux produits, ou aux services. De nombreuses « variantes » de modèles de cycle de vie sont possibles dans openLCA, par exemple : empreinte carbone selon le protocole GES, ou ISO 14067, études ACV selon la norme ISO 14040, études ACV pour la création de déclarations environnementales de produits, également conformes à EN15804, etc. Les informations utilisées pour évaluer l'impact des composants proviennent de données génériques provenant de bases de données reconnues et régulièrement mises à jour. La figure 6 illustre l'interface graphique du logiciel openLCA.



Figure 6 : Présentation de l'interface du logiciel OpenLCA (aide à l'AVC)

### **Google Maps :**

Le logiciel Google Maps est une plateforme de cartographie en ligne, il permet de trouver un itinéraire quel que soit le mode de transport, de rechercher des lieux, d'afficher des informations précises sur ces lieux, etc. Dans le cas de notre travail, Google Maps a permis d'avoir des informations sur les distances pour approvisionner le chantier en matériau.

### **Pack office Microsoft :**

La suite bureautique Microsoft Office a été développée par Microsoft. Il contient quatre logiciels principaux ainsi que des logiciels additionnels dans certaines versions du pack. Dans le cadre de notre étude, les packs utilisés sont Word pour la rédaction de notre travail et Excel pour les calculs et graphes.

## **II. MÉTHODES**

Pour répondre aux objectifs atteindre les objectifs de cette étude, nous avons adopté l'approche méthodologique suivante :

### **1. Recherche documentaire**

Cette recherche a été faite dans le but de comprendre le travail demandé et de l'aborder aisément. Pour ce faire, plusieurs sources ont été nécessaires. Il s'agit :

#### **Des guides :**

- Le Guide « des facteurs d'émissions — Version 6.1 » de l'ADME de 2001-2010.

- Le Guide « Règlement environnemental des bâtiments neufs RE2020 » ministère de la transition écologique, auteur de CABASSUD Nicolas.
- Guide manuel d'utilisation du logiciel openLCA.

**Des dossiers de consultation de l'entreprise** relative au projet de l'ambassade d'Éthiopie (CCTP, planning du projet, CPTP, les documents sur les engins de l'entreprise) :

**Des textes de loi :**

- La loi n°2019-576 du 26 juin 2019 instituant le Code de la Construction et de l'Habitat ;
- La loi n° 96-766 du 3 octobre 1996 portant code de l'Environnement de la République de Côte d'Ivoire.

**Des bases de données :**

- Base de données INIES.
- Base de données d'ADEME.

## 2. Méthodologie d'évaluation du bilan des gaz à effet de serre (GES)

Dans le cadre de cette étude, pour la comptabilisation des gaz à effet de serre, nous avons utilisé le logiciel openLCA, qui est un outil de modélisation et d'analyse de cycle de vie (ACV) permettant d'évaluer le bilan GES. Dans le logiciel openLCA, l'évaluation du bilan carbone repose sur l'utilisation de méthode spécifique d'analyse de cycle de vie telle que LCIA (Life Cycle Impact Assessment), ILCD (International Reference Life Cycle Data System), etc[34]. La première étape essentielle de la modélisation ACV à l'aide d'openLCA est la sélection d'une **base de données** d'arrière-plan. Cette base de données sert de référentiel pour les composants nécessaires à la réalisation d'ACV, par conséquent, on se doit d'en créer ou d'en importer une pour travailler avec openLCA. Une fois créées ou importées, nous pouvons concevoir les phases du cycle de vie, ou **processus**, de notre produit qu'on désire analyser. Ces processus sont caractérisés par une référence quantitative. Dans le cadre de cette étude, nous modéliserons directement les processus de la phase de fabrication. OpenLCA, offre des processus communs à partir d'une base de données existante (ces processus « communs » incluent généralement la production d'électricité, le transport, la construction, le traitement des déchets, etc.). La seconde étape consiste à intégrer les processus dans un modèle de cycle de vie en créant un **système de produits**. Une fois que le modèle de cycle de vie est prêt, il est temps **de calculer l'inventaire du produit**. Cela donne un aperçu des matériaux et des ressources utilisés et émis tout au long

du cycle de vie du produit. Il s'agit de l'inventaire du cycle de vie (LCI). Les flux d'entrée et de sortie du système de produits, indiquant les quantités et les unités pour chacun d'eux sont disponibles dans le logiciel et sont modifiables. Pour générer l'analyse d'impact sur le cycle de vie, on se doit d'ajouter une méthode LCIA au calcul. Les méthodes LCIA englobent un large éventail de catégories d'impact, telles que le potentiel de réchauffement climatique, l'acidification, l'eutrophisation et la toxicité humaine. On choisit une **méthode d'évaluation d'impact** (EF-Method, Ecoinvent, etc.) (cf. Annexe 3), dans le menu déroulant, qui calcule l'impact environnemental à partir de l'inventaire du cycle de vie. La dernière étape consiste à interpréter les résultats pour comprendre les principales sources d'impact environnemental et identifier les domaines où les améliorations peuvent être apportées.

### 3. Collecte de données

Pour recueillir les données d'entrées nécessaires à la réalisation de cette l'étude, les échanges avec les différents chefs d'équipe sur le chantier furent primordiaux, car à la sortie de ces échanges on a une vision plus claire des conditions de mise en œuvre de certains matériaux. Les données de bases auxquelles on a eu accès concernant le projet de l'ambassade sont les suivantes :

- Nature et caractéristiques des matériaux.
- Volume mis en place.
- Surface des différentes pièces.

Pour la collecte des données sur les distances pour l'approvisionnement du chantier, un recours au logiciel Google Maps fut exploité. On part sur le principe que pour desservir le chantier il y a un transport des matériaux de l'entreprise (point de départ) vers le chantier (point d'arrivée) qui s'effectuera, pour la détermination de ces distances, l'outil **Google MAPS** pour donne des distances approximatives. Les données sur les distances sont visibles dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2: Distance parcourue pour approvisionner le chantier en matériaux.

Désignation	Entreprise	Distance totale parcourue en km
Sable	PARTICULIER	12
Gravier	SISAG	8,4
Ciment (CPA 42,5 R)	BIG CIM	29
Fer	SOTACI	18

#### 4. Les différentes composantes prises en compte

Le calcul des émissions de gaz à effet de serre se fondera sur la conversion des données d'activités réelles en émissions de GES (émissions en kgCO<sub>2</sub>éq), en utilisant les facteurs d'émissions (FE) et le potentiel de réchauffement global (PRG).

##### Composante 1 : mise en œuvre du béton sur chantier

La production du béton s'effectue sur le site du chantier, cela engendre deux principaux facteurs :

- L'activité de production du béton qui inclut la production des matériaux, la quantité d'armature et leur transport de la carrière vers le chantier,
- L'électricité pour la production et le transport du béton.

Pour le dosage et prescription, le devis descriptif a été d'une utilité.

Le tableau 3 ci-dessous présente un extrait du descriptif pour la confection du béton

Tableau 3: Descriptif du matériau béton

Éléments	Descriptif du matériau
Béton de propreté, Semelles, Dallage Poteau et dalle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Béton dosé à 350 kg/m<sup>3</sup> de ciment CPA 42.5</li> <li>- Bétonnière : 250 L</li> <li>- Puissance monophasée : 1,5 kWh</li> <li>- Granulats issus de carrières</li> <li>- L'eau de gâchage</li> <li>- Armature</li> </ul>

- Hypothèse de calcul pour les armatures

Selon une étude menée par VINCI, les composants principaux d'un béton donné sont généralement, du moins au plus important, le ciment, les armatures et le transport des constituants du béton [51]. La figure ci-dessous illustre un exemple pris au hasard pour la répartition des émissions de GES d'un béton donné.

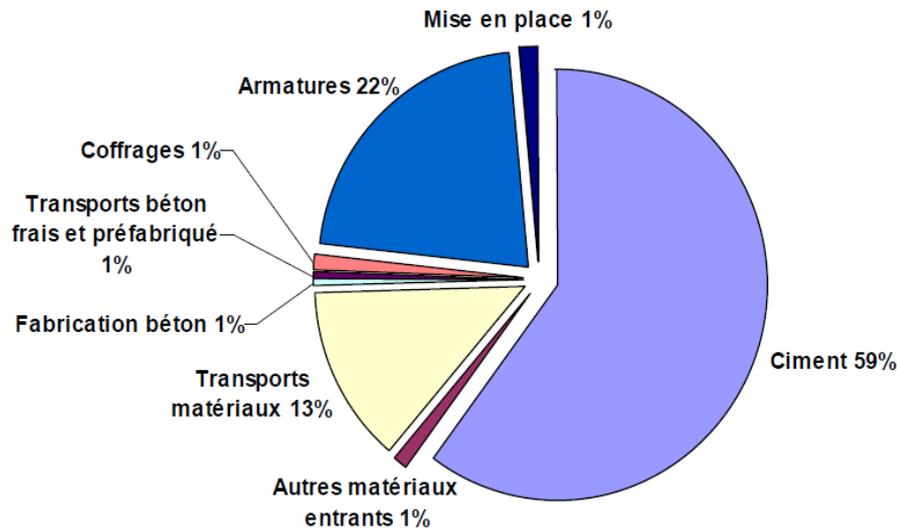


Figure 7: Exemple pris au hasard de la répartition des émissions de gaz à effet de serre d'un béton donné.

➤ Justification pour le calcul d'armature

Les émissions de gaz à effet de serre liées aux armatures sont de l'ordre de 22% des émissions du béton, elles varient entre 60 à 200 kg CO<sub>2</sub>-éq. Alors sur cette base, nous retiendrons dans le cadre de nos calculs comme valeur des armatures **200 kg CO<sub>2</sub>-éq**, représentant le seuil maximal des armatures dans les émissions de GES pour 1m<sup>3</sup> de béton.[51]

NB : La plupart des bétons utilisés dans les constructions courantes présentent généralement des caractéristiques mécaniques moins élevées que les bétons utilisés dans les ouvrages d'art [51].

### Composante 2 : l'usage de la plaque de plâtre hydrofuge B13

Les travaux de cloisonnement des différents bâtiments est porté sur le matériau plaque de plâtre hydrofuge (BA13), afin d'avoir une haute résistance mécanique et hydrofugée des différentes pièces à cloisonner. Cela engendre comme principaux facteurs :

➤ L'électricité pour la confection des plaques de plâtres en usine

- Le transport du matériau sur le chantier.

Pour le détail de mise en œuvre et caractéristique des plaques de plâtre, il faut se référer au devis descriptif. Le tableau 4 présente le descriptif du matériau.

Tableau 4: Descriptif du matériau plaque de plâtre

Éléments	Descriptif du matériau
Plaque de plâtre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Épaisseur 13mm</li> <li>- Plaque de plâtre BA13HYDRO</li> <li>- Largeur : 1,2 m</li> <li>- Couleur : vert</li> <li>- Poids : 10,3 kg/m<sup>2</sup></li> </ul>

### Composante 3 : l'usage du verre pour les parois et cloison

Le verre sera utilisé pour faire les parois et la cloison pour certaines pièces du bâtiment. Cela engendre deux principaux facteurs :

- L'électricité pour la production du verre en usine.
- Le transport du matériau sur le chantier.

Pour les informations sur les pièces ciblées et caractéristiques des vitres, une consultation du devis descriptif des lots architecturaux a été impérative. Le tableau 5 ci-dessous en présente un extrait.

Tableau 5 : Descriptif du matériau verre

Éléments	Descriptif du matériau
Parois et cloisons vitrées	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Panneaux mobiles en verre trempé à bords polis sans cadre</li> <li>- Hauteur : (l x h) : 46 à 96 x 300 cm (maximal panneau).</li> <li>- Largeur : jusqu'à 7,78 m (ouverture maximale par 8 panneaux mobiles de même largeur), 20 cm (minimal panneau fixe)</li> <li>- Poids : 75 kg/panneau (maximal)</li> </ul>

Il convient de préciser que les matériaux, ainsi que leurs procédés, mode de transport, sont disponibles et intégrés dans les bases de données du logiciel.

Vu l'ampleur des différentes étapes pour obtenir les résultats, la totalité des étapes qui aboutissent au résultat ne pourra pas être présentée dans le document, nous présenterons alors un exemple d'arbre de contribution pour le matériau béton. Le détail des quantités prises en compte est présenté en annexe 2 : arbre de contribution pour le matériau béton

## 5. Mode de calcul du CO<sub>2</sub>.

Pour évaluer le bilan carbone de la construction de l'ambassade d'Éthiopie, nous avons choisi une méthode d'évaluation qui correspond aux besoins de notre étude. En effet, le choix de la méthode appropriée dépend des objectifs de l'étude et de la disponibilité des données. Dans le cadre de cette étude, notre choix s'est porté sur la méthode LCIA (Life Cycle Impact Assessment) plus précisément EF-méthode (Emission Factor Method). Elle est une approche d'évaluation des émissions de gaz à effet de serre (GES) basée sur les facteurs d'émissions spécifiques à chaque processus ou activité pour estimer les quantités de GES émises. Cette méthode utilisée dans l'analyse de cycle de vie pour évaluer les impacts environnementaux des produits ou processus tout au long de son cycle de vie. Elle nécessite cependant des données spécifiques utilisées dans l'analyse et des hypothèses.

Pour calculer l'impact carbone, le logiciel openLCA tient compte :

- Des indicateurs environnementaux sont détaillés dans les fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) du produit ou matériau, fournies par le fabricant et indispensable dans la base de données INIES. Ces indicateurs comprennent :
  - Le facteur de caractérisation, issu de la base de données du cycle de vie.
  - Pouvoir de réchauffement climatique global.

Dans openLCA, la méthode EF utilise une formule simple pour calculer les émissions de CO<sub>2</sub> associées à une activité ou un processus. La formule de base est la suivante :

$$\text{Émission GES} = \text{Quantité d'activité} * \text{Facteur d'émission spécifique}$$

**Quantité d'activité** : elle représente la mesure de l'activité à évaluer (par exemple, la production d'une unité de produit, la consommation d'énergie, etc.)

**Facteur d'émission spécifique** : il est le coefficient qui représente la quantité de CO<sub>2</sub> émise par unité d'activité. Ces facteurs sont souvent exprimés en unités telles que kgCO<sub>2</sub> ou tCO<sub>2</sub> par unité d'activité.

N.B. Dans de nombreux cas, les facteurs d'émissions intègrent déjà les potentiels réchauffements climatiques globaux (PRG) et convertissent directement les données d'activités en tCO<sub>2</sub>eq ou kgCO<sub>2</sub>eq.

Il est à rappeler que dans openLCA, ces calculs sont réalisés automatiquement en utilisant les données d'inventaire et les facteurs d'émissions sélectionnés pour le processus ou activités. Il est important de noter que les résultats dépendent des données spécifiques utilisées dans l'analyse et des hypothèses faites, ce qui peut influencer les résultats finaux. Mais la complexité réside dans le choix des données des inventaires, des méthodes d'impact et des caractérisations appropriées.

## CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### I. RÉSULTATS DES DIFFÉRENTES HYPOTHÈSES

Les données sont ventilées selon les types de matériaux, et à la fin du processus, un bilan global des émissions indiquera le matériau présentant le plus d'émissions, suggérant ainsi la nécessité d'interventions préalables pour réduire et compenser ces émissions de gaz à effet de serre.

#### 1. Composant 1 : mise en œuvre du béton sur chantier

Pour 1 m<sup>3</sup> de béton produit sur site, on cumule comme score 332,42 kgCO<sub>2</sub>-éq comme contribution du bilan GES sur le changement climatique avec un apport en ciment qui contribue à une hauteur de 57,90 %. Si l'on ajoute au score la contribution de l'armature pour les émissions, le score passe alors à 532,42 kgCO<sub>2</sub>-éq

L'impact carbone en équivalent de CO<sub>2</sub> sur le changement climatique est visible sur le graphe de la figure 8.

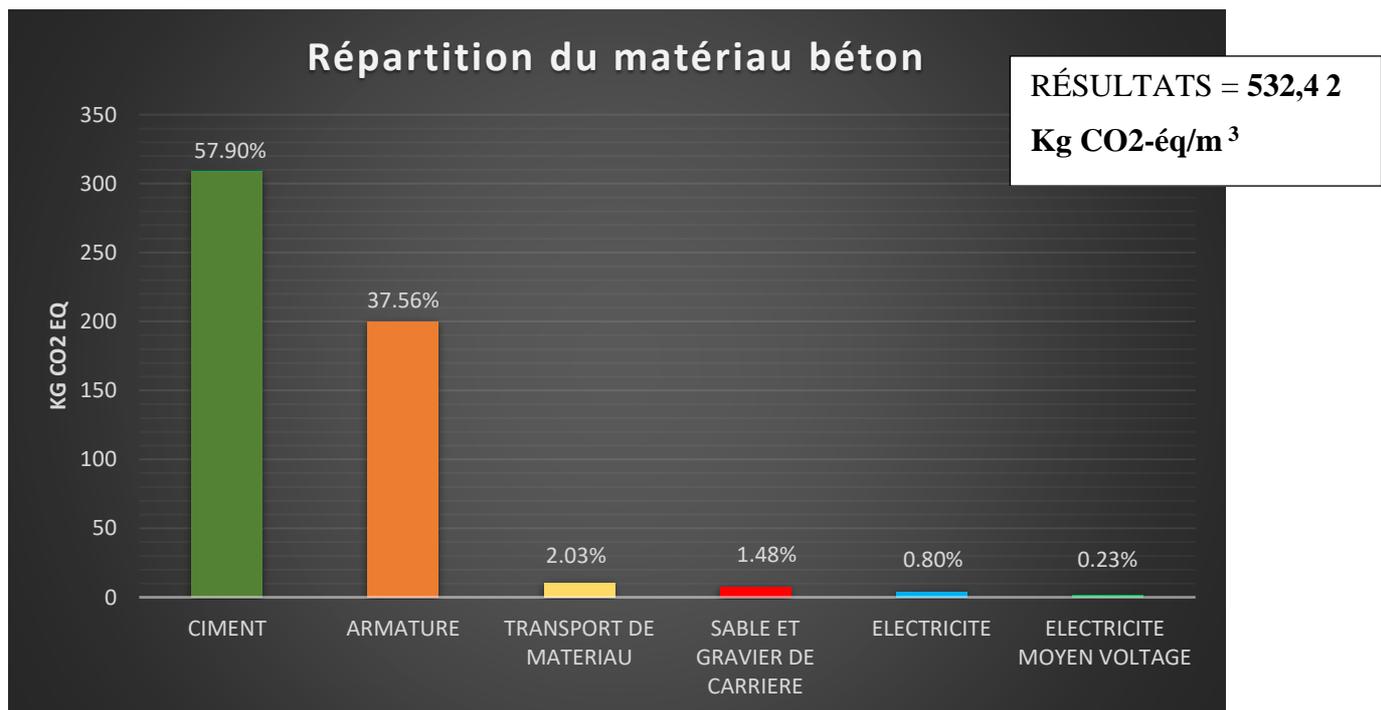


Figure 8: Répartitions des émissions GES pour le béton

Le score obtenu qui est de 532,42 kgCO<sub>2</sub>-éq sera multiplié par le quantitatif de béton de chaque bâtiment, ainsi le score obtenu des différents bâtiments sera pondéré et représentera ainsi le

bilan GES pour l'indicateur réchauffement climatique global. Le bilan carbone des bâtiments est représenté dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6 : Synthèse des émissions liées à l'utilisation du béton dans le bâtiment

BÂTIMENT	QUANTITATIF BÉTON (m <sup>3</sup> )	SCORE PAR LOT kgCO <sub>2</sub> -éq	SCORE FINAL
RÉSIDENCE AMBASSADEUR	571,649	304 357,361	<b>733 391, 513 kgCO<sub>2</sub>-éq</b>
SALLE POLYVALENTE	87,22	46 437,672	
CHANCELLERIE	571,649	304 357,361	
BÂTIMENT DU PERSONNEL	146,95	78 239,119	
TOTAL	1 377,468	733 391,513	

## 2. Composant 2 : l'usage de la plaque de plâtre hydrofuge BA13

Pour produire un panneau de plaque de plâtre (10,3kg/m<sup>2</sup>), comme indiqué sur la figure 9, on comptabilise un score final de 1,9421 kgCO<sub>2</sub>-éq, avec un apport important dominé par le gypse qui est une espèce minérale composée de sulfates hydratés de calcium et de l'eau. Lors de sa production, comme pollution émise on a uniquement de l'eau évaporée et les autres pollutions quant à eux sont captées et intégrées au système de production des plaques de plâtre.

L'impact carbone en équivalent de CO<sub>2</sub> sur le changement climatique global est visible sur le graphe de la figure 9.

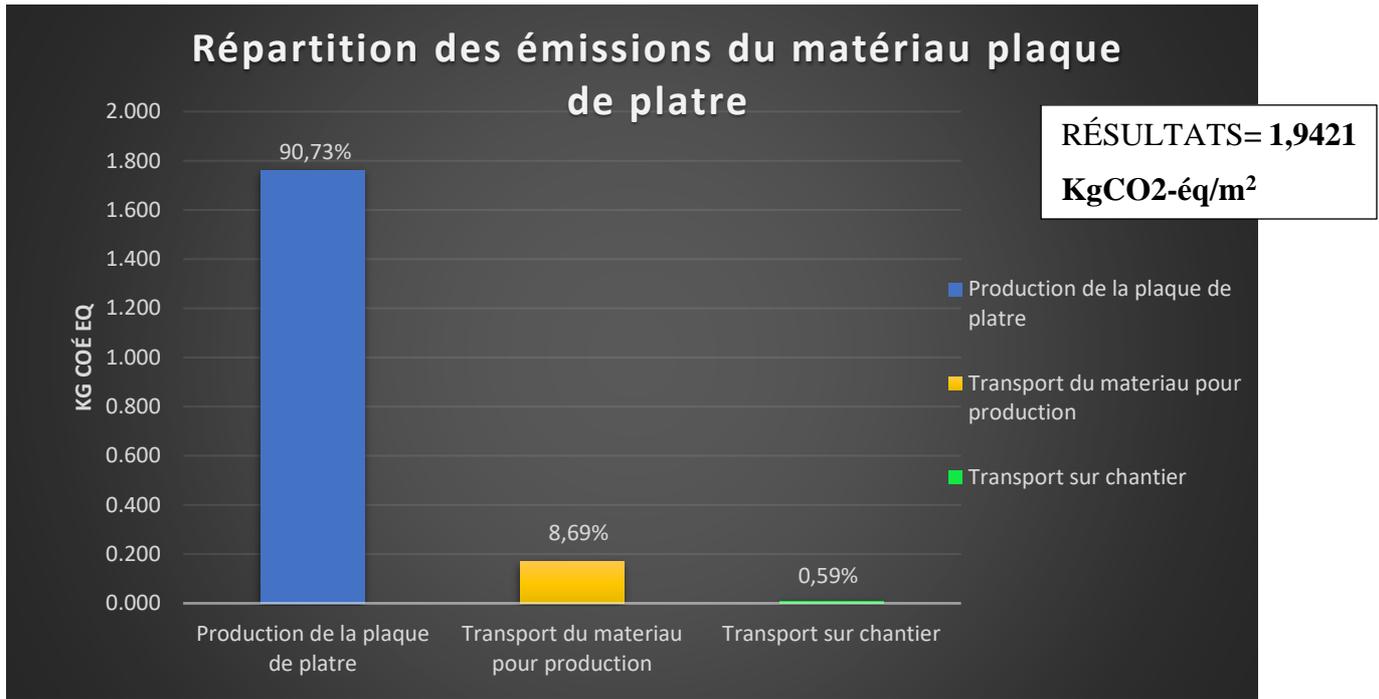


Figure 9 : Répartition des émissions GES de la plaque de plâtre

Pour l'évaluation de l'impact carbone global du bâtiment par l'usage de la plaque de plâtre, nous ferons une déduction en allant sur la base des surfaces à cloisonner. Ainsi le score obtenu des différents bâtiments sera sommé et représentera ainsi notre bilan GES pour l'indicateur de réchauffement climatique. Le bilan carbone des bâtiments est représenté dans le tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7: Synthèse des émissions liées à l'utilisation de la plaque de plâtre dans le bâtiment

BÂTIMENT	SURFACE (m2)	SCORE PAR LOT kgCO2-ék	SCORE FINAL
RÉSIDENCE AMBASSADEUR	553,68	1075,205	<b>1223 kgCO2-ék</b>
BÂTIMENT DU PERSONNEL	76	147,6	
TOTAL	629,68	1222,805	

### 3. Composant 3 : l'usage du verre pour les cloisons et parois

Pour un panneau de verre, on comptabilise pour score 78,1 975 kg.CO2ék avec une forte contribution liée à la production du verre. Pour le transport du matériau, son impact carbone est

négligeable sur l'impact de réchauffement climatique global. Cependant, ce score n'est pas négligeable pour le bilan carbone du bâtiment.

L'impact carbone en équivalent de CO<sub>2</sub> sur le changement climatique global est visible sur le graphe de la figure 10.

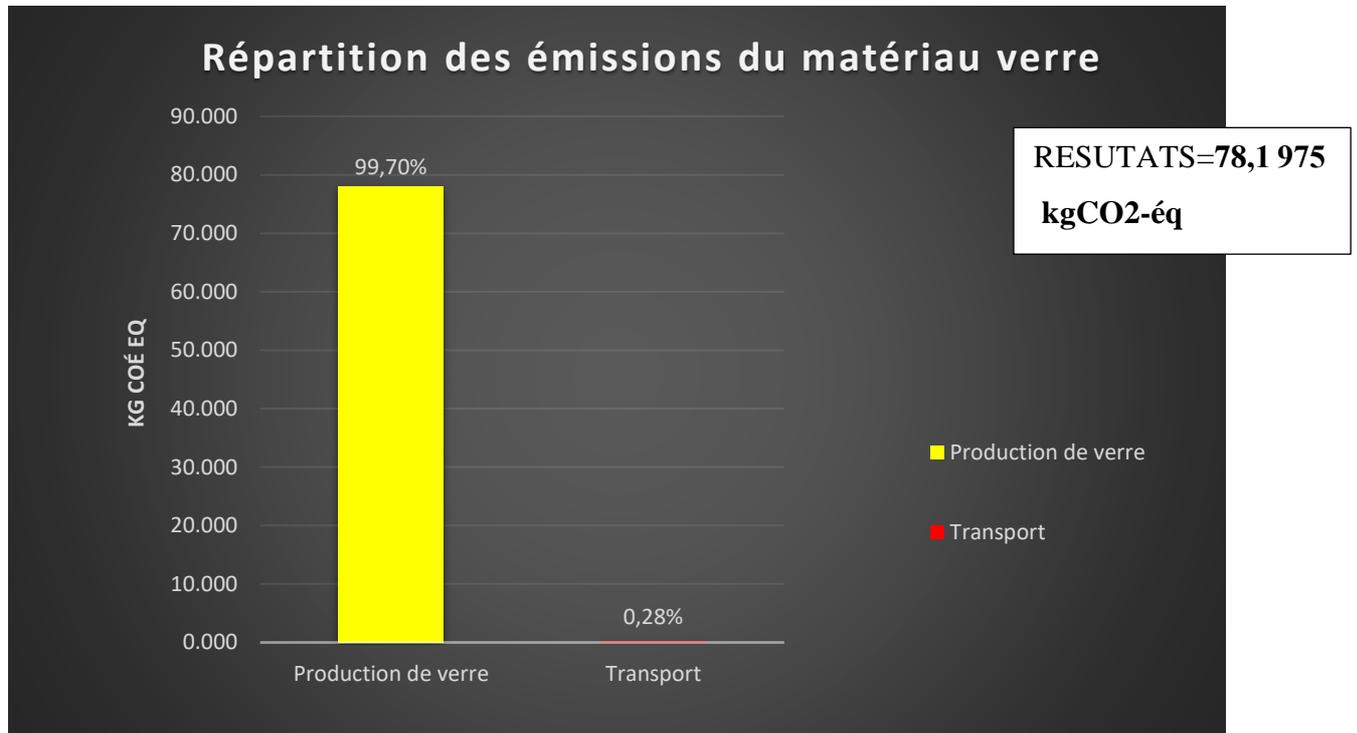


Figure 10 : Répartition des émissions GES du verre

La production du verre, comme indiqué sur la figure 20, comptabilise un score final de 78,1 975 kgCO<sub>2</sub>-éq, un score pas favorable à la réduction du bilan carbone. Pour l'évaluation de l'impact carbone global du bâtiment par l'usage de la vitrerie, on fera une déduction en allant sur la base des surfaces à cloisonner du bâtiment. Ainsi le score obtenu des différents bâtiments sera pondéré et représentera ainsi notre bilan GES pour l'indicateur de réchauffement climatique global. Le bilan carbone des bâtiments est représenté dans le tableau 8 ci-dessous.

Tableau 8 : Synthèse des émissions liées à l'utilisation du matériau verre dans le bâtiment

BÂTIMENT	SURFACE (m2)	SCORE PAR LOT kgCO2-éq	SCORE
RÉSIDENCE AMBASSADEUR	367,66	28750,093	<b>545 57 kgCO2-éq</b>
CHANCELLERIE	330,02	25806,739	
TOTAL	697,68	54556,832 kg	

#### 4. Bilan total des émissions

La répartition des émissions GES par matériau de construction de l'ambassade d'Ethiopie est présentée sur la figure 11 suivant :

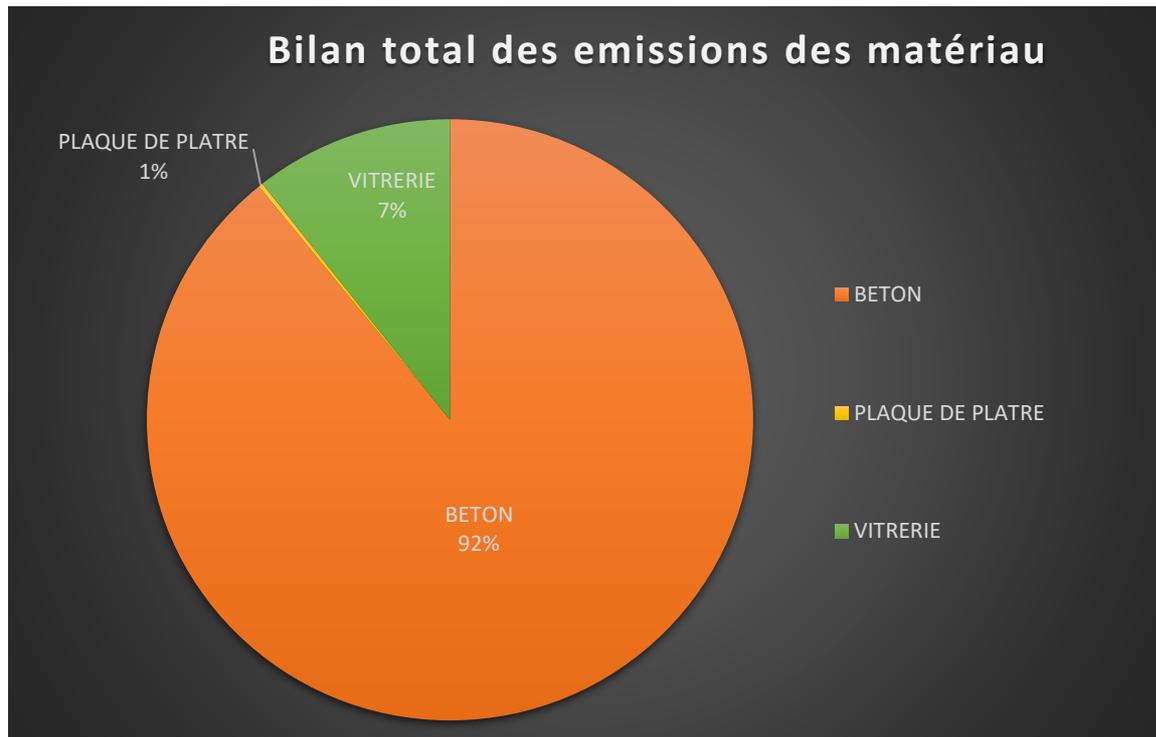


Figure 11 : Répartition des émissions des différents matériaux

Le bilan total des émissions GES de la construction de l'ambassade d'Ethiopie est représenté dans le tableau 9 ci-dessous :

Tableau 9 : Bilan des émissions GES par catégorie de matériau

MATÉRIAUX	ÉMISSIONS PAR MATERIAU Kg CO2-éq	ÉMISSIONS GLOBALES
BÉTON	733 391, 513	800 171,513 kgCO2-éq
PLAQUE DE PLÂTRE	12 223	
VERRE	54 557	
TOTAL	800171,513	

## II. DISCUSSIONS

### 1. Analyse des résultats

Les émissions globales de gaz à effet de serre pour les trois matériaux considérés dans notre analyse sont évaluées à environ 800 172 kgCO2éq. Dans l'ordre d'impact sur l'environnement des activités de construction de l'ambassade d'Éthiopie, les matériaux les plus prédominants sont les suivants :

- Le matériau béton qui représente 733 392 kgCO2éq, soit 92% des émissions totales. La comptabilisation de ce matériau inclut les armatures, l'extraction des constituants du béton, le transport des granulats depuis l'extérieur et leur arrivée sur le chantier et sa mise en place sur le chantier. La comptabilisation du béton a été effectuée à partir des quantités de surface bétonnée et une approximation sur les émissions des armatures car l'armature joue un rôle non négligeable dans les émissions GES par son procédé de fabrication jusqu'à sa fin de cycle de vie. Etant donné certaines contraintes liées à la valeur réelle des armatures pour ce projet, cette valeur a été prise grossièrement : en considérant les différents bâtiments à réaliser.

NB : Le résultat obtenu pour le calcul du béton dans ce cas spécifique est fonction des différentes hypothèses présent en compte énuméré plus haut, et celui-ci peut varier d'une hypothèse à une autre.

- Le matériau verre à une émission de 54 557 kgCO<sub>2</sub>éq, soit 7% des émissions totales. La comptabilisation inclut le processus de confection, qui use en grande partie de l'énergie pour la calcination des métaux, puis le transport du matériau sur le chantier.
- Le matériau plaque de plâtre qui est très peu significative. La plaque de plâtre émet 12 223 kgCO<sub>2</sub>éq, soit 1% des émissions totales. À part le gypse utilisé, les autres éléments entrant dans la confection des plaques de plâtre sont captés et réintégrés au système de production. Ce qui explique son faible pourcentage en émission.

## 2. Aide à l'interprétation des résultats

Les différents indicateurs résultant d'une analyse de cycle de vie sont fréquemment représentés sur une échelle unique, en valeurs relatives entre 0 et 1[37]. Cela vise à atténuer les disparités significatives dans les ordres de grandeur des divers résultats comme observés dans le cycle de vie. Dans le contexte d'une maison standard, le potentiel réchauffement climatique est d'environ 500 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>, comparé à une consommation d'eau d'environ 300 mètres cubes et un impact sur la santé humaine équivaut à une année de vie perdue, soit 30 000 entre les indicateurs extrêmes[43]. L'adoption d'une échelle entre 0 et 1 facilite la représentation des divers indicateurs sur le même graphique. Cependant, cet avantage s'accompagne du désavantage d'accorder une importance égale à tous les indicateurs, indépendamment de leur contribution effective au système étudié. Pour remédier à cette problématique, la normalisation des émissions par rapport aux valeurs moyennes par habitant et par an est suggérée. Par exemple un habitant génère en moyenne 8700kg d'équivalent CO<sub>2</sub> en France[30]. Cette approche permet de mettre en évidence les thèmes pour lesquels la contribution du système est négligeable.

## 3. Interprétation des résultats de l'empreinte carbone obtenue

Selon le document des contributions prévues déterminées au niveau national de la Côte d'Ivoire, la moyenne des émissions d'un Ivoirien est de 0,81tCO<sub>2</sub>/hab en 2012[31], soit 810kg CO<sub>2</sub>éq/hab. en extrapolant à partir du scénario « bas carbone » aligné sur les engagements pris par le pays dans le cadre de la COP 21, on peut estimer les émissions d'un ivoirien en 2023 à environ 1,03tonne équivalent CO<sub>2</sub> par habitant, soit 1030 kgCO<sub>2</sub>éq/hab. Le résultat correspond à l'empreinte carbone de 777 Ivoiriens pour la méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) utilisé pour notre étude.

Il n'y a pas de « bon » ou de « mauvais » bilan carbone. L'interprétation du bilan carbone se fait par rapport à l'année de référence du premier bilan carbone, des facteurs d'émissions et des efforts de réduction. Les résultats pourront donc être aisément commentés objectivement, à partir du prochain bilan de l'entreprise. Les statistiques globales du béton sont les suivantes :

- 733392 kgCO<sub>2</sub>éq pour 1337,468 m<sup>3</sup> de béton la produire sur chantier.
- Une émission d'environ 532 kgCO<sub>2</sub>éq /m<sup>3</sup> pour l'élément de structure en béton armé (armature y compris).
- Les émissions du béton varient entre 332 à 532 kgCO<sub>2</sub>éq /m<sup>3</sup>. Cette différence s'explique par le fait que les émissions des armatures sont de l'ordre de 200 kgCO<sub>2</sub>éq du béton.

La production du béton avec prise en compte de ses constituants et aux armatures représente la part la plus considérable avec 92 % des émissions totales.

Le bilan des émissions GES par catégorie de matériau est représenté sur la figure 12 suivante

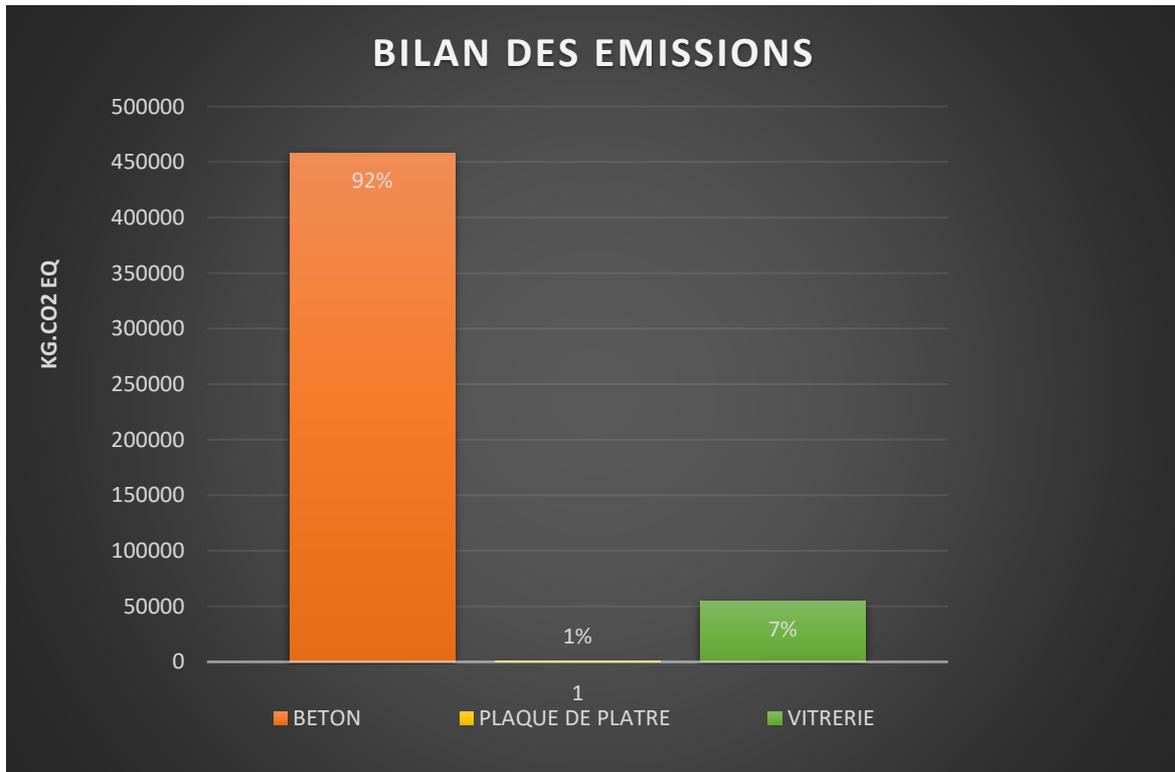


Figure 12 : Bilan des émissions GES

Comme le montre la figure 11, les émissions de CO<sub>2</sub> du projet de l'ambassade de l'Éthiopie sont en majeure partie engendrées par le béton avec 92 %, ensuite vient l'usage de la vitrerie qui comptabilise un pourcentage de 7 %. La quasi-totalité des émissions de ce projet est détenue par ces deux matériaux. Globalement, l'étude donne un bilan des émissions de GES pour l'ensemble du projet de l'ambassade.

Malgré les limites de cette étude, on estime que l'incertitude, l'omis, soit par hypothèses prises en compte soit par manque d'information sont minimales face au bilan GES calculé. Cette valeur est toute même appréciable, car elle est fondée sur les matériaux les plus prépondérants du projet et émetteurs d'émissions de GES tels que le béton, reconnu comme un matériau très énergivore.

### III. RECOMMANDATION POUR ATTÉNUER L'EMPREINTE CARBONE

#### 1. Plan d'action de réduction des émissions

Dans cette section, nous examinerons des propositions d'actions visant à significativement réduire les émissions de gaz à effet de serre. Nous débuterons par évaluer la contribution de la construction au changement climatique, puis élaborerons des fiches d'actions de réduction des émissions.

##### ➤ **Évaluation de la contribution du chantier au changement climatique.**

L'évaluation du bilan carbone du projet de construction de l'ambassade d'Éthiopie présente le profil suivant :

- Des émissions majoritairement dues à la production du béton sur le chantier.
- Des matériaux significatifs, tels que le béton et le verre.
- Un matériau très peu significatif, comme la plaque de plâtre.

En Côte d'Ivoire, les émissions de GES ont été de 1253873 téqCO<sub>2</sub> en 2012, dont 627030 téqCO<sub>2</sub> pour le secteur du bâtiment[36]. Par interpolation, la projection des émissions de GES estimé pour 2023, pour le secteur du bâtiment, est de l'ordre de 12 766 830 téqCO<sub>2</sub>. La production de GES par les travaux de construction de l'ambassade d'Éthiopie, d'environ 800,172 téqCO<sub>2</sub>, demeure ainsi négligeable (6,27 %) par rapport aux 12 766 830 téqCO<sub>2</sub> produits par le secteur du bâtiment en 2023. Mais pour une construction de l'ambassade, cette émission est considérée comme très importante. De plus, le bilan ne prend en compte que les

émissions du 15 juillet 2022 jusqu'au mois de juin 2023, soit 11 mois, qui ne représentent même pas la moitié du délai prévu pour la construction, fixé à 36 mois évolutifs. Il est donc essentiel d'envisager une méthode de réduction pour éviter une multiplication plus importante de ces émissions.

➤ **Rédaction de fiche d'actions**

La stratégie de rédaction des fiches d'actions consiste à regrouper les améliorations par matériau. L'objectif est d'atteindre une réduction significative des émissions de GES, laissant à l'entreprise de construction la responsabilité de décider de la mise en œuvre des actions d'amélioration proposées.

## Fiche N°1 pour le matériau béton

FICHE D'ACTION N°1	MATÉRIAU CONCERNE	
<b>Promouvoir l'utilisation de techniques et de matériaux à faibles émissions sur les chantiers afin de faciliter leur adoption.</b>	BÉTON	
	TOTAL DES ÉMISSIONS : 733 392 kgCO2éq	
CONSTAT	Objectif	Durée de l'action
Les émissions issues du béton représentent 92% du bilan carbone global.	Diminuer les émissions de gaz à effet de serre liées à la mise en œuvre du matériau.	Court terme
		Périmètre
	-30% de réduction	Ambassade d'Éthiopie
Descriptif	Intervenants	
<p>Pour réduire les émissions de GES liées à l'utilisation de matériau béton, il faut proposer de :</p> <p><u>Faciliter l'adoption de technique et de matériau moins émissifs pour les chantiers :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un équilibre entre les granulats naturels et matériaux recyclés doit être recherché pour économiser le prélèvement sur le milieu naturel tout en répondant à la demande.</li> <li>- Limiter le transport de ces granulats, naturels ou recyclés. La valeur d'une tonne de granulats double tous les 30km</li> <li>- Éviter les distances de transport trop importantes.</li> </ul> <p>Pour réduire les émissions liées à l'utilisation des matériaux, cela dépend de la compétence dans la mise en œuvre</p>	Entreprise	

technique et du choix approprié des matériaux.	
Indicateur de suivi	Impact carbone sur le matériau
Stabilité des matériaux	2025(25mois restants)
	-30%
	513374,4 KgCO <sub>2</sub> éq

### Fiche N°2 pour le matériau verre

FICHE D'ACTION N°2	MATÉRIAU CONCERNE	
<b>Faciliter l'utilisation de techniques de matériau recyclé pour les chantiers</b>	VERRE	
	TOTAL DES ÉMISSIONS : 54 557kgCO <sub>2</sub> éq	
CONSTAT	Objectif	Durée de l'action
Les émissions attribuables au verre représentent 7% dans le bilan carbone global.	Réduire les émissions de gaz à effet de serre liées à la mise en œuvre des matériaux.	Court terme
		Périmètre
		Ambassade d'Éthiopie
Descriptif	Intervenants	
<p>Les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation de matériau béton peuvent être réduites grâce à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation du taux de calcin dans la production du verre plat : ce procédé permet à la fois de préserver des matières naturelles non renouvelables, de réduire l'énergie nécessaire à la fabrication et en conséquence le taux d'émissions de CO<sub>2</sub>.</li> </ul> <p>En effet, 1t de calcin équivaut à 1,2t de matière première, car celui-ci nécessite un moindre niveau de chaleur (perte de masse due à une perte de feu), et en cela on estime qu'1t de calcin fait économiser 300kg de CO<sub>2</sub>.</p>	Industrie du verre	
Indicateur de suivi	Impact carbone sur le matériau	
	2025(25mois restants)	

### Fiche N°3 sur la démarche générale du bilan carbone

FICHE D'ACTION N°3	DEMANDE GÉNÉRALE	
<b>Optimiser l'évaluation du bilan carbone.</b>		
CONSTAT	Objectif	Durée de l'action

Certains matériaux n'ont pas été inclus dans l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre en raison de l'absence d'informations disponibles.	Améliorer et simplifier la mise à jour de l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre.	Court terme
		Périmètre
		Ambassade d'Éthiopie
Descriptif	Intervenants	
<p>Pour compléter les données en prévision de mise à jour du bilan carbone, il serait opportun de collecter les éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une enquête sur le transport de matériaux entrants</li> <li>- Exiger à l'entreprise fournisseurs, des fiches techniques des matériaux et des distances parcourues pour chaque approvisionnement du chantier</li> <li>- Gestion globale des déchets</li> </ul>		Entreprise
Indicateur de suivi	Impact carbone sur le matériau	

## CONCLUSION

En définitive, ce projet de recherche très enrichissant consistait à évaluer le bilan carbone des matériaux des différents bâtiments dans la construction de l'ambassade d'Éthiopie en Côte d'Ivoire. Il a également consisté à proposer des leviers d'actions pour réduire l'empreinte carbone du bâtiment partant de la collecte des données, de la définition des différentes hypothèses de calcul et la présentation du mode de calcul.

Ainsi, partant de ce constat, on retient que l'évaluation du bilan carbone est un travail très minutieux qui part de la collecte des données à une analyse approfondie des sources émettrices de GES. Elle s'applique à divers secteurs d'activité et s'étend à toute échelle. Le bilan carbone peut être évalué par un individu, une organisation, une collectivité, une entreprise voire même d'un pays. Cependant, la méthode d'évaluation de bilan GES reste au choix en prenant en compte de multiples aspects en fonctions des données collectées.

Ce travail se fait par l'émission de nombreuses hypothèses, face aux variétés d'informations à collecter lors des différentes étapes d'élaboration du bilan GES, les résultats n'échappent pas aux incertitudes diverses. L'une des difficultés majeures est le fait qu'il fait appel souvent des informations plus approfondies telles que les éléments entrants dans la production d'un matériau qui ne sont pas forcément divulgués par les acteurs du domaine, rendant donc l'étude extrêmement difficile.

Cette étude de l'évaluation du bilan carbone d'un tel projet est un véritable exercice de par ses choix en termes de qualité et quantité de matériaux à mettre en œuvre. L'effort s'est ressenti sur les matériaux les plus émetteurs de GES, sur l'impact du réchauffement climatique global tout en respectant l'exigence du client, les dispositions constructives conformes aux directives de l'ADEME.

L'intérêt d'une telle étude est qu'elle permet de se rendre compte que les activités, les choix, les actions quotidiennes et les travaux engendrent des répercussions à l'effet nocif en termes d'émission de GES sur le changement climatique.

Ce travail ne peut prendre fin sans déboucher sur les recommandations. Dans ce cas, elles vont à l'endroit de la structure d'accueil.

À l'endroit de tous les acteurs du secteur du BTP, les recommandations sont les suivantes :

- La mise en place d'un budget alloué à l'espace vert pour tout projet, en vue de compenser les émissions de GES.
- L'introduction progressive du calcul du bilan carbone dans les projets ou conjointement mener avec l'État où les particuliers.
- La mise en place au sein des structures d'une équipe, chargée d'évaluer le bilan carbone et d'établir des leviers d'actions pour les atténuer lors de la conquête des marchés. Par exemple, inclure dans les dossiers d'appel d'offres la partie bilan carbone donnant une idée des émissions que le projet émettra en termes de bilan GES. Mais aussi, des mesures d'atténuation pour réduire ses émissions avec un budget alloué et inclus dans le coût du projet.
- L'élaboration par l'entreprise ou en conjoint avec l'État, d'un guide méthodologique propre à nos contextes régionaux. Le manque de ce type d'outils est en majeure partie source d'erreur et d'incertitude dans nos calculs lorsqu'il est évalué dans nos différents contextes régionaux.
- Inciter les États à calculer leurs propres facteurs d'émissions dans les principaux domaines d'activités.
- Le remplacement de certains matériaux énergivore, au profit des matériaux locaux.
- Inciter les entreprises à se former et à inclure le volet bilan carbone dans leur système managérial pour la conquête des nouveaux marchés, ce qui poussera les acteurs des différents domaines d'activités à s'engager dans la lutte contre le réchauffement climatique.

## PERSPECTIVE

Trouver des solutions alternatives au ciment traditionnel. Encourager l'adoption de constructions respectueuses de l'environnement pour diminuer les coûts liés à la consommation énergétique et à l'utilisation de béton, tout en prenant en considération les contraintes budgétaires. Explorons les alternatives.

- L'utilisation du ciment géopolymère, qui repose sur l'activation alcaline des bétons, offre une alternative moins impactante. Elle permet de se passer du clinker, dont l'empreinte environnementale est importante. Cependant, il est nécessaire d'approfondir les recherches pour garantir une durabilité suffisante des structures construites avec ce matériau.
- Béton de chanvre, obtenu par le mélange de chaux, d'eau et de fibres de chanvre, présente une caractéristique unique : il retient le carbone tout au long de son cycle de vie, en faisant ainsi un matériau neutre en carbone.
- Béton de cendres est un matériau constitué de cendres volantes, un sous-produit de la combustion du charbon, qui peut être utilisé dans la construction. En remplaçant 25% du ciment par des cendres volantes, on observe une réduction significative des émissions de dioxyde de carbone.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Le Guide « des facteurs d'émissions — Version 6.1 » de l'ADME de 2001-2010.
- [2] Le Guide « Règlement environnemental des bâtiments neufs RE2020 » ministère de la transition écologique.
- [3] Étude préliminaire d'adaptation aux changements climatiques en Afrique, juillet 2009.
- [4] L'échec du bilan carbone « obligatoire », symbole du mépris des enjeux climatiques publié le 24 mars 2023 par le journal le monde.
- [5] Référentiel sur les facteurs d'émissions de GES, Édition 2016.
- [6] Annales des mines responsabilité et environnement 2018/2 (n° 90), page 38 à 40 éditions f.f.e.
- [10] la loi n° 2019-576 du 26 juin 2019 instituant le Code de la Construction et de l'Habitat.
- [11] la loi n° 96-766 du 3 octobre 1996 portant code de l'Environnement de la République de Côte d'Ivoire.
- [12] 2020 Buildings GSR-FULL REPORT
- [13] 2-2020 — société civile abc redd septembre 2009
- [14] ISO 14040 :2006 managements environnementaux — analyse de cycle de vie-principe et cadre <https://www.iso.org/fr/standard/37456.html>, Accessed (14 juin 2023)
- [15] CEBASSUD Nicolas-Cerema Méditerranée. (2016). GUIDE RE 2020 REGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE.
- [16] carbo academy. (2022). Quel bilan carbone pour le secteur du bâtiment.
- [17] MARTINAGE, G. (2011). Bilan carbone-réglementation et outils.
- [18] ALAIN GRANDJEAN, ROMAN LEDOUX, et JULIE DAUNAY, « Annales des mines responsabilité et environnement 2018/2 n°90 », [s.d.], p. 38 à 40.
- [19] ADEME, PROGRAMME OBJECTIF CO2, Guide méthodologique info GES des prestations de transport, [s.d.].
- [20] Étude préliminaire d'adaptation au changement climatique en Afrique, juillet 2009.
- [21] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. 2020 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION, 2020.
- [22] ACV-sacs-empilettes-annexe-a-méthodologie, [s.d.].

[23]CEBASSUD NICOLAS-CEREMA MEDITERRANÉE, GUIDE RE 2020 REGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE, 2016.

[24](ISO 14040 :2006 managements environnementaux — analyse de cycle de vie-principe et cadre, 2023)

[25](Manuel explicatif de l'analyse de cycle de vie appliquée à la construction, 2012)

[26](Bilan GES réglementaire, s. d.) (Page consultée le 7 juin 2023)

[27]MAES, P. (2015). Analyse de cycle de vie, énergie grise, économie circulaire.

[28]MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT DE LEAU ET DE LA FORET DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT. (2000, octobre). COMMUNICATION NATIONALE INITIALE DE LA COTE D'IVOIRE.

[29] Stratégie nationale REDD », dans *REDD PLUS*, <http://reddplus.ci/strategie-nationale-redd> (Page consultée le 7 juin 2023)

[30]ADEME. BASE EMPREINTE CARBONE; ADEME. Repéré à <https://base-empreinte.ademe.fr> (2023, 28 décembre)

[31]CONTRIBUTIONS PREVUES DETERMINEES AU NIVEAU NATIONAL DE LA COTE D'IVOIRE. (n.d.). Repéré à [faolex.fao.org](http://faolex.fao.org)

[32]COP26 : LA COTE D'IVOIRE S'ENGAGE A REDUIRE SES ÉMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE. (2021). Repéré à [www.gouv.ci](http://www.gouv.ci)

[33] nitidae. (2021, juillet). ETUDE D'ORIENTATION DE LA POLITIQUE ENERGIE ET CLIMATIQUE DE LA VILLE DE BOUAKE. Repéré à [nitidae.org](http://nitidae.org)

[34]Guide méthodologique. (n.d.). Repéré à <http://www.openlca.org/home>

[35]INIES. (2023, 28 décembre). INIES, la base de données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment et la RE2020. Repéré à <https://www.inies.fr>

[36]FOURMEAUX, A. (n.d.). Méthodes d'analyse environnementale. Édition mai 2013. Repéré à [energie.wallonie.be](http://energie.wallonie.be)

[37] PEUPOORTIER, B. (2023). Ecoconstruction des bâtiments et des quartiers. *10 Avril 2014*.

[42] [meduim.com](http://meduim.com)/Quel bilan carbone pour les installations solaires thermiques en France ?

[43] [wearegreen.io](http://wearegreen.io)/Bilan carbone entreprise : le guide complet pour les PME et ETI

[49] [disastrerlaw.ifrc.org](http://disastrerlaw.ifrc.org)

[50] [climateactionaccelerator.org](http://climateactionaccelerator.org)

[51] GC09-CO2CRETE-LINGER

## WEBOGRAPHIE

[7] <https://www.hellocarbo.com/ressources/livre-blanc-bilan-ges-reglementaire/>(07 juin 2023)

[8] <http://reddplus.ci/strategie-nationale-redd/>(Accessed, 07 juin 2023)

[9] <https://www.novethic.fr/lexique/detail/biodiversite.html>(Accessed, 09 juin 2023)

[38] <http://www.géopolymer.org> (Accessed, 09 février 2024)

[39] <http://www.autodesk.com> (Accessed, 09 février 2024)

[40] [www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr](http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr)

[41] [www.lemond.fr/](http://www.lemond.fr/) L'échec du bilan carbone « obligatoire », symbole de mépris des enjeux climatiques.

[44] [www.ecologie.gouv.fr](http://www.ecologie.gouv.fr)

[45] redd. unfcc. Int

[46] [www.sami.eco](http://www.sami.eco)

[47] [www.Insee.fr](http://www.Insee.fr)

[48] [www.cairn-sciences.info](http://www.cairn-sciences.info)

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	I
CITATION .....	I
REMERCIEMENTS .....	II
RÉSUMÉ.....	III
ABSTRACT .....	IV
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	V
LISTE DES FIGURES .....	IX
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET .....	4
I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL.....	4
1. LA STRUCTURE D'ACCUEIL : CICO SA.....	4
2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'ENTREPRISE .....	4
3. ORGANIGRAMME DE CICO SA .....	5
II. PRÉSENTATION DE LA ZONE DU PROJET .....	5
1. LOCALISATION DU PROJET.....	5
2. DESCRIPTION DU PROJET .....	6
3. LES INTERVENANTS DU PROJET .....	7
III. PRÉSENTATION DU PROJET .....	7
1. CONTEXTE.....	7
2. PROBLEMATIQUE .....	8
IV. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES .....	9
1. OBJECTIFS .....	9
2. HYPOTHESES .....	9
3. DONNEES DE BASE ET LIMITES DE L'ETUDE.....	10
CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART SUR LE BILAN CARBONE .....	11
I. GÉNÉRALITÉS.....	11
II. REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	11
1. DÉFINITIONS DES CONCEPTS .....	12
1.1. BILAN CARBONE.....	12
1.2. EMPREINTE CARBONE .....	12
1.3. EFFET DE SERRE .....	12
1.4. GAZ A EFFET DE SERRE .....	13
1.5. FACTEURS D'EMISSIONS .....	14

1.6.	ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV).....	15
1.7.	BASE DE DONNEES.....	15
1.8.	PROCESSUS .....	15
1.9.	LE POTENTIEL RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE GLOBAL (PRG) .....	15
1.10.	CLIMAT.....	15
1.11.	RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE .....	16
1.12.	ÉNERGIE FOSSILE .....	16
1.13.	DEVELOPPEMENT DURABLE.....	16
2.	AVANTAGES ET LIMITES DE L'ÉVALUATION DU BILAN CARBONE.....	17
2.1.	AVANTAGES .....	17
2.2.	LIMITES .....	17
III.	BILAN CARBONE.....	17
1.	OBJECTIFS DU BILAN CARBONE .....	18
2.	LES PERIMETRES D'ÉTUDE .....	19
3.	LES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'ÉVALUATION DU BILAN CARBONE.....	20
3.1.	GUIDES METHODOLOGIQUES D'ÉVALUATION DES GES .....	20
3.2.	DIFFÉRENCES ENTRE LES MÉTHODES D'ÉVALUATION DU BILAN GES ...	22
IV.	EXEMPLE DE POLITIQUE, RÉGLEMENTATION OU PROGRAMME FAVORABLES À LA TRANSFORMATION DU SECTEUR DU BÂTIMENT.....	23
	CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES .....	25
I.	MATÉRIELS .....	25
II.	MÉTHODES .....	26
1.	RECHERCHE DOCUMENTAIRE .....	26
2.	METHODOLOGIE D'ÉVALUATION DU BILAN DES GAZ A EFFET DE SERRE (GES).....	27
3.	COLLECTE DE DONNEES .....	28
4.	LES DIFFÉRENTES COMPOSANTES PRISES EN COMPTE.....	29
5.	MODE DE CALCUL DU CO <sub>2</sub> .....	32
	CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	34
I.	RÉSULTATS DES DIFFÉRENTES HYPOTHÈSES .....	34
1.	COMPOSANT 1 : MISE EN ŒUVRE DU BETON SUR CHANTIER.....	34
2.	COMPOSANT 2 : L'USAGE DE LA PLAQUE DE PLATRE HYDROFUGE BA13 ..	35
3.	COMPOSANT 3 : L'USAGE DU VERRE POUR LES CLOISONS ET PAROIS.....	36
4.	BILAN TOTAL DES ÉMISSIONS .....	38
II.	DISCUSSIONS .....	39

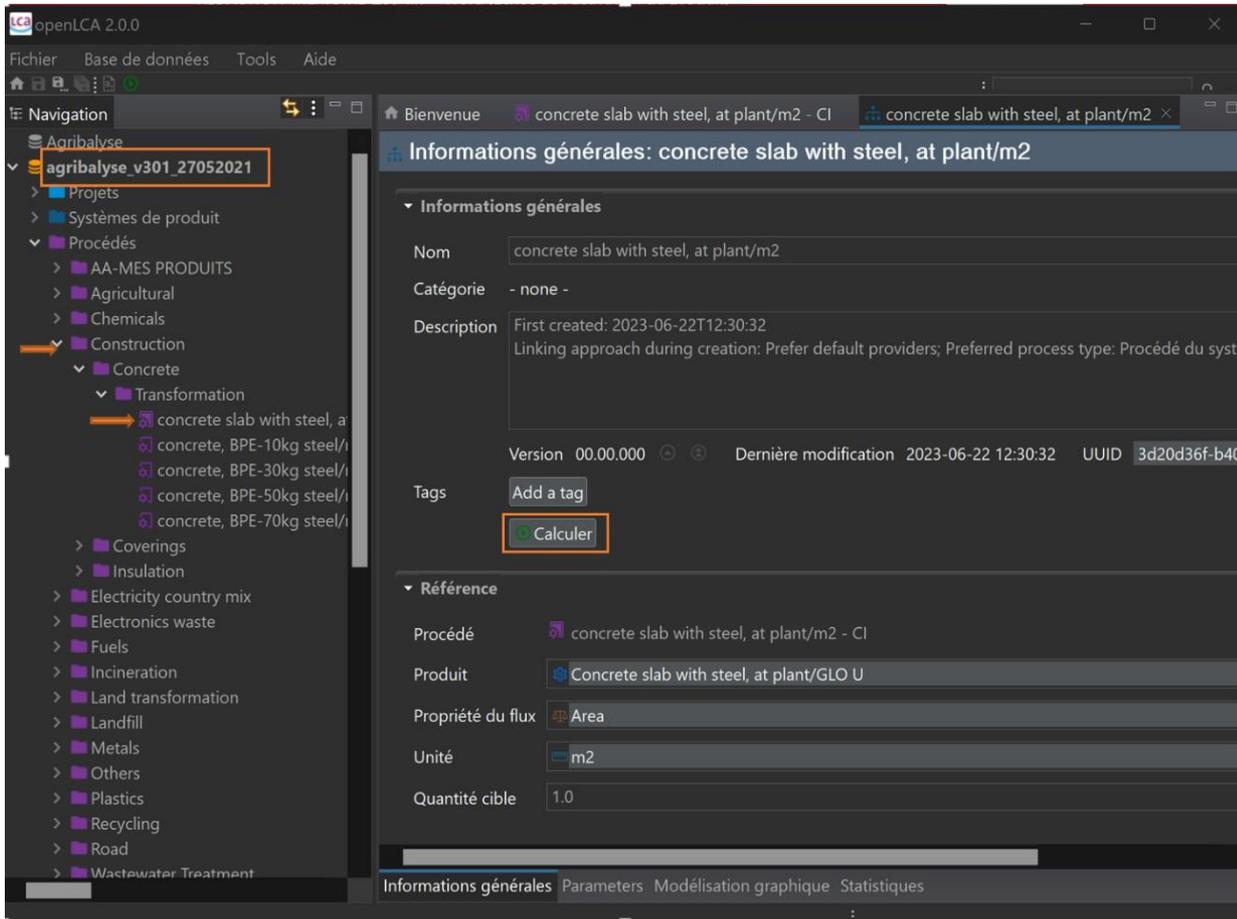
1.	ANALYSE DES RESULTATS .....	39
2.	AIDE A L'INTERPRETATION DES RESULTATS .....	40
3.	INTERPRETATION DES RESULTATS DE L'EMPREINTE CARBONE OBTENUE 40	
III.	RECOMMANDATION POUR ATTÉNUER L'EMPREINTE CARBONE .....	42
1.	PLAN D'ACTION DE REDUCTION DES EMISSIONS .....	42
	CONCLUSION .....	48
	BIBLIOGRAPHIE .....	51
	WEBOGRAPHIE.....	53
	ANNEXES .....	I

## ANNEXES

Annexe 1: Récapitulatif des données et modélisation dans le logiciel openLCA.....	ii
Annexe 2 :Arbre de contribution pour le matériau béton.....	ii
Annexe 3: Vue d'ensemble de l'ambassade de l'Éthiopie .....	iii
Annexe 4 :Les différentes méthodes d'évaluation du bilan GES du logiciel openLCA et ses caractéristiques. ....	iv

1. Cette annexe présente un récapitulatif des données, une modélisation dans le logiciel openLCA, la vue d'ensemble de l'ambassade d'Éthiopie et les méthodes d'évaluations du bilan GES dans le logiciel openLCA.

### Annexe 1: Récapitulatif des données et modélisation dans le logiciel openLCA



### Annexe 2 : Arbre de contribution pour le matériau béton

Contribution [%]	Procédé	Required amount	Unité	Résultat	Unité
100.00%	Scenario_1matériau béton - CI	1.0	m3	<b>532.422</b>	kg CO2 eq
57.90%	CIMENT	350	kg	308.302	kg CO2 eq
37.56%	ARMATURE	-	Kg	200.000	kg CO2 eq
2.03%	TRANSPORT DE MATERIAU	49.4	t*km	10.826	kg CO2 eq
1.48%	SABLE ET GRAVIER DE CARRIERE	175.0	kg	7.881	kg CO2 eq
0.80%	ELECTRICITE	1850.0	MJ	4.287	kg CO2 eq
0.23%	ELECTRICITE MOYEN VOLTAGE	5.4	MJ	1.126	kg CO2 eq

### Annexe 3: Vue d'ensemble de l'ambassade de l'Éthiopie



Annexe 4 : Les différentes méthodes d'évaluation du bilan GES du logiciel openLCA et ses caractéristiques.

Méthode d'évaluation du bilan carbone	Spécificité
Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden (CML)	Une méthode développée par l'Université de Leiden, se concentrant sur divers aspects environnementaux tels que l'épuisement des ressources, les émissions dans l'air, l'eau et les sols.
Eco-Indicator99 et Eco-Indicator99 (H/A) (Harm and Assessment)	Ces méthodes évaluent les impacts potentiels sur la santé humaine et l'environnement.
International Reference Life Cycle Data System (ILCD)	Développée par la Commission européenne, cette méthode propose des facteurs de caractérisation pour évaluer divers impacts environnementaux.
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	Cette méthode est spécifiquement axée sur l'évaluation des gaz à effet de serre, en se basant sur les directives du GIEC.
Renewable Energy Climate change and Environmental impacts (ReCiPe)	Une méthode combinée qui couvre plusieurs catégories d'impacts environnementaux
Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI)	Une méthode développée par l'Environmental Protection Agency (EPA) des Etats-Unis, se concentrant sur les impacts environnementaux des substances chimiques.
IMPACT World+	Une méthode basée sur les caractérisations d'impact du projet IMPACT, couvrant un large éventail d'indicateur d'impact.
Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	Cette méthode permet de sélectionner différents facteurs de caractérisation pour évaluer les impacts environnementaux en fonction de vos besoins spécifiques.