



**Evaluation des émissions de gaz à effet de serre du projet de renforcement du système d'alimentation en eau potable de la ville d'Adjarra, et conception d'un outil de calcul**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE  
**MASTER**

**SPECIALITE : GENIE DE L'EAU, DE L'ASSAINISSEMENT, ET DES  
AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 29 Juillet 2021 par

**Anthime Eudes Dagbégnon GANDIGBE (20170408)**

**Encadrant 2iE :** Marie SAWADOGO, Enseignante-chercheure en Génie Industriel

**Co-encadrant 2iE :** Giraude ADEOSSI, Responsable RSE

**Structure d'accueil du stage :** SOGEA-SATOM Bénin

**Maître de stage :** Sètodji KOFFI, Directeur des Travaux

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr Yohan RICHARDSON

Correcteur : Dr Seyram SOSSOU

Promotion [2020/2021]

## **Dédicaces**

Je dédie ce travail aux membres de ma famille et à mes amis proches qui m'ont énormément soutenu tout au long de mes études.

## **Remerciements**

Je tiens d'abord à dire merci à Dieu tout puissant, qui a permis la réalisation de ce travail.

Au terme de ce travail, mes remerciements et ma reconnaissance vont à l'endroit de :

- L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), pour la formation de qualité qu'elle dispense à ses apprenants ;
- Docteur Marie SAWADOGO pour son encadrement et ses conseils dans la rédaction de ce document ;
- Monsieur Giraude ADEOSSI, pour son encadrement et sa disponibilité pour m'accompagner dans la rédaction de ce document ;
- L'Agence SOGEA-SATOM Bénin, qui par l'intermédiaire du Directeur, Monsieur Jean-Jacques DJIDJOHO, m'a permis d'effectuer ce stage très formateur en son sein ;
- Monsieur Sètodji KOFFI pour avoir encadré mon travail au sein de l'entreprise ;
- Madame Bénédicte Da-Silva Directrice d'Exploitation à l'Agence SOGEA-SATOM Bénin ;
- Messieurs Eric GUEDENON, Venance CAPKO, BIO Oumarou, Brice GBAGUIDI, Saïd MOUMOUNI, Christian ZANOUE, Osni ADONDE, Abdrahmane TRAORE, Aristide BOCCO, Jordan AYENI, Oswaldo AYOSSO, et Oswald YELINMON ;
- Mesdames Perpétue DOMINGO, Fifamè HOUETO, Lolita ALLAVO, et Belmas HOUSSOUNOU ;
- Professeur Mahamadou Koïta ;
- Docteur Harinaivo Anderson Andrianisa, tous les enseignants du département GEAAH de 2iE et du corps administratif de l'institut ;
- Maître Gladys E. O. CAMPBELL
- Docteur Hubert Frédéric GBAGUIDI ;
- Monsieur Raphaël DAKIN et sa famille.

## **Résumé**

Dans un contexte de réduction des consommations d'énergie et de matières premières, SOGEA SATOM Bénin a entrepris d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre de ses chantiers. Ce document présente un bilan des émissions de gaz à effet de serre générés par les travaux du projet de renforcement du système d'alimentation en eau potable de la ville d'Adjarra et ses environs, au Bénin. Les postes considérés dans l'étude comprennent la production d'énergie sur site, la combustion de gasoil du matériel roulant de l'entreprise (ainsi que leur amortissement), le transport des ouvriers, et les fuites de gaz réfrigérant comme sources d'émissions directes. Ils comprennent également les matériaux de construction (leur fabrication ou extraction), les installations des locaux de l'entreprise, l'acheminement des équipements hydrauliques, la gestion des déchets, les échanges de courriels et les fournitures de bureau comme sources d'émissions indirectes. L'incertitude associée à l'estimation réalisée est de 20,30 % soit environ 131 tCO<sub>2</sub>eq, due essentiellement aux fortes incertitudes associées aux facteurs d'émissions. L'estimation est basée sur la norme ISO 14064-1 2018, pour le choix la méthodologie de détermination des périmètres de l'étude, sur les lignes directrices 2006 du GIEC pour les hypothèses de calcul, et la méthode du bilan carbone® a servi de guide pour calculer l'incertitude qui accompagne les résultats obtenus. Associées aux facteurs d'émission issus principalement de la base carbone de l'ADEME, les données d'activités recueillies ont permis d'estimer à 647,66 tonnes d'équivalent dioxyde de carbone les émissions des travaux du chantier pour cinq mois d'activité. Le projet étant prévu pour durer douze mois, un outil de calcul a également été conçu pour poursuivre le travail de comptabilisation jusqu'à la fin des travaux.

A l'issue de l'évaluation, il est ressorti que le poste le plus émetteur était celui de la fabrication des matériaux de construction (53,5 % du total). Moins de 12 % des émissions étaient générées par les émissions directes du chantier issues principalement (79 %) de la consommation en carburant des engins de chantier et véhicules de transport.

### **Mots Clés :**

---

**1 – Gaz à effet de serre**

**2 – Facteur d'émission**

**3 – Bilan Carbone**

**4 – Développement durable**

## **ABSTRACT**

In a context of reducing energy and raw material consumption, SOGEA SATOM Benin has undertaken to assess the greenhouse gas emissions of its construction sites. This document gives a review of the greenhouse gas emissions generated by Adjarra's city drinking water system strengthening in Benin. The items considered include on-site energy production, combustion of diesel fuel from the company's rolling stock (as well as their depreciation), as well as his worker's, and refrigerant gas leaks, as sources of direct emissions. But also, construction materials (their manufacture or extraction), the facilities of the company premises, the delivery of hydraulic equipment, waste management, email exchanges and office supplies as sources of indirect emissions. The uncertainty associated with the estimate is about 20.30 % (131 tCO<sub>2</sub>eq). The estimate is based on standard ISO 14064-1 2018, to define the study's perimeters, the 2006 IPCC guidelines for calculation assumptions, and the carbon footprint® method has been used as a guide to calculate the uncertainty related to the results. Combined with emission factors mainly from the ADEME carbon base, activity data collected estimated the construction site's activities for five months of activity at 647,66 tCO<sub>2</sub>eq. As the project is expected to last 12 months, a computational tool has also been designed to continue accounting work until the completion of the work.

At the end of the assessment, it emerged that the most emitting item was that of the manufacturing of building materials (53.5% of the total). Less than 12% of emissions were generated by direct site emissions, mainly (79%) from the fuel consumption of construction machinery and transport vehicles.

### **Key words :**

---

- 1 - Greenhouse gas**
- 2 - Emission factors**
- 3 - Carbon footprint**
- 4 – Sustainable development**

## **Liste des abréviations**

ABC : Association Bilan Carbone

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AEP : Alimentation en Eau Potable

Anaepmr : l'Agence nationale d'approvisionnement en eau potable en milieu rural

ATILH : Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques

CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

CoP : Conférences des Parties

FE : Facteur d'Emission

GES : Gaz à effet de serre

GIEC : Groupes d'expert International sur l'Evolution du Climat

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

ICLEI : Local Gouvernement For Sustainability

MCVDD : Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable (ex MEHU)

MEHU : Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme

PEHD : Polyéthylène Haute Densité

PNUE : Programme des nations Unies pour l'Environnement

PIB : Produit Intérieur Brute

PIUP : Procédés Industriels et Utilisation des Produits

PRG : Pouvoir de Réchauffement Global

PVC : Chlorure de Polyvinyle

RSE : Responsabilité Sociétale des Entreprises

## **Formules chimiques**

CH<sub>4</sub> : Méthane

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

CFC : Chlorofluorocarbones

H<sub>2</sub>O : Eau

N<sub>2</sub>O : Protoxyde d'azote

O<sub>3</sub> : Ozone

PFC : Composés perfluorés

SF<sub>6</sub> : Hexafluorure de soufre

## Sommaire

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>Problématique</b> .....	<b>3</b>
<b>Objectifs de l'étude :</b> .....	<b>3</b>
<b>I- Revue de littérature</b> .....	<b>5</b>
I-1 Le changement climatique .....	5
1.1 Généralités.....	5
1.2 Impacts pour l'Afrique .....	5
1.3 Changements climatiques au Bénin .....	6
I-2 Généralités sur les émissions de Gaz à effet de serre, .....	7
2.1 L'effet de serre .....	7
2.2 Les Gaz à Effet de Serre.....	8
2.3 Catégories de Gaz à effet de Serre .....	8
2.4 Unités et comparaison .....	8
2.5 Mesure des émissions.....	9
2.6 Comptabilisation des GES .....	9
2.7 Outils de quantification .....	10
<b>II- Cadre d'étude</b> .....	<b>11</b>
II-1 L'entreprise .....	11
1.1 Les locaux .....	11
1.2 Le personnel .....	11
II-2 Le projet .....	12
2.1 Présentation du projet.....	12
2.2 Consistance des travaux .....	13
<b>III- Matériel et Méthode</b> .....	<b>14</b>

III-1	Matériel .....	14
1.1	Données utilisées.....	14
1.2	Outils utilisés.....	15
III-2	Méthode.....	15
2.1	Périmètres de l'étude .....	16
2.2	Collecte des données .....	18
2.3	Gaz à effet de serre pris en compte .....	19
2.4	Hypothèses de calcul.....	20
<b>IV-</b>	<b>Résultats et discussions.....</b>	<b>27</b>
IV-1	Résultats de détermination du périmètre d'étude .....	27
1.1	Récapitulatif des postes d'émissions étudiés .....	27
1.2	Résultats émissions de gaz à effet de serre quantifiées .....	28
1.3	Résultats et interprétations par source d'émissions étudiées .....	30
1.4	Synoptique des émissions du chantier.....	39
IV-2	Résultats de conception de l'outil de calcul .....	41
2.1	Description de l'outil.....	41
2.2	Utilisation de l'outil .....	42
IV-3	Proposition d'un système de gestion des émissions de gaz à effet de serre.....	43
3.1	Mise en œuvre d'une approche s'appuyant sur l'amélioration continue.....	43
3.2	Marché carbone .....	46
<b>V-</b>	<b>Conclusion et recommandations.....</b>	<b>48</b>
<b>VI-</b>	<b>Annexes.....</b>	<b>52</b>
VI-1	Liste des facteurs d'émission .....	52
VI-2	Liste des données d'activité et incertitudes associées .....	53
2.1	Combustion fixe .....	53
2.2	Combustion mobile .....	53

2.3	Emissions fugitives .....	53
2.4	Transport .....	54
2.5	Produits utilisés .....	54
2.6	Décomposition du ratio établi pour les bungalows de chantier.....	56
VI-3	Feuilles de calcul de l'outil .....	57
3.1	Feuille Matériaux et Fournitures .....	57
3.2	Feuille Amortissement et Services .....	58
3.3	Feuille Transport .....	59
3.4	Feuille Installation de chantier .....	60
3.5	Feuille Energie et Emissions fugitives .....	61

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I : Quelques outils spécifiques de comptabilisation des émissions de GES .....	10
Tableau II : Consistance des travaux du projet.....	13
Tableau III :: Sources d'émission de gaz à effet de serre prises en compte .....	17
Tableau IV : Potentiels de réchauffement global des gaz à effet de serre pris en compte .....	20
Tableau V: Hypothèse de calcul des émissions directes du chantier .....	21
Tableau VI : Hypothèse d'estimation des émissions indirectes du chantier .....	23
Tableau VII : Méthodologie d'attribution d'une valeur à l'incertitude associée aux données d'activité.....	26
Tableau VIII : Postes et sources d'émission de GES considérés pour l'estimation.....	27
Tableau IX : Ratio de consommation des véhicules du chantier.....	32
Table X : Détermination du nombre d'arbre à planter afin de compenser les émissions du chantier sur la durée étudiée (Céréma, 2018).....	45

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Tendence des émissions par secteur pour la série temporelle 1990–2015 :.....	7
Figure 2: Photo aérienne de la zone du projet (station de traitement, adduction et refoulement) .....	12
Figure 3 : Synoptique de la démarche méthodologique adoptée .....	15
Figure 4 : Cartographie des flux d'énergie et de matière .....	16
Figure 5: Résultat des émissions de gaz à effet de serre du chantier par poste d'émission.....	28
Figure 6: Proportions des émissions de GES dues aux produits utilisés par l'entreprise .....	29
Figure 7 : Proportions des différents postes d'émissions de GES sans les produits utilisés.....	29
Figure 8 : Emissions directes de GES .....	31
Figure 9 : Proportions des différentes sources d'émission du poste des émissions fugitives ...	33
Figure 10 : Sources d'émissions fugitives.....	33
Figure 11 : Résultats par poste, des émissions indirectes induites par l'activité du chantier....	34
Figure 12 : Livraison des conduites PVC (à gauche) et des colonnes d'exhaure .....	35
Figure 13 : Proportions des sous-postes dues aux produits utilisés par le chantier.....	36
Figure 14 : Emissions dues à chaque matériau de construction .....	37
Figure 15 : Locaux du chantier.....	38
Figure 16 : Arbre des postes d'émission du chantier en kilogrammes équivalent dioxyde de carbone.....	40
Figure 17:Feuille récapitulative de l'outil de calcul des émissions .....	42
Figure 18 : Roue de Deming.....	44
Figure 19 : Briquettes combustibles issues de la valorisation des emballages de ciment et de la sciure de bois .....	45
Figure 20: Logigramme de compensation des émissions excédentaires de GES.....	47

## **Introduction**

Le développement durable devient depuis quelques années un sujet d'intérêt croissant pour les entreprises, les collectivités et les pays du monde entier. Cette attention particulière est due à la raréfaction des ressources naturelles, aux services écosystémiques rendus par la planète qui deviennent problématiques (Chemla, 2011), etc. Mais le déséquilibre du climat de la planète, est l'un des phénomènes qui inquiètent le plus parce qu'il peut aggraver les problèmes environnementaux précités (IPCC, 1992).

L'homme, au travers de ses activités, est la principale cause de ces changements car le taux de réchauffement d'origine humaine est proportionnel au taux d'émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (Matthews et al., 2009). Les activités à l'origine d'émissions de CO<sub>2</sub> et des autres gaz à effet de serre sont la production d'énergie, l'agriculture, les transports, les procédés industriels et utilisation des produits, et la gestion des déchets... Ils font partie des secteurs économiques, piliers du développement d'un pays.

Ce développement est fortement lié à celui des infrastructures (routes, hôpitaux, etc.). L'accès à l'eau étant un indicateur clé, il est nécessaire que les infrastructures pour la rendre disponible et exploitable soient conçues et mises en place de façon homogène et proportionnelle aux besoins des populations. Pour une croissance démographique annuelle de 2,68 % (INSAE, 2018), ces besoins seront de plus en plus grandissants au Bénin.

Avec un taux de 67,6 % de desserte en 2015, le Bénin atteignait la cible 3 de l'ODD 7 dans le sous-secteur eau, en milieu rural et semi-urbain. Mais dans le but de remédier aux nombreuses disparités que cache ce taux d'un département à un autre, et à l'intérieur des communes, le gouvernement du Bénin ambitionne de faire passer ce taux à 100 % à l'horizon 2021. Ce qui permettrait d'alimenter 4,5 millions de personnes supplémentaires en eau potable. Ainsi, depuis l'année 2016, plusieurs projets, de construction, de réhabilitation, de renforcement des systèmes d'alimentation en eau potable ont été lancés à travers le pays. Les investissements à réaliser pour l'atteinte de cet objectif ambitieux s'élèvent à 315 milliards de francs CFA, dont 166 milliards ont déjà été investis sur la période de 2018 à 2019 selon l'Agence nationale d'approvisionnement en eau potable en milieu rural (ANAEPMR, 2020).

D'une part, ces infrastructures s'avèrent incontournables pour améliorer les conditions de vie des populations dans le cadre de la réduction des maladies liées à la consommation d'une eau

insalubre (diarrhées, choléra, etc.), la diminution de la corvée d'eau, etc. D'autre part, la construction de ces infrastructures fait intervenir plusieurs activités citées comme sources d'émissions importantes de gaz à effet de serre.

En effet, pour construire il est nécessaire de produire de l'énergie pour faire tourner les industries de fabrication de ciment, d'aciers, etc., de transporter ces matériaux, et le personnel de divers horizons vers le site de construction, et aussi de traiter les déchets qui seront produits sur le site (et même en amont). Bien que la participation de l'Afrique (de l'ordre de 4 %) aux émissions mondiales de GES soit minime (Bazin, 2010), ces infrastructures à construire émettront des quantités importantes de gaz à effet de serre qui contribueraient à faire augmenter les émissions locales. Les gaz à effet de serre produits par ces activités doivent donc être suivis et réduits par divers moyens, mais ils doivent, au préalable, faire l'objet de mesures, selon la politique gouvernementale en matière de changement climatique, afin de participer à l'effort global de réduction.

Dans cette étude, il est question d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre du « Projet de renforcement des systèmes d'alimentation en eau potable des villes de Bassila, Adjarra et leurs environs », dans sa phase I, qui concerne uniquement la ville d'Adjarra. L'estimation sera réalisée sur une durée de cinq mois, mais la phase I étant prévue pour durer douze mois, un outil de calcul des émissions sera conçu pour poursuivre et faciliter la suite du suivi.

## **Problématique**

Bien que la concrétisation des projets de renforcement des systèmes d'AEP entrepris, ait pour but d'améliorer les conditions de vie des populations, les énormes quantités de ressources à mobiliser (matières premières, matériels, énergie fossile) pour leurs mises en œuvre, peuvent générer des quantités non-négligeables de gaz à effet de serre. Il devient dans ce contexte indispensable non seulement de mesurer les quantités de gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère par ces travaux ; mais aussi de sensibiliser les parties prenantes de ces projets, et de leur fournir des outils et moyens de suivre et réduire les émissions de GES engendrées par ce développement accéléré de construction d'ouvrages d'AEP. Cela afin de contribuer à la comptabilisation et la mitigation au niveau national.

Très peu d'études ont été menées spécifiquement sur les émissions de gaz à effet de serre du secteur de la construction au Bénin. Néanmoins trois communications nationales réalisées en 2001 (MEHU, 2001), 2011 (MEHU, 2011), et 2019 (MCVDD, 2019) révèlent que la production de ciment constitue près de trois quarts des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur des procédés industriels et utilisation des produits.

Dans le cadre de ce travail, nous portons notre intérêt sur l'étude des émissions de GES des travaux de construction d'une station de traitement d'eau potable, de son équipement ainsi que celui de quatre forages et d'un château d'eau, et de la pose de canalisations d'un réseau de distribution, dans la ville d'Adjarra. Nous aurons ainsi, à (i) estimer les émissions dues aux étapes du cycle de vie du chantier (pour une durée de 5 mois), à (ii) hiérarchiser ces émissions pour identifier les postes sur lesquels il convient d'agir en priorité, et à (iii) mettre à disposition de l'entreprise, un outil de suivi-quantification des émissions du chantier.

## **Objectifs de l'étude :**

L'étude vise globalement à évaluer l'empreinte carbone du chantier d'alimentation en eau potable de la ville d'Adjarra et de proposer des mesures de réduction.

Les objectifs spécifiques liés à ce travail sont :

- Identifier le périmètre de l'étude et les postes pertinents à considérer pour estimer les émissions de gaz à effet de serre du chantier
- Quantifier et hiérarchiser par source et par poste, les émissions de gaz à effet de serre ;

- Concevoir un outil de quantification spécifique, et proposer des mesures de réduction des émissions en cours de chantier.

### **Questions de recherches**

Les résultats attendus à l'issue de cette étude sont :

- La définition des activités du chantier, et des services, qu'il est pertinent d'analyser ;
- La détermination de la part de gaz à effet de serre émise par les sources sous le contrôle des opérations du chantier, et celle des sources hors de son contrôle, mais indispensables pour son bon fonctionnement ;
- La détermination des postes émetteurs sur lesquels il est possible d'agir sans affecter la qualité du service fourni par le chantier ;
- La définition de stratégies à mettre en place pour minimiser les émissions de GES tout en évitant des coûts supplémentaires au chantier.

## **I- Revue de littérature**

### **I-1 Le changement climatique**

#### **1.1 Généralités**

Le changement climatique est une variation de l'état du climat, qu'on peut déceler par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés (températures, précipitations, vent, etc.) et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus (IPCC, 2018).

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque et, depuis les années 1950, beaucoup de changements observés sont sans précédent depuis plusieurs décennies. On note une hausse de 40 % de la concentration de l'atmosphère en dioxyde de carbone depuis l'époque préindustrielle. Cette augmentation s'explique surtout par les activités anthropiques, au travers de l'utilisation de combustibles fossiles et du changement d'utilisation des sols. L'océan a absorbé environ 30 % de ces émissions anthropiques de dioxyde de carbone, ce qui a entraîné une acidification de ses eaux. Aussi, l'atmosphère et l'océan se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué d'environ 28 %, et le niveau des mers s'est élevé de 0,19 mètres (Parrenin and Vargas, 2020).

Face à ces changements, l'objectif de développement durable 13 (ODD 13) requiert spécifiquement « une action urgente pour lutter contre le changement climatique et ses impacts ». Les objectifs comprennent le renforcement de la résilience et de la capacité d'adaptation aux aléas climatiques et aux catastrophes naturelles ; intégrer les mesures relatives au changement climatique dans les politiques, stratégies et planification nationales ; puis l'amélioration de l'éducation, de la sensibilisation et des capacités humaines et institutionnelles. L'atténuation représente les efforts visant à réduire ou prévenir les émissions de gaz à effet de serre, ou à améliorer l'absorption des gaz déjà émis, et les mesures correctives, réduire ou compenser temporairement le réchauffement (IPCC, 2018).

#### **1.2 Impacts pour l'Afrique**

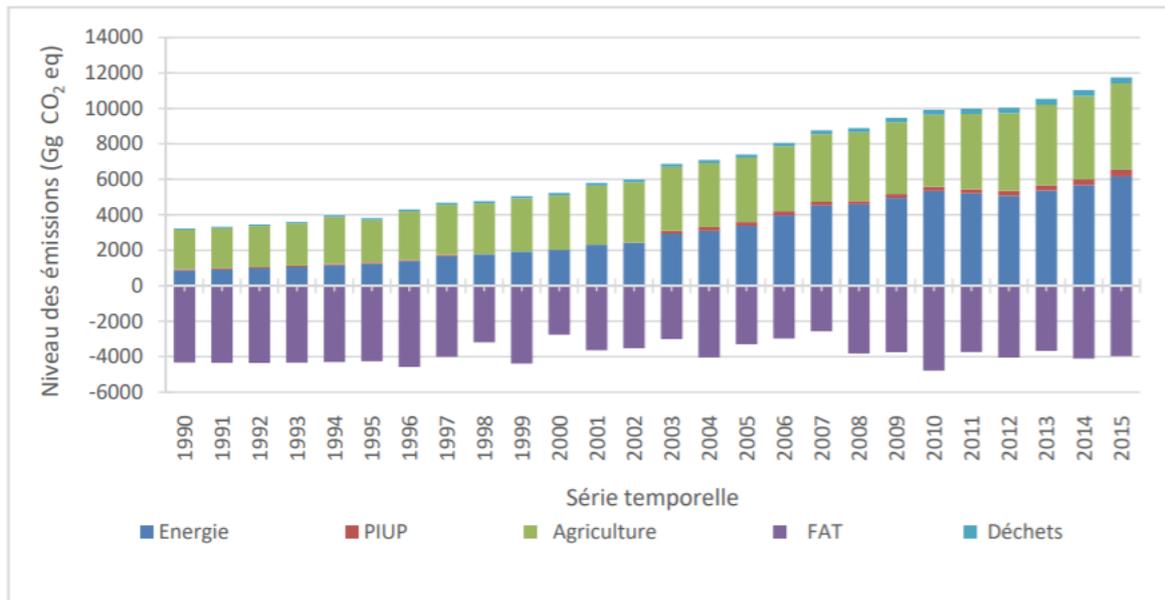
Bien qu'étant le continent le moins industrialisé, l'Afrique fait partie des régions les plus vulnérables aux effets du changement climatique (Sciama, 2005), compte tenu de la forte pression démographique (dégradation des terres et des forêts, diminution des ressources en eau), de la faiblesse des infrastructures, de la pauvreté, et de la mauvaise intégration des technologies

(Al Hamndou, 2008). C'est également l'une des régions les moins surveillées par les climatologues (N'diaye, 2015). De nombreuses personnes vulnérables et pauvres dépendent d'activités telle que l'agriculture qui est très sensible aux augmentations de température et à la variabilité des régimes de précipitations (Shiferaw *et al.*, 2014 ; Miyan, 2015). Leichenko et Silva, 2014 ont réalisé que la variabilité et le changement climatique sont des facteurs susceptibles d'exacerber la pauvreté, en particulier dans les pays et les régions où les niveaux de pauvreté sont élevés. L'Afrique de l'Ouest plus spécifiquement, figure parmi les zones les plus affectées (Dilley, 2005). Dans cette région, les secteurs clés de développement des pays sahéliens, notamment l'environnement, l'agriculture, les ressources en eau sont considérés comme particulièrement vulnérables aux changements climatiques, qui vont s'accompagner d'un dérèglement du régime de pluies (Salack *et al.*, 2016). Ils s'accompagneront aussi de l'intensification de la fréquence des averses quotidiennes, qui menacent la sécurité alimentaire dans la région (Salack *et al.*, 2016).

### **1.3 Changements climatiques au Bénin**

Depuis la fin des années 1980, la question des changements climatiques au Bénin a été étudiée par plusieurs scientifiques qui ont remarqué une variation climatique dans l'espace et dans le temps (Gnanglè *et al.*, 2011) marquée par une augmentation de plus de 1° C des températures et une baisse des précipitations (Vissoh *et al.*, 2012).

Les secteurs les plus émetteurs de GES au Bénin sont l'énergie, les procédés industriels et utilisation des produits (PIUP), et les déchets. Le secteur des procédés industriels au Bénin compte environ 600 unités de transformation industrielles dominées par les petites industries. Les émissions du secteur (PIUP) ont été multipliées par 5,3 de 1990 à 2015 où elles s'élevaient à 382,45 Giga grammes d'équivalent CO<sub>2</sub>, dont la quasi-totalité est due à la fabrication du ciment. Ces procédés industriels contribuent à 5,6 % des émissions dues à la consommation d'énergie (MCVDD, 2019). La figure 1 ci-après montre évolution temporelle des émissions de gaz à effet de serre par secteur d'activité, de 1990 à 2015. La figure montre que l'absorption des émissions du secteur FAT (Foresterie et autres Affectation des terres) seul puit de carbone, est restée constante tandis que les émissions des autres secteurs n'ont cessé d'accroître depuis 1990.



**Figure 1:** Tendance des émissions par secteur pour la série temporelle 1990–2015 :

Source : MCVDD Troisième communication nationale du Bénin sur les émissions de GES, 2019

Face aux effets des changements climatiques, l'eau est l'une des ressources les plus vulnérables au Bénin (Djenontin, 2010), et ces effets se feront de plus en plus ressentir sur le cycle de l'eau, limitant sa disponibilité, son accessibilité et son approvisionnement (Boko *et al.*, 2012). Il faudra s'attendre à des modifications de la quantité et de la qualité de l'eau disponible ; à une augmentation du déficit hydrique et de l'évapotranspiration potentielle (Boko *et al.*, 2012), qui perturberont les activités économiques du pays et impacteront négativement les efforts de développement (Blalogue et Bokonon-Ganta, 2017). En particulier, ce sont les activités agricoles qui seront touchées, avec des impacts sociaux de plus en plus lourds du fait qu'elles constituent l'activité principale de 70 % de la population active, contribuant pour 36 % du PIB du pays et 15 % des recettes de l'Etat (Aho *et al.*, 2006).

## I-2 Généralités sur les émissions de Gaz à effet de serre,

### 2.1 L'effet de serre

La majeure partie du rayonnement solaire est absorbée par la surface de la terre, cette énergie est ensuite répartie par l'atmosphère et les océans, et réémise vers l'espace, où une partie (énergie thermique) est absorbée par certains constituants gazeux (GES). Du fait de la présence de ces gaz, il se produit une déperdition de chaleur moindre à la surface de la terre qui demeure plus chaude que si cela n'avait pas été le cas. Ce phénomène qui constitue une sorte de protection autour de la terre est appelé « effet de serre » (IPCC, 1992)

L'effet de serre est un phénomène naturel, il maintient la température moyenne de l'atmosphère terrestre autour de 15 °C au lieu de -18 °C si il avait été absent (Baruch, 2007).

## **2.2 Les Gaz à Effet de Serre**

Le GIEC définit les GES comme étant des constituants gazeux de l'atmosphère, qui absorbent et émettent un rayonnement à des longueurs d'onde données du spectre du rayonnement terrestre émis par la surface de la terre, l'atmosphère et les nuages (IPCC, 2018).

## **2.3 Catégories de Gaz à effet de Serre**

Les GES sont de deux types selon la source de leur présence dans l'atmosphère (IPCC, 1992) :

- Les GES d'origine naturelle :

Il s'agit de la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) ; du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), émis lors de la combustion de produits pétroliers ou de charbon ; du méthane (CH<sub>4</sub>) émis principalement par le secteur de l'agriculture ou du stockage des déchets non dangereux ; de l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), gaz émis par le secteur de l'agriculture, le trafic routier et l'industrie chimique ; et de l'Ozone (O<sub>3</sub>). Ces GES sont les plus présents dans l'atmosphère et maintiennent la terre à une température habitable.

- Les GES d'origine anthropique (gaz de synthèse) :

On cite dans cette catégorie les gaz fluorés (CFC, PFC, SF<sub>6</sub>) utilisés dans la climatisation, et dans le secteur des équipements électriques ; et les hydrocarbures halogénés. Ces gaz viennent renforcer l'effet de serre dû aux GES d'origine naturelle.

La vapeur d'eau et l'ozone sont deux importants gaz à effet de serre. La vapeur d'eau exerce le plus fort effet de serre, mais à l'échelle planétaire, elle n'est pas affectée par les sources et les puits d'origine humaine. Pour ce qui est de l'ozone, il est difficile de quantifier la variation de sa concentration, du fait des émissions anthropiques (IPCC, 1992)

## **2.4 Unités et comparaison**

L'effet du relâchement dans l'atmosphère d'un kilogramme de gaz à effet de serre varie en fonction du gaz émis, chaque gaz possède un « pouvoir de réchauffement global » (PRG) qui quantifie son impact sur le climat au bout d'un certain temps. Le PRG mesure l'effet de serre additionnel engendré par le relâchement d'un gaz donné dans l'atmosphère (ADEME, 2007).

Afin de pouvoir être additionnées, ou comparées les unes avec les autres, les émissions des différents GES peuvent être exprimées en CO<sub>2</sub>eq (équivalent CO<sub>2</sub>). L'équivalent CO<sub>2</sub> d'un gaz

est calculé en multipliant la masse d'un GES donné par son PRG. Le PRG à 100 ans (PRG100) est l'outil retenu par le protocole de Kyoto pour convertir les émissions d'un GES, (ADEME, 2014).

Le CO<sub>2</sub> a été retenu comme référence car étant le gaz à effet de serre le plus abondant dans l'atmosphère. Ainsi, l'équivalent CO<sub>2</sub> d'un gaz, fait référence à son PRG 100 rapporté au dioxyde de carbone c'est-à-dire pour un kilogramme de GES émis, le nombre de kilogramme de CO<sub>2</sub> qui produirait la même perturbation climatique au bout d'un siècle (IPCC, 2013).

Par convention, pour le gaz carbonique, l'équivalent carbone désigne le poids du seul carbone dans le composé CO<sub>2</sub>.

## **2.5 Mesure des émissions**

Dans la très grande majorité des cas, il n'est pas envisageable de mesurer directement les émissions de gaz à effet de serre résultant d'une action donnée. Les émissions de gaz à effet de serre sont obtenues par calcul, à partir (ADEME, 2007) :

- Des données d'activité : il s'agit de quantités spécifiques à une activité donnée (nombre de véhicules qui roulent et distance parcourue, quantité d'un matériau acheté, etc.)
- De facteurs d'émission (FE) : qui permettent de convertir ces données en émission en équivalent CO<sub>2</sub>. Ces facteurs d'émission sont construits à partir d'une analyse de cycle de vie des biens ou services, c'est-à-dire, les émissions engendrées par l'entité analysée, de l'extraction des matières premières à la fin de vie.

## **2.6 Comptabilisation des GES**

Suite au protocole de Kyoto, plusieurs documents ont été élaborés pour servir de guide méthodologique à la comptabilisation des gaz à effet de serre :

- L'ISO 14064-1 :2018 : qui spécifie les principes et exigences, au niveau des organismes, pour la quantification et la rédaction des rapports sur les émissions de GES et leur suppression ;
- Le GHG Protocol : une méthode d'inventaire des émissions de GES créée par le World Resources Institute (WRI) et le World Business Council for Sustainable Development rassemblant 170 entreprises ;
- Le Global Protocol for Community-scale GhG émissions : publié par le Local Government For Sustainability, en 2012 en partenariat avec la Banque Mondiale, le

WRI et le PNUE. Il propose en son chapitre 3.C les lignes directrices et des formules d'évaluation pour les émissions de N<sub>2</sub>O, et de CH<sub>4</sub> liées au traitement des eaux ;

- Le protocole sectoriel eau et assainissement : développé par l'UK WIR à destination des professionnels de l'eau pour estimer les émissions de GES générées par leur activité ;
- La Méthodologie règlementaire de la France : visant à apporter les éléments nécessaires à l'élaboration du profil GES demandé par l'Etat français aux entreprises de plus de 500 salariés et aux collectivités de plus de 50 000 habitants ;
- Le Bilan Carbone® : développé par l'ADEME et l'association Bilan Carbone qui propose la définition et la mise en œuvre d'une démarche en matière d'évaluation et de réduction des GES pour les organisations, ainsi que pour les territoires.

## 2.7 Outils de quantification

Outre le Bilan Carbone, outil très généraliste, plusieurs outils ont été développés pour répondre au besoin de quantification des émissions de GES, à l'échelle d'un territoire ou d'une organisation. Le tableau I énumère quelques outils spécifiques de comptabilisation :

**Tableau I :** *Quelques outils spécifiques de comptabilisation des émissions de GES*

Outil	Organisme	Objectif
GreenPath	Véolia	Comparaison des empreintes environnementales de plusieurs solutions et choisir avec les clients celle qui répondra le mieux à leurs objectifs de performance
TCO-PAM	Saint-Gobain	Impact environnemental d'une canalisation (acquisition, exploitation et fin de vie)
CO2NCERND	VINCI	Bilan des émissions de GES des activités du groupe VINCI (bâtiments, voiries, terrassements...)
Urban Print	EfficaCity	Analyse du cycle de vie d'une opération d'aménagement urbain
CANOPEE	Canalisateurs de France	Bilan carbone de la pose canalisations, de l'extraction des matières premières à la fin de vie.
IPCC Inventory Software	GIEC	Bilans nationaux d'émissions de GES
Carte d'Identité Carbone (CIC)	Institut 2iE	Evaluation de l'empreinte carbone adapté aux entreprises internationales et locales implantées en Afrique.

## **II- Cadre d'étude**

### **II-1 L'entreprise**

Entreprise du Groupe Vinci, SOGEA SATOM est un acteur majeur du secteur du bâtiment et des travaux publics, implanté dans plusieurs pays d'Afrique depuis plus de quatre-vingt-dix ans. L'Agence SOGEA-SATOM Bénin, qui accueille la présente étude intervient sur différents types de projets tels que la construction de routes, de bâtiments, et d'ouvrages hydrauliques. L'entreprise est certifiée par la Norme ISO 14001 : 2015, pour la qualité de son système de management environnemental, son objectif global étant d'améliorer le cadre de vie autour des chantiers en agissant pour le climat, en optimisant les ressources grâce à l'économie circulaire et en préservant les milieux naturels.

#### **1.1 Les locaux**

Le chantier d'AEP Adjarra objet de cette étude est situé dans la ville d'Adjarra, où l'entreprise a installé sa base technique. Cette dernière, située non loin du chantier dispose de :

- Treize (13) containers métalliques de vingt pieds, aménagés en bureaux, et une salle de réunion (tous disposant de l'air conditionné, dont quatre, de réfrigérateur) ;
- Deux (02) containers métalliques de quarante pieds servant de vestiaire et de magasin ;
- Trois (03) hangars dont un réfectoire, un abri pour la mécanique ; et un atelier (coffrage et ferrailage) ;
- Cinq (05) véhicules de service de type 4x4 ;
- Deux (02) blocs de toilettes, (dont chacune est reliée à une fosse septique et un puits d'infiltration) ;
- Un (01) ensemble d'engins de chantier (camions, compacteurs, etc.) et d'outillages ;
- Une guérite.

#### **1.2 Le personnel**

Le personnel mobilisé pour le chantier est composé d'environ cent compagnons (appellation qui regroupe les maçons, coffreurs, manœuvres et autres) et de dix-huit membres de l'encadrement regroupés en sections à savoir :

- Une section bureau d'études ;
- Une section des travaux de génie civil ;

- Une section des travaux de canalisation ;
- Une section des services généraux (ressources humaines, logistique, etc.) ;
- Une section laboratoire ;
- Une section Qualité Hygiène Sécurité Environnement.

## II-2 Le projet

### 2.1 Présentation du projet

D'un coût global de 2 715 305 218 FCFA, le projet de renforcement des systèmes d'alimentation en eau potable des villes secondaires d'Adjarra, Bassila et leurs environs est un projet financé par les Pays Bas à travers le programme OMIDELTA. Pour une capacité de production visée de 6 200 m<sup>3</sup>/j, il permettra à terme d'alimenter 1,4 millions d'habitants environs, à l'horizon 2025.

La phase I faisant l'objet de cette étude, concerne uniquement la ville d'Adjarra.

La Figure 2 ci-dessous donne une vue d'ensemble du projet. Elle présente la station de traitement et les abris forages à construire, ainsi que les canalisations à poser pour le réseau d'adduction et de refoulement.

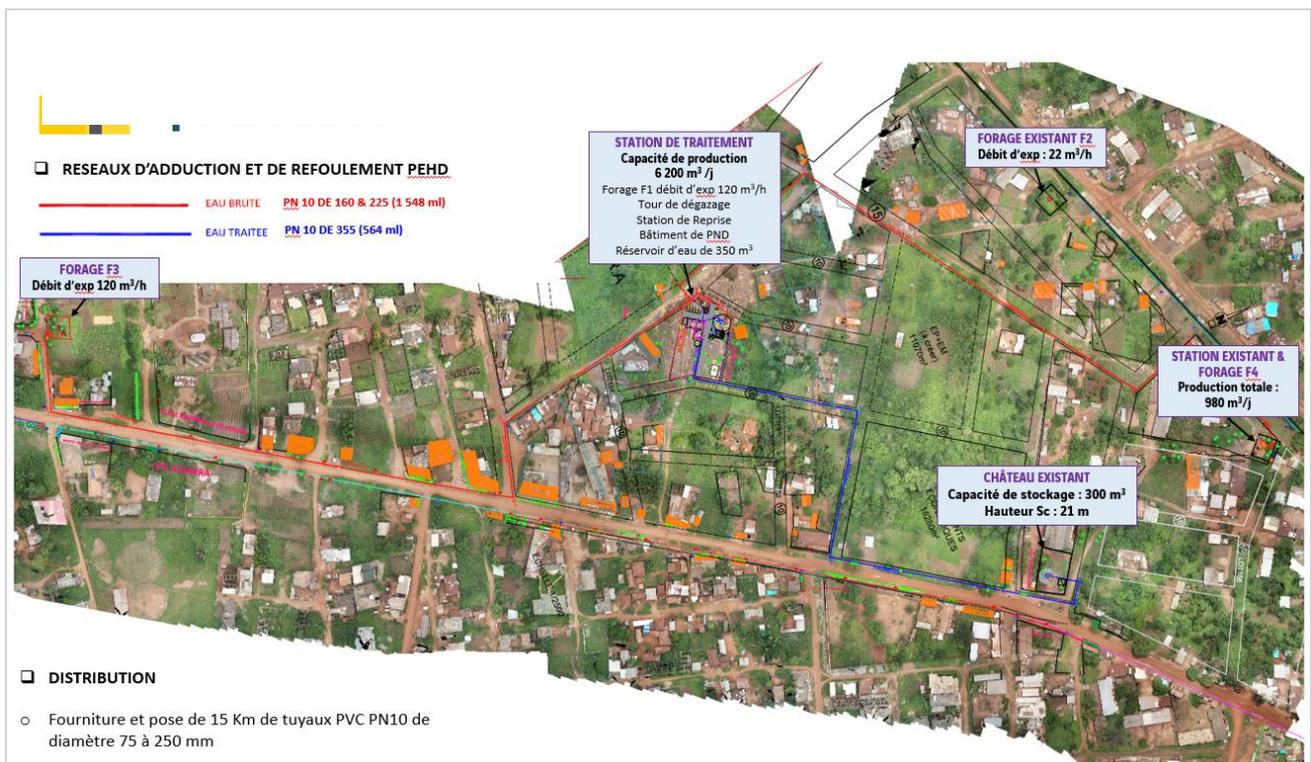


Figure 2: Photo aérienne de la zone du projet (station de traitement, adduction et refoulement)

## 2.2 Consistance des travaux

Dans le cadre du projet, les travaux à réaliser par l'entreprise sont résumés dans le tableau II :

**Tableau II :** Consistance des travaux du projet

N°	Intitulé	Détails
1	Installation de chantier	Construction et équipement des locaux de l'entreprise et du maître d'œuvre Ateliers et aires de stockages
2	Travaux préliminaires et terrassement	Démolitions et réfections Déplacement et dessouchage d'arbres
3	Équipement et raccordement de deux forages	Construction du bâtiment du forage Construction du mur de clôture du forage Fourniture et installation de l'équipement hydraulique du Forage Fourniture et Installation de la pompe immergée et de sa colonne montante Fourniture et pose d'équipements électriques pour alimenter le forage
4	Construction et équipement de la station de reprise	Construction d'une bache de reprise en béton armé d'une capacité de 350 m <sup>3</sup> Construction d'un bâtiment d'exploitation (salle de pompage bureau du personnel et toilettes) Construction d'un bâtiment pour la salle de pompage Construction d'un mur de clôture pour la station de traitement Fourniture et pose d'équipement électriques, électromécaniques et hydrauliques de la station de traitement
5	Canalisations	Fourniture et pose de tuyau en PVC PN10 de diamètre 75 à 250 mm (15Km) Fourniture et pose de tuyau en PEHD PN10 de diamètre 215 à 350 mm (3.5 Km) Confection de bornes de repérage Confection de balise
6	Raccordements électriques des installations	Fourniture et pose de ligne électrique MT et de ligne BT

### **III- Matériel et Méthode**

#### **III-1 Matériel**

Dans cette partie de l'étude, Il s'agit de présenter les outils et les données qui ont servi, pour mener à bien l'évaluation des gaz à effet de serre émis par le projet.

##### **1.1 Données utilisées**

Cette section, présente les données mobilisées, et les documents qui ont servi pour évaluer les GES émis par le projet étudié. Il s'agit essentiellement de données relatives aux quantités de matière ou d'énergie consommées par les travaux, de référentiels normatifs, et de bases de données préétablies.

###### **1.1.1 Norme Internationale ISO 14064-1**

La norme internationale ISO 14064-1 est un document élaboré par l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) à travers un de ses comités techniques (ISO/TC 207), qui constitue la norme générique en matière de quantification et de déclaration des émissions et des suppressions des gaz à effet de serre au niveau des organismes. Les parties du document qui ont servi pour le travail de quantification sont :

- L'annexe B, « catégorisation des émissions directes et indirectes » qui classe les émissions de GES selon leur catégorie et donne des exemples de postes d'émissions à prendre en compte
- L'annexe H, « recommandations relatives au processus d'identification des émissions de GES significatives » qui donne les critères à considérer pour une évaluation pertinente, tant quantitative que qualitative des émissions de GES

Le document en lui-même est un guide pour définir les périmètres à prendre en compte, ainsi que l'année de référence à choisir.

###### **1.1.2 Lignes directrices 2006 du GIEC**

Les Lignes directrices 2006 (et améliorations 2019) du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ont été développées à la demande de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) pour mettre à jour les Lignes directrices 1996. Les inventaires reposent sur des concepts clés à propos desquels il existe une compréhension

commune pour garantir que les inventaires sont comparables entre les pays et ne contiennent pas de double compte ou d'omission.

Le document est divisé en plusieurs volumes en fonction des secteurs. Les volumes « énergie », « procédés industriels et utilisation des produits » et « déchets » ont fourni les formules appliquées tout au long de la démarche de quantification menée sur le chantier en fonction des sources d'émissions étudiées.

## 1.2 Outils utilisés

### 1.2.1 Microsoft Excel

Microsoft Excel est un logiciel de la suite Microsoft Office, qui permet de créer des tableaux, des bases de données, des graphiques, etc. et de faire des calculs automatisés. Le tableur Excel est le principal outil utilisé dans la conception de l'outil de calcul proposé à l'entreprise, pour la quantification des émissions de gaz à effet de serre du chantier.

### 1.2.2 Autres outils

Un ensemble d'outillages a également permis de mener à bien cette étude, il s'agit principalement d'une règle graduée flexible pour mesurer les dimensions des containers et l'épaisseur des isolations et d'une balance pour peser la quantité de déchets produite quotidiennement.

## III-2 Méthode

Dans ce chapitre, les périmètres (organisationnel, temporel, opérationnel) de l'étude sont d'abord définis. Ensuite, les sources d'émissions jugées pertinentes pour estimer les émissions de GES sont présentées. Pour finir, les émissions sur la base des données collectées, à chaque étape sont quantifiées. Le schéma suivant (figure 3) présente le synoptique de la démarche méthodologique après une sensibilisation et une communication au sein de l'entreprise :



**Figure 3** : Synoptique de la démarche méthodologique adoptée

## 2.1 Périmètres de l'étude

### 2.1.1 Cartographie des flux

Il s'agit ici de représenter schématiquement les flux d'énergie et de matières permettant l'activité de l'organisation, et provoqués par son activité. C'est une étape décisive dans le cadre du périmètre à prendre en compte dans la comptabilisation des GES émis par une organisation, dans notre cas, le chantier de renforcement du système d'alimentation en eau potable de la ville d'Adjarra. La cartographie des flux peut être présentée comme suit (Figure 4) :

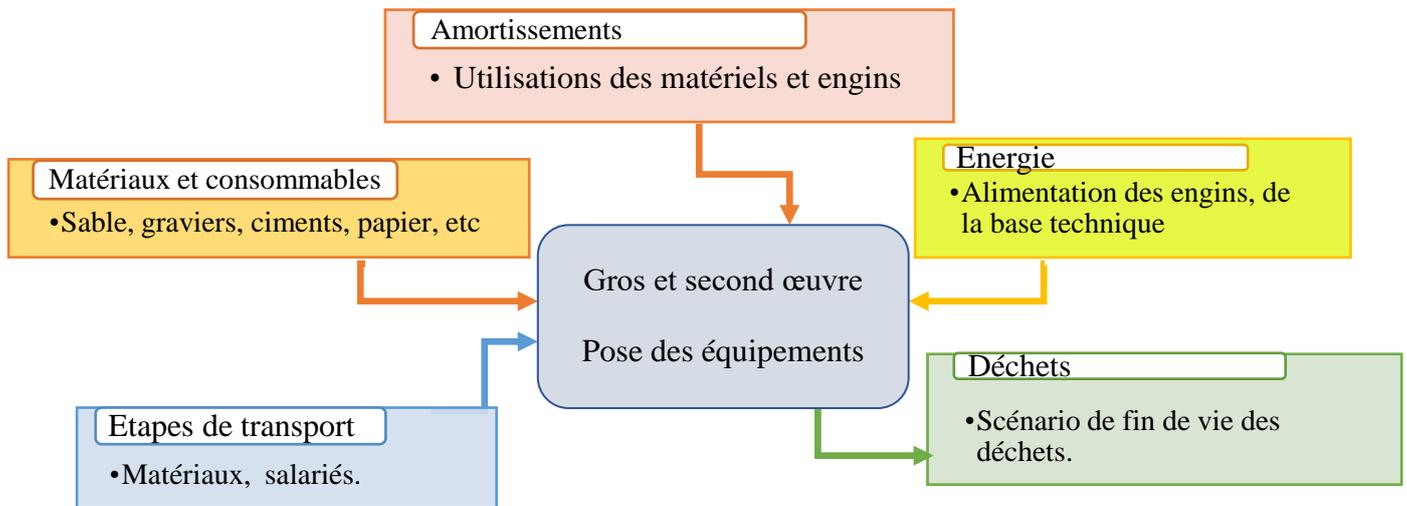


Figure 4 : Cartographie des flux d'énergie et de matière

### 2.1.2 Périmètre Organisationnel

Il s'agit selon la norme ISO 14064-1 2018, de l'ensemble des sites, installations et compétences pris en compte lors la comptabilisation des GES émis par une organisation.

Nous prendrons AEP Adjarra comme une entité à part entière, dont les activités se limitent au chantier et à ses besoins.

Les postes émetteurs reliés au périmètre organisationnel du chantier sont résumés dans le tableau III suivant :

**Tableau III :: Sources d'émission de gaz à effet de serre prises en compte**

<b>Sources d'émission</b>	<b>Inclusion</b>	<b>Justification</b>
Production des matériaux (aciers, graviers, sables, canalisation, ciment)	oui	Les carrières et usines de production sont hors du périmètre organisationnel, mais indispensables pour le chantier
L'acheminement (fret) des matériaux (sables et graviers) du site de production (carrière) au chantier	oui	Activité contrôlée par le chantier
La production d'électricité	oui	L'entreprise utilise des groupes électrogènes
L'exploitation des engins sur le site de construction (amortissement et utilisation de carburant)	oui	Activité contrôlée par le chantier
Installation et l'exploitation de la base technique de l'entreprise sur le chantier	oui	Activité contrôlée par le chantier
Les déplacements du personnel de l'entreprise	oui	Activité contrôlée par le chantier
Les déchets produits (transport et traitement)	oui	Le mode de stockage ou de traitement est sous le contrôle de l'entreprise
Vie en œuvre des bâtiments et canalisations	non	Les bâtiments ne seront pas exploités par l'entreprise (non pertinent)
Fin de vie des bâtiments et canalisations	non	La fin de vie des bâtiments engage le maître d'ouvrage (non pertinent)

### 2.1.3 Périmètre de déclaration

Il s'agit du périmètre opérationnel, qui se définit comme étant l'ensemble des sources d'émission prises en compte pour comptabiliser les émissions GES de l'organisation (ABC, 2013).

La Norme ISO 14064-1 classe les émissions selon qu'elles sont engendrées par des sources contrôlées par l'organisation (émissions directes) ou par des sources nécessaires aux activités de l'organisation mais contrôlées par d'autres entités (émissions indirectes).

En se basant sur une approche « cycle de vie », la répartition des émissions de GES du chantier d'AEP Adjarra, peut se présenter comme suit :

- Emissions directes :

Le transport des matériaux de construction, transport des salariés, mise en œuvre du béton (engins, essais, etc.), la pose des canalisations (fouilles, soudures, etc.) et la consommation d'énergie sur site ;

- Emissions indirectes :

La production des matériaux de construction, le transport des matériaux et des équipements, l'utilisation des engins (amortissement), les déchets (type de traitement).

#### 2.1.4 Périmètre temporel

L'ABC (Association Bilan Carbone) recommande de choisir un périmètre temporel pertinent, adapté à l'organisation ou à l'activité considérée. Nous choisissons la durée de vie du chantier (prenant en compte la phase I du projet) qui est de douze mois, de son installation, à son repli. Mais les émissions ici calculées sont celles émises de Juin à Novembre 2020 (cinq mois).

Ainsi, l'année de référence de du bilan correspond à l'année du premier inventaire, soit 2020 (année de la présente étude).

## 2.2 Collecte des données

La quantification des émissions de GES du chantier, se base sur ses données d'activités (données réelles, et données approximées) et sur les facteurs d'émissions adaptés. Ce sont de ce fait, les deux principaux paramètres qui ont fait l'objet de collecte directement sur le site de construction. La liste des données d'activité identifiées, sur le site découlant du périmètre opérationnel est présentée en annexe 2.

#### 2.2.1 Données d'activité

La donnée d'activité est une mesure quantitative de l'activité occasionnant l'émission (ou la suppression) de GES (quantité d'énergie, de combustibles consommés, de matériaux produits, etc.). Deux types de données ont été recueillis :

- Les données spécifiques au site :

Il s'agit de mesures recueillies directement sur le chantier à savoir, la quantité de matériaux le (ciment, sable, gravier, tuyaux PVC) approvisionnée ; la quantité de carburant consommée par

chaque engin ; la quantité de petit outillage achetée ; le volume de déchets enlevé par le service de collecte.

Ces données ont été obtenues pour la plupart au près du service logistique et quelques fois traitées avant utilisation (comme pour convertir le nombre de paquets de papier d'impression acheté, en kilogramme de papier). Pour les autres données elles ont été mesurées sur sites, comme les dimensions des bungalows de chantier, l'épaisseur les isolations, la distance moyenne du trajet domicile-travail, pour chaque ouvrier.

- Les données externes :

Des données issues d'approximations effectuées lors d'études antérieures, à savoir celles de l'outil CON<sub>2</sub>CERND du groupe VINCI (outil de quantification des émissions) et de l'outil CANOPEE développé par les Canalisateurs de France ont remplacé les données spécifiques au site lorsqu'elles n'étaient pas accessibles. Par exemple, pour la durée de vie des engins de chantier, ou encore pour les ratios de consommation de certains gros engins.

#### 2.2.2 Bases de données des facteurs d'émission

Les facteurs d'émission sont des coefficients rapportant les données d'activité des GES aux émissions de GES.

Les facteurs utilisés pour estimer les émissions de GES du projet AEP Adjarra sont issus de :

- La base carbone : spécifique à l'outil de quantification des émissions de GES « Bilan carbone » développée par l'ADEME. Les facteurs d'émission y sont cités suivant une approche cycle de vie.
- L'Ecoinvent v2.2 : Base de données de facteurs d'émission développée par Agroscope et utilisée dans certains outils tels que OpenLCA (outil d'analyse du cycle de vie) ;
- Des calculs et hypothèses effectués par le Groupe VINCI, ATILH et d'autres estimations réalisées par analyse du cycle de vie de certains produits effectuées par les Canalisateurs De France (surtout pour la durée de vie des engins qui n'est pas disponible dans la base carbone).

### 2.3 Gaz à effet de serre pris en compte

Comme dans la majorité des outils et de quantification carbone, seuls sont comptabilisés dans notre étude, les gaz directement émis, et non ceux qui apparaissent dans l'atmosphère à la suite de réactions chimiques.

Les gaz pris en compte sont ceux considérés dans le protocole de Kyoto, et cité en son Annexe B, et présentés dans le tableau (Tableau IV) ci-après. Chaque facteur d'émission considéré, est un facteur d'émission global qui prend en compte l'ensemble des gaz émis par le procédé.

Tableau IV : Potentiels de réchauffement global des gaz à effet de serre pris en compte

Gaz	Formule Chimique	PRG à 100ans
Dioxyde carbone	CO <sub>2f</sub>	1
Méthane d'origine fossile	CH <sub>4f</sub>	30
Hexafluorure de soufre	SF <sub>6</sub>	23500
Protoxyde d'azote	N <sub>2</sub> O	265
Hydrofluorocarbures (HFC)	-	5000
Perfluorocarbures (PFC)	-	4000

Source : 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC, 2013.

## 2.4 Hypothèses de calcul

Dans cette section, les différentes hypothèses et méthodes de calcul seront présentées pour les catégories d'émission en fonction de chaque poste et pour chacune des sources d'émission.

### 2.4.1 Emissions directes

Il s'agit d'émissions provenant de sources à l'intérieur du périmètre organisationnel du chantier, lui appartenant ou étant sous son contrôle. Ces émissions sont classées en trois postes déterminés d'après les directives de la Norme ISO 14064-1 :

- Les émissions liées à une combustion fixe, rassemblant dans le cadre de cette étude le groupe électrogène utilisé pour la fourniture en énergie électrique des bureaux de chantiers et des différents ateliers de travail, et un poste de soudure.
- Les émissions liées à une combustion mobile qui font référence aux émissions de tous les engins non stationnaires tels que les engins de chantier (camions, compacteurs, etc.) ainsi que les véhicules appartenant au chantier.
- Les émissions fugitives provenant de fuites dans les équipements de climatisation des locaux ou des véhicules, et des appareils de réfrigération.

La méthode d'estimation des émissions pour les différentes sources est présentée dans le tableau V ci-après :

Tableau V: Hypothèse de calcul des émissions directes du chantier

Emissions directes			
Postes	Application	Sources	Méthode d'estimation
Emissions liées à une combustion fixe	Libération de GES dans l'atmosphère due à la combustion de tout type de combustible dans un équipement stationnaire. Les gaz émis sont le CO <sub>2</sub> , le CH <sub>4</sub> et le N <sub>2</sub> O dans le cas de la combustion de carburant (Gasoil)	Un groupe électrogène (3080 L)  Un groupe de soudure (674 L)	$Emission_{GES} = Cons_{comb} \times FE_{comb}$  Où : [[Emission]]_GES = émissions du gaz à effet de serre donné (kgCO <sub>2</sub> eq) [[FE]]_comb = Facteur d'émission associé à la combustion du gasoil (3,17 kgCO <sub>2</sub> eq/litre)
Emissions liées à une combustion mobile	Résultant de la consommation de carburant des équipements du parc d'engins	Engins de chantier : camions, niveleuse, etc. (10313 L)  Véhicules type Pick Up 4x4 (11097 L) (voir Annexe 2)	$Emission_T = \sum_c (Cons_c \times FE_c)$  Où : [[Emission]]_T = émissions dues au transport routier (KgCO <sub>2</sub> eq) [[Cons]]_c = la consommation en carburant (litres) [[FE]]_c = le facteur d'émission (3,17 Kg CO <sub>2</sub> /litres)
Emissions fugitives issues de la libération de GES par des systèmes anthropiques	Provenant dans notre cas, de fuites sur les équipements de réfrigération ou de climatisation installés dans les bureaux de la base technique, ou encore la climatisation automobile. Il s'agit principalement des hydrofluorocarbures et des perfluorocarbures.	Climatisation des véhicules (R134a)  Climatisation des bungalows de chantier (R22)  Réfrigérateurs (R134a;R600a)	$E_{GES,clim} = \frac{[(Q_n + K) + (C \times X \times A) + (Q_n \times Y \times (1 - Z))]}{100} \times PRG_i \times 0.001$  Où : E(GES,clim) = émissions du gaz à effet de serre due à la climatisation (KgCO <sub>2</sub> eq) Q_n = la quantité de fluide ajouté à l'équipement (Kg) K = émission initiale (%) (Remplissage d'origine par le fabricant, donc à omettre) C = capacité totale de l'équipement (Kg) X = émissions annuelles de fonctionnement (0,5 % de la charge initiale) A = nombre d'années d'utilisation (nous prendrons 5/12) Y = Charge initiale restante (%) (Omise) Z = efficacité de récupération (%) (Omise) [[PRG]]_i = potentiel de réchauffement climatique du fluide considéré (%)

Sources : lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre (volumes Energie; et PIUP)

#### 2.4.2 Emissions indirectes

Cette catégorie d'émission fait référence aux émissions issues de sources qui ne sont pas contrôlées par le chantier et donc sur lesquelles il ne peut pas agir directement. Il s'agit :

- Les émissions dues au transport quotidien des employés (trajet domicile-travail à moto), dont les moyens de transports ne sont pas possédés par le chantier ; et le transport de matériels ou de matières premières qui ne sont pas produits par le chantier,
- Emissions dues aux produits utilisés par l'organisme qui englobent les émissions dues à la fabrication des matières premières utilisées, l'amortissement des biens acquis par le chantier pour son fonctionnement, et les services auxquels le chantier a souscrit tels que la connexion à internet.

Le détail de la méthode d'estimation des émissions indirectes du projet sur la période étudiée est présenté dans le tableau VI ci-dessous :

Tableau VI : Hypothèse d'estimation des émissions indirectes du chantier

Emissions indirectes				
Postes		Application	Sources	Méthode d'estimation
Emissions indirectes dues au transport	Emissions dues au transport quotidien des employés	Transport du personnel du chantier (ouvriers spécialisés; manœuvres, etc.) Transport (enlèvement) des déchets,	Essentiellement des motos pour le personnel. (8 à 17 en fonction des périodes) Un camion 6 roues pour les déchets,	Détermination du nombre de motos et de la distance qui sépare leur domicile (5 à 15km) du chantier  Détermination de la distance parcourue par le camion d'enlèvement des déchets, (FE = 0,25kgCO <sub>2</sub> eq/km).
	Emissions dues au transport et distribution de marchandise en amont	Emissions dues au transport des matériels, et équipements commandés par le chantier (à l'extérieur du pays) et dont l'acheminement ne sera pas effectué par des moyens de l'entreprise	3 camions 32Tonnes ayant livré les conduites en PVC et PEHD depuis la côte d'ivoire (870km, 63,57 t)	$Emission_{cana} = \sum_{cana} (Dist_{cana} \times M_{cana} \times FE_{cana})$ Où : [[Emission]]_Cana = émissions dues au transport des canalisations (KgCO <sub>2</sub> eq) [[Dist]]_cana= la distance parcourue pour l'acheminement des canalisations (km) M_cana= Masse des conduites (tonne) [[FE]]_cana = le facteur d'émission (0.078 Kg CO <sub>2</sub> eq/t.km)
	Emissions indirectes dues aux biens achetés par le chantier	émissions associées à la fabrication des matériaux de construction	Les produits pris en compte sont le ciment, le sable, le gravier, le fer à béton, les conduites en PVC (PolyChlorure de Vinyle) et en PE-HD (polyéthylène haute densité), et le papier.	Pour les matériaux, la masse à été multipliée par le FE correspondant aux émissions par unité de masse du matériaux ( voir annexe 2)  Pour le papier, 5 paquets de 500 feuilles chacun (feuilles format ISO A4, marque Navigator). Le poids de l'article (source : site de vente en ligne) est de 12,5kg (FE = 1.3 kgCO <sub>2</sub> eq/kg de papier) Les cartouches d'encre émettent 0,042kgCO <sub>2</sub> e/100 feuilles A4, donc 10,5 kgCO <sub>2</sub> eq (250×0,042) par paquet.

Evaluation des émissions de gaz à effet de serre du projet de renforcement du système d'alimentation en eau potable de la ville d'Adjarra, et conception d'un outil de calcul

Emissions indirectes dues aux produits utilisés par l'organisme	Emissions dues aux biens d'équipement	l'amortissement des engins et véhicules du chantier	Fabrication des engins de chantier et des véhicules	Il a été estimé au prorata de leurs durées de vie. Les émissions prévues pour chaque type d'engin sur sa durée de vie (par catégorie de poids) ont été rapportées à la durée (en heure) pendant laquelle il a été utilisé sur le chantier ( voir annexe 2)
		Fabrication des éléments constituant les bungalows de chantier	containers maritimes agencés et équipés pour fournir un cadre adéquat de travail	Les émissions des principaux constituants d'un bungalow (Annexe 3) ont été additionnées pour obtenir un forfait d'émission de GES dû à l'installation d'un bungalow Les masses volumiques moyennes $\rho_p=35\text{Kg/m}^3$ du polystyrène, et $\rho_c=450\text{Kg/m}^3$ du contreplaqué ont été utilisées pour obtenir le poids de des matériaux d'isolation, en partant de la surface recouverte et de leur épaisseur. Les containers maritimes utilisés sont de dimensions internes 5.9×2.35×2.39 mètres (20pieds) et 12.03×2.35×2.39 mètres (40pieds).
	Emissions indirectes dues aux services utilisés par le chantier	émissions dues au transport et à l'élimination des déchets,	Emissions de GES dues à la décharge contrôlée des déchets	$E_{GES\_DMA} = Q_m \times F \times T \times FE_{CH_4\_DMA} \times PRG100_{CH_4}$ <p>Où :</p> <p><math>E_{(GES\_DMA)}</math> = émissions de gaz à effet de serre due à la décharges des DMA (kgCO2eq)  <math>Q_m</math> = la quantité moyenne de déchet produite par semaine (117 kg)  <math>F</math> = la fréquence mensuelle d'enlèvement (4)  <math>T</math> = l'âge du chantier (en jours)  <math>[[PRG100]]_{(CH)_4}</math> = potentiel de réchauffement climatique du méthane (30)  <math>[[FE]]_{(CH)_4\_DMA}</math> = facteur lié au méthane émis par le dépotage des déchets (1.17 kgCH4/kg de déchet).</p>
				Emissions de GES dues au traitement des eaux usées par fosse septique
		Service de connexion à internet	l'envoi/réception des courriels	Estimées en comptant les courriels reçus quotidiennement par chaque section du chantier en prenant le soin de décompter séparément les courriels reçus avec ( $FE = 0,035$ ), ou sans pièce jointe ( $FE = 0,004$ ) (comptage sur un mois pour obtenir une valeur moyenne). Les facteurs d'émissions proviennent de la base carbone V18.2 de l'ADEME.

Sources : lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre (volumes Energie; PIUP et Déchets)

### 2.4.3 Evaluation de l'incertitude

L'estimation des incertitudes est un élément essentiel d'un inventaire complet sur les émissions (et les absorptions) de GES.

Pour estimer l'incertitude qui accompagne les valeurs considérées pour les calculs réalisés (données d'activités, facteurs d'émissions), la méthode d'estimation des incertitudes telle qu'appliquée dans la méthode Bilan Carbone® développée par l'Agence De l'Environnement et de Maitrise de l'Energie (ADEME, France) a été utilisée. Cette incertitude pour chaque source d'émission, dépend de l'incertitude sur chaque donnée d'activité (Annexe 2) recueillie et de l'incertitude sur le facteur d'émission (Annexe 1) associé.

- Dans un premier temps, l'incertitude sur les émissions associée à une même source d'émission est calculée par la formule suivante basée sur le principe de la propagation des incertitudes :

$$I_{Total} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$$

Avec :

$I_{Total}$  : le pourcentage d'incertitude associé au produit des quantités ;

$I_i$  : le pourcentage d'incertitude associé à chaque quantité.

Appliqué à notre contexte cette formule devient :

$$I_{Emission} = \sqrt{I_{FE}^2 + I_{DA}^2}$$

Avec :

$I_{Emission}$  : le pourcentage d'incertitude associé à la quantité d'émission calculée ;

$I_{FE}$  : l'incertitude associée au facteur d'émission ;

$I_{DA}$  : l'incertitude associée à la donnée d'activité.

L'incertitudes sur la donnée d'activité est définie de façon empirique, en fonction de notre propre appréciation de la qualité de la donnée recueillie sur le terrain. Il s'agit d'une méthode que l'ADEME approuve à condition de respecter deux principes à savoir que :

- 2 données dont la qualité est comparable doivent présenter une incertitude égale ou proche ;
- Plus la qualité de la donnée est dégradée, plus l'incertitude relative doit être élevée.

Le tableau VII suivant résume la méthode suivie pour attribuer une valeur à l'incertitude associée aux données d'activité :

**Tableau VII : Méthodologie d'attribution d'une valeur à l'incertitude associée aux données d'activité**

Niveau	Description	Utilisation	Exemple	Qualité de la donnée	Incertitude associée à la donnée (%)
Donnée Primaire	Donnée observée, mesurée directement ou calculée à partir de mesures directes sur l'activité	Utilisées dans tous les cas où cela est possible	Consommation en carburant des engins	Très bonnes	5
Donnée Secondaire	Donnée générique ou donnée moyenne provenant de sources publiées, représentatives d'une activité	Utilisées pour les cas où les données étaient difficiles à collecter	Charge organique traitée par les fosses septiques (60KgBDO5/hbt/an)	Bonnes	20
Donnée extrapolée	Donnée primaire ou secondaire liée à une activité similaire adaptée ou personnalisée à une nouvelle situation.		le type de déchet produit sur la base vie (assimilés à des déchets ménagers)	Acceptables	40
Donnée approchée	Donnée primaire ou secondaire liée à une activité semblable qui peut être utilisée en lieu et place de données représentatives.		Amortissement des engins (rapportée à leur durée de vie)	Faibles	60

- Ensuite, l'incertitude globale sur un poste, contenant plusieurs sources d'émissions différentes est calculée à partir de la formule de l'incertitude relative (appliquée dans ce contexte) :

$$\Delta I_{Poste}(\%) = \frac{[(\sum_1^n (\Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n))]}{[(\sum_1^n (S_1 + S_2 + \dots + S_n))]} \times 100$$

Avec :

$\Delta I_{Poste}(\%)$  : l'incertitude sur un poste d'émission (%)

S : la quantité de GES émise par chaque source d'émission en kgCO<sub>2</sub>eq

$\Delta S$  : l'incertitude sur une source d'émission en kgCO<sub>2</sub>eq (obtenue à partir de la formule 2.3)

La même méthode a été employée pour estimer l'incertitude sur l'ensemble des émissions à partir de l'incertitude sur chacun des postes d'émission.

## IV- Résultats et discussions

### IV-1 Résultats de détermination du périmètre d'étude

#### 1.1 Récapitulatif des postes d'émissions étudiés

Les postes et sources d'émission pris en compte dans le cadre de l'évaluation des émissions de GES du chantier sont résumés dans le tableau (Tableau VIII) ci-après :

**Tableau VIII** : Postes et sources d'émission de GES considérés pour l'estimation

Catégories	Postes émetteurs	Sources
Emissions directes	Emissions dues à une combustion fixe	Groupes électrogènes et postes de soudure
	Emissions dues à une combustion mobile	Transport des cadres, déplacement des engins de chantier
	Emissions fugitives	Climatisation (locaux et véhicules), réfrigération.
Emissions indirectes	Emissions indirectes dues au transport	Trajet domicile-travail des ouvriers, acheminement des équipements commandés
	Emissions dues aux produits utilisés par le chantier	Installation de locaux, fabrication des matériaux de construction, gestion des déchets, etc.

Ainsi la catégorie des émissions directes compte trois postes d'émissions à savoir, les émissions dues à une combustion fixe, les émissions dues à une combustion mobile et les émissions fugitives. La catégorie des émissions indirectes quant à elle se compose du poste des émissions indirectes dues au transport et des émissions indirectes dues aux produits utilisés par le chantier.

Les résultats obtenus à l'issue des hypothèses de calcul émises seront présentés et étudiés dans la suite du document.

## 1.2 Résultats émissions de gaz à effet de serre quantifiées

### 1.2.1 Résultats par postes d'émission

L'évaluation des émissions de gaz à effet de serre du chantier de renforcement du système d'alimentation en eau potable de la ville d'Adjarra et ses environs présente des émissions d'environ 647,664 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> répartis tels que présenté dans le graphique (figure 5) suivant:

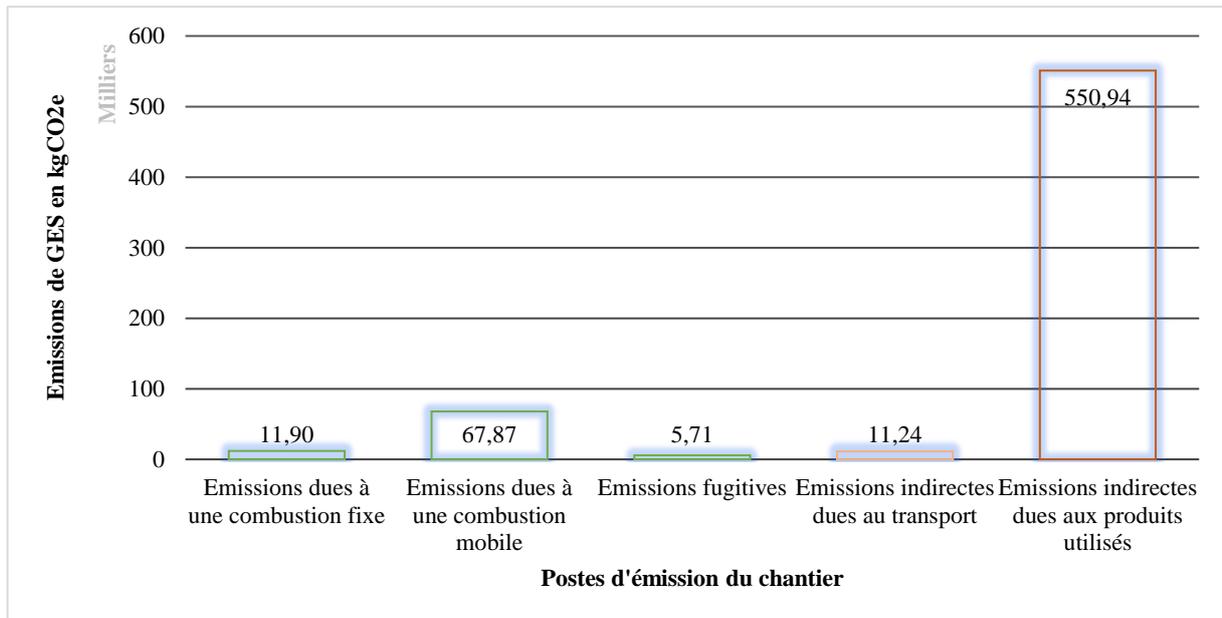
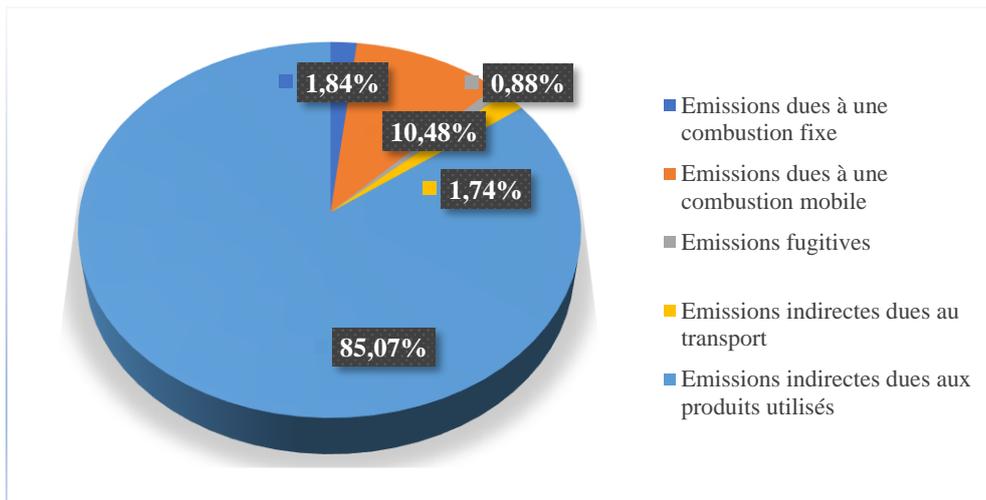


Figure 5: Résultat des émissions de gaz à effet de serre du chantier par poste d'émission

On constate que les émissions indirectes dues aux produits utilisés (locaux, matériaux de construction, etc.) sont largement majoritaires, et que le poste des émissions dues à une combustion fixe (source d'énergie électrique du chantier, un groupe électrogène de 110 kVA) est la plus faible source d'émissions du chantier.

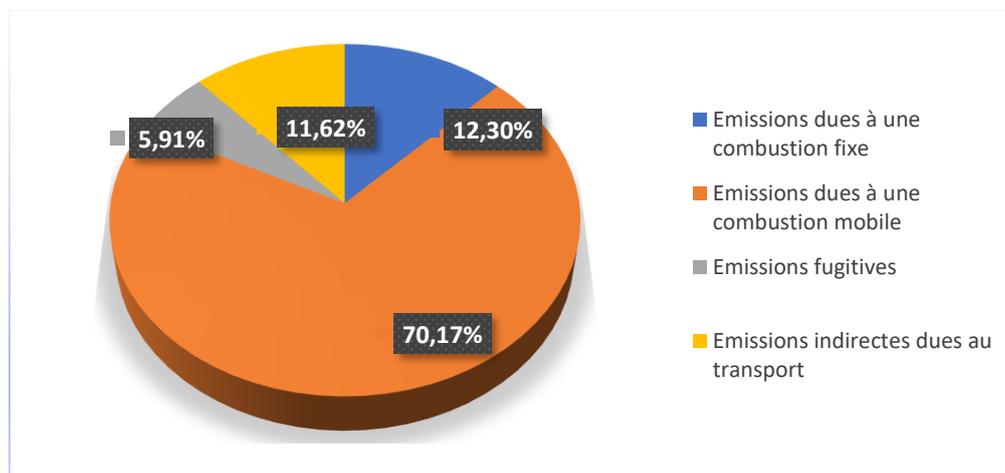
- Le poste des **émissions indirectes dues aux produits utilisés par l'entreprise** représente la majorité des émissions engendrées par le chantier (85,07 %). Il est suivi du poste des émissions directes dues à une combustion mobile 10,48 %. Le poste le moins émetteur est celui des émissions fugitives (0,88 %). Les proportions des différents postes sont présentées dans le graphique (figure 6) suivant :



**Figure 6:** Proportions des émissions de GES dues aux produits utilisés par l'entreprise

- Les sources du poste « produits utilisés par le chantier » sont intrinsèques à la qualité du produit fourni par le chantier, et il est délicat d'agir sur elles. En mettant de côté ces sources, on peut se faire une idée des GES émis sans la fabrication (et/ou extraction) des matériaux de construction et consommables de chantier.

Le graphique (figure 7) suivant présente les proportions des différents postes d'émission, sans les produits utilisés :



**Figure 7 :** Proportions des différents postes d'émissions de GES sans les produits utilisés

On constate que les émissions directes représentent désormais une part très importante du total émis soit 88 %, et que le transport (Combustion mobile dans les véhicules de transport de l'encadrement, et les engins de chantier) représente à lui seul près des trois quarts (70,17 %) des émissions.

### 1.2.2 Répartitions par catégories d'émissions

Les émissions indirectes totalisent 562,18 tCO<sub>2</sub>eq. Il s'agit des émissions dues au transport d'équipements et fournitures (conduites en PVC et PEHD essentiellement) liés au projet, du trajet domicile-maison des employés, et de celles dues aux produits utilisés, tels que les biens d'équipement pour l'installation du chantier, l'amortissement du parc d'engin de chantier, le traitement des déchets, et la fabrication des matériaux de construction.

Les postes à l'intérieur du périmètre organisationnel génèrent environ 85,48 tCO<sub>2</sub>eq, issues des groupes électrogènes pour la fourniture d'énergie, des émissions engendrées par la combustion de carburant dans les véhicules et engins du chantier, et des émissions fugitives (climatisation, réfrigération).

### 1.2.3 Limite des données et incertitudes

L'incertitude globale des estimations réalisées est de l'ordre de 20,30 %, pour l'ensemble des postes d'émissions étudiés donc une incertitude d'environ 131 tCO<sub>2</sub>eq.

Les incertitudes les plus élevées sont celles liées au poste des émissions fugitives (64 %) surtout à cause de l'incertitude liée au facteur d'émission de 50 %. Les émissions liées à une combustion fixe ont été estimées avec 9.8 % d'incertitude, 11,2 % pour les émissions liées à une combustion mobile et 15,5 % pour les émissions liées aux produits utilisés par le chantier.

L'incertitude globale de 20,30 % évaluée est relativement élevée mais reflète les erreurs induites par les approximations faites, l'erreur de mesure, mais surtout l'incertitude liée aux facteurs d'émission. Les incertitudes observées permettront de hiérarchiser les efforts visant à améliorer l'exactitude des inventaires à venir, et à orienter les décisions sur les choix méthodologiques.

Etant donné que ce sont les émissions indirectes qui sont à l'origine des incertitudes les plus élevées, c'est sur les facteurs d'émission associés qu'il faut agir. Il peut s'agir de réaliser des études internes telles que des analyses du cycle de vie pour estimer avec plus d'exactitude les émissions causées par les différents procédés entrant en compte dans la fabrication d'un produit ou la fourniture d'un service.

## 1.3 Résultats et interprétations par source d'émissions étudiées

Dans cette section, les émissions de GES seront présentées en fonction de chaque source identifiée au cours de l'étude, et un regard critique sera porté sur les résultats obtenus.

### 1.3.1 Emissions directes

Les émissions dues aux sources à l'intérieur du périmètre organisationnel du chantier représentent 13,2 % du total des émissions comptabilisées. Elles se répartissent entre les émissions dues à une combustion fixe (groupes électrogènes et groupes de soudure), les émissions dues à une combustion mobile (véhicules, engins de chantier), et les émissions fugitives telles qu'illustrées dans le graphique (figure 8) ci-dessous :

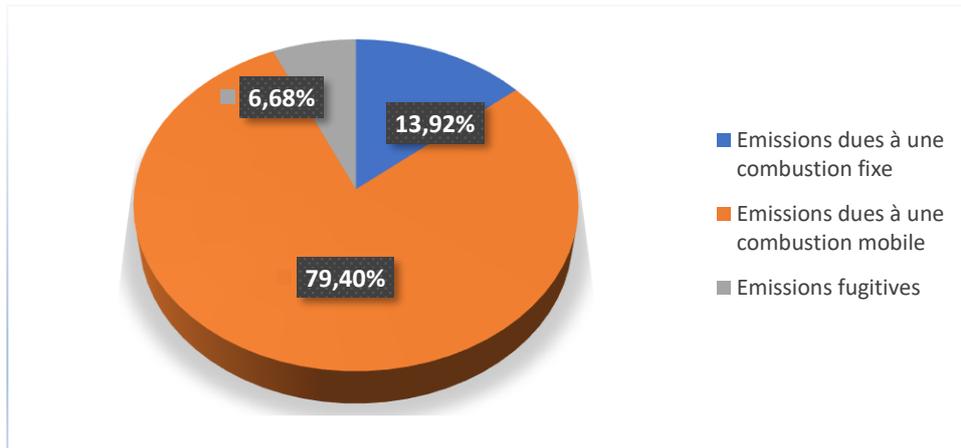


Figure 8 : Emissions directes de GES

- Les émissions dues à une combustion mobile

Le transport du personnel de l'encadrement (cinq véhicules de types Pick Up 4x4) et les déplacements des engins de chantier (79,40 % des émissions directes) représentent le poste le plus important d'émissions de gaz à effet de serre sous le contrôle opérationnel du chantier. C'est un poste dont l'importance des émissions, rapportée au nombre d'utilisateurs nécessite une attention particulière.

Un total de 10313 litres de carburant a été consommé en cinq mois, donc environ 344 litres par véhicule par mois soit 32,69 tCO<sub>2</sub>eq. L'importance des émissions de ce poste s'explique dans un premier temps du fait de la dispersion des sites de travaux (sites de forage, réseaux de distribution) impliquant d'importantes distances à parcourir par les véhicules. (C'est donc une cause d'émission sur laquelle il serait délicat d'agir). Mais aussi, du fait des déplacements du personnel, du chantier, de la ville du chantier (Adjarra) vers la capitale économique (Cotonou) située à près de 50 km. Ainsi les cinq véhicules parcourent environ 2 000 km par mois (en aller-retour, en considérant quatre semaines) soit l'équivalent de 0,5 tCO<sub>2</sub>eq par mois donc 2,5 tCO<sub>2</sub>eq sur la période de cinq mois étudiée (FE=0,25 tCO<sub>2</sub>eq/km). Réduire ces

déplacements à un « weekend » par mois permettrait d'économiser 1,875 tonnes sur cinq mois donc si cette mesure est appliquée pour les sept mois restant des travaux, une économie de 2,625 tCO<sub>2</sub>eq aura été réalisée à terme des travaux.

Dans le cadre de la réduction des émissions dues à la consommation de carburant par les divers véhicules et engins, il est également important de surveiller l'âge du parc de matériel. Il s'agit ici de veiller à renouveler après un certain temps le matériel déjà amorti (au moment où son ratio de consommation de carburant par kilomètre devient élevé par exemple), car plus un matériel est vieux, plus il consomme de carburant et plus il émet donc de gaz à effet de serre comme l'illustre le tableau (Tableau IX) ci-après. Il présente le calcul du ratio de consommation des véhicules du chantier à partir de la distance parcourue sur un mois, et de la quantité de carburant consommée pour la parcourir :

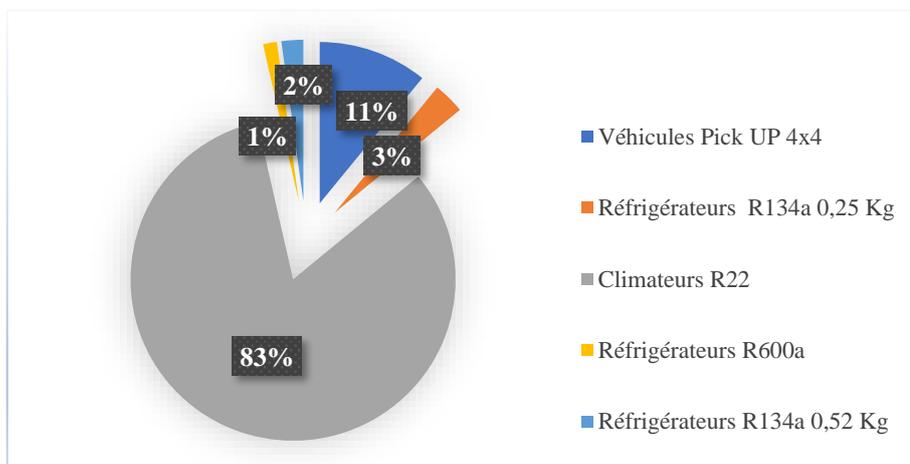
**Tableau IX : Ratio de consommation des véhicules du chantier**

Code parc	Année de fabrication	Age (Année)	Consommation (Litres)	Compteur début (km)	Compteur Fin (km)	Utilisation (km)	Ratio (L/km)
E19201	2019	1	392	11268	16561	5293	0,074
E10282	2017	3	412	117426	122001	4575	0,090
E10059	2015	5	444	306013	311551	5538	0,080
E12734	2012	8	487	528203	533671	5468	0,089
E12027	2009	11	495	373466	378784	5318	0,093

- Emissions fugitives

Les émissions fugitives sont globalement de 5,713 tCO<sub>2</sub>eq (6,68 %), réparties entre la climatisation des locaux 4,711 tCO<sub>2</sub>eq, la climatisation automobile et la réfrigération.

La décomposition du poste des émissions fugitives donne les proportions représentées sur le graphique (figure 9) ci-après :



**Figure 9 :** Proportions des différentes sources d'émission du poste des émissions fugitives

La climatisation des locaux est donc à l'origine de 82,46 % des émissions fugitives soit environ 6 % des émissions directes. La climatisation des véhicules représente 11 % des émissions fugitives et la réfrigération 6 %. La Figure 10 est une photographie de l'arrière des climatiseurs qui équipent les locaux.



**Figure 10 :** Sources d'émissions fugitives

Il est à remarquer que les gaz (HFC, CFC) émis par les fluides frigorigènes ont des potentiels de réchauffement global très élevés (de l'ordre de 2000 dans cette étude mais pouvant excéder 10000) comparés aux CO<sub>2</sub>, au CH<sub>4</sub> et au NO<sub>2</sub>, émis par les autres sources d'émission. Ce qui peut expliquer sa part importante dans les émissions du chantier, c'est donc un poste important, sur lequel il est impératif d'envisager des solutions, si le chantier veut faire baisser les émissions de son périmètre organisationnel.

Une piste pour réduire considérablement les émissions fugitives serait d'opter pour des systèmes de climatisation plus efficaces (présentant moins de fuites) utilisant des gazs réfrigérants à PRG beaucoup moins élevés tel que le R32 (677) en remplacement du R22 (1760). 2,946 tCO<sub>2</sub>eq d'émissions pourraient ainsi être évitées.

- Les émissions dues à une combustion fixe

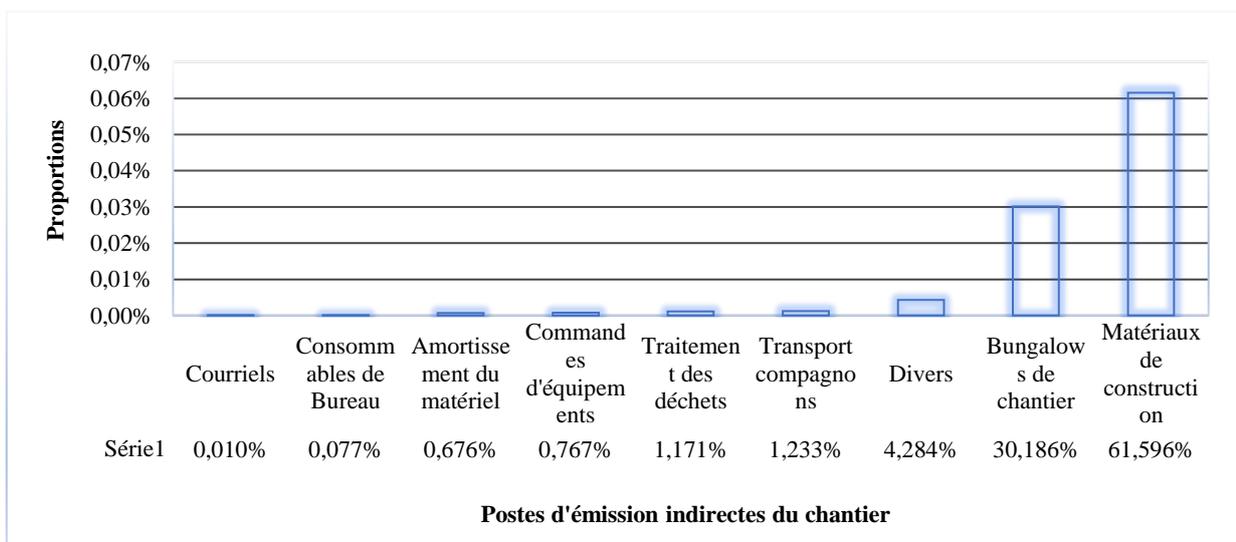
L'énergie électrique consommée sur site représente seulement 13,92 % des émissions directes.

Ce poste pourrait émettre moins, en observant des gestes simples, tels qu'éteindre les ampoules et les climatiseurs en quittant les bureaux, toujours garder les portes fermées pour conserver le froid de la climatisation et éteindre le groupe électrogène aux heures de pause (12 h-13 h).

Cette dernière option en considérant un ratio de consommation du groupe électrogène (110 kVA) de 7,8 litres par heure ( estimation à partir des relevés de consommation du groupe électrogène et des relevés de son compteur horaire) ferait économiser 39 litres de carburant par semaine. Par conséquent, 1092 litres pour les sept mois restant des travaux et donc 3,46 tCO<sub>2</sub>eq évitées.

### 1.3.2 Emissions indirectes

Ces émissions, hors du périmètre organisationnel constituent la grande majorité des émissions du chantier (88.43 %), elles font principalement référence aux émissions engendrées par les processus industriels ayant permis d'extraire et/ou fabriquer et de transporter les matériaux de construction, les engins de chantier. Il convient donc de constater l'importance de l'évaluation des émissions indirectes dans le bilan des émissions de gaz à effet de serre d'une organisation. En effet, seulement 11.57 % des émissions du chantier provient des émissions directes. Et donc en principe, l'organisation ne peut théoriquement agir directement que sur cette part des émissions, étant donné que c'est celle sur laquelle elle exerce un contrôle des opérations à l'origine des émissions. Néanmoins une interprétation plus poussée des résultats peut aboutir à des économies dans des postes d'émissions autres que celles sous son contrôle opérationnel.



**Figure 11** : Résultats par poste, des émissions indirectes induites par l'activité du chantier

L'analyse du graphique ci-dessus (Figure 11) révèle que les matériaux de construction sont la plus grande source d'émission (61,6 %) hors du périmètre organisationnel du chantier. Ce poste est suivi de loin par les bungalows de chantier (locaux) à hauteur de 30,18 %, puis par les consommables divers de chantier (fils de fer, bois d'œuvre, feuilles de tôle, etc.). La gestion des déchets et les échanges de courriels (services souscrits) constituent mis ensemble, à peine 1 % des émissions indirectes évaluées. Les évitements (impacts positifs) d'émissions dues aux traitements des déchets n'ont pas été considérés.

- **Emissions dues au transport**

Egalement importantes, les émissions liées au transport s'élèvent à 11,24 tCO<sub>2</sub>eq. Elles se répartissent entre le trajet domicile-travail des employés (essentiellement des motos) à l'origine de 6,93 tCO<sub>2</sub>eq, et le transport de marchandise amont (équipements hydrauliques et hydromécaniques, et matériel du laboratoire). La Figure 12 présente des photographies des conduites PVC et des colonnes d'exhaure des pompes de forages, à leur arrivée sur le site du chantier :



**Figure 12 :** Livraison des conduites PVC (à gauche) et des colonnes d'exhaure

Les émissions indirectes dues au transport représentent environ 1,74% des émissions du chantier dont la plus grosse part (58,83%) est due au trajet domicile-travail des ouvriers, soit 6,93 tCO<sub>2</sub>eq. Le reste étant émis par l'acheminement des équipements commandés. La norme ISO 14064-1 demande de prendre en compte ce transport (des ouvriers, vu qu'il ne s'agit pas de véhicules appartenant au chantier) dans les émissions indirectes du chantier, dans notre cas, le chantier peut décider de prendre le contrôle de ce poste dans le but de réduire les émissions, en mettant à

disposition des ouvriers, un moyen de transport en commun dont la logistique sera gérée de façon optimale.

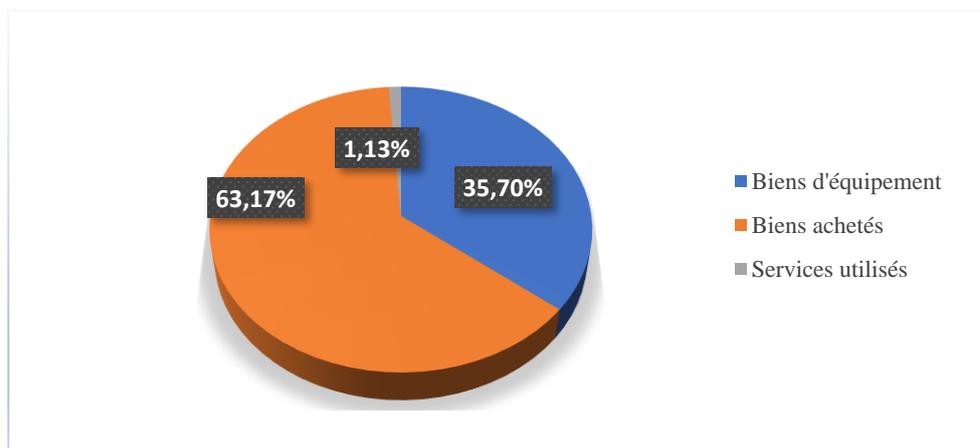
Il peut s'agir d'opter plutôt pour loger les ouvriers le plus près possible les uns des autres et mettre à leur disposition un bus. En prenant le cas des ouvriers habitant le plus loin du chantier (13 km environ) un bus qui ferait l'aller-retour six fois par semaine parcourrait :

$6 \times 13 \text{ km} \times 2 \times 4 = 624 \text{ km/mois}$  et donc  $3120 \text{ km}$  en 05 mois . L'ADEME estime qu'un bus émet  $1,66 \text{ kgCO}_2\text{eq} / \text{km}$ , on obtient donc en cinq mois  $5,179 \text{ tCO}_2\text{eq}$  soit  $1.75 \text{ tCO}_2\text{eq}$  d'économies. Plus les logements seront proches du site, plus des économies d'émission seront réalisées.

Concernant les équipements commandés, l'entreprise est surtout contrainte dans son choix du fournisseur, à respecter la qualité du produit à livrer au maître d'ouvrage, mais peut opter pour les fournisseurs le plus proches possible, et les mieux quottés en termes de respect de l'environnement.

- **Emissions dues aux produits utilisés par le chantier**

Ce poste regroupe les émissions dues aux biens achetés par le chantier, les émissions dues aux biens d'équipement et les émissions dues aux services utilisés par le chantier, tels que répartis sur la figure (figure 13) ci-après :

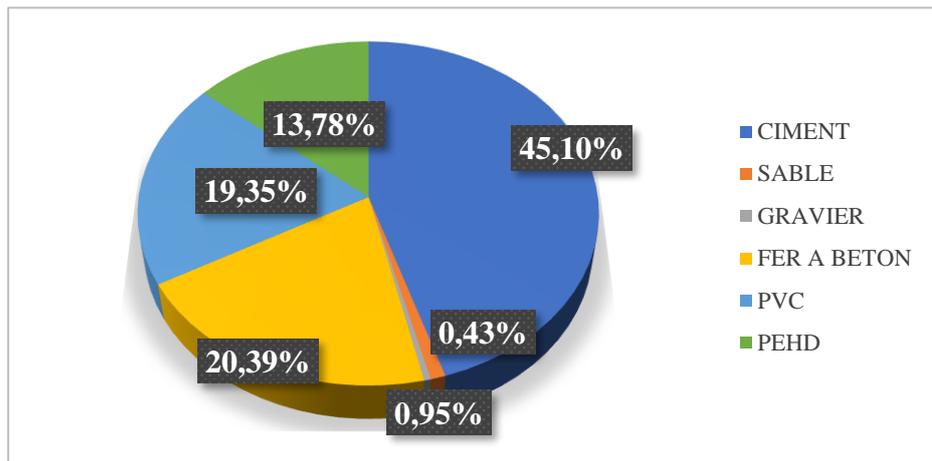


**Figure 13 :** Proportions des sous-postes dues aux produits utilisés par le chantier

- Les émissions dues aux biens achetés par le chantier (63,17 %) :

Elles représentent les émissions provenant des matériaux de construction, et autres équipements qui entrent en compte dans la fourniture de son service. Ce poste est à l'origine de 370,7 tCO<sub>2</sub>eq, dont 346,281 tCO<sub>2</sub>eq (93,4 %) imputables aux matériaux de construction.

La décomposition du sous-poste des matériaux de construction (Figure 14) permet d'examiner plus en détails la contribution de chaque matériau de construction au volume de gaz à effet de serre qui y a été évalué.



**Figure 14 :** Emissions dues à chaque matériau de construction

Ainsi, tel que le résume le graphe (Figure 14) ci-dessus, le ciment (sa fabrication) est la source la plus importante d'émission de gaz à effet de serre, il compte pour près d'un quart des émissions globales du chantier, le fer à béton en seconde position avec 20,39 % des émissions liées à la fabrication des matériaux de construction, le PVC et le PEHD, respectivement 19,35 % et 13,78 %.

- Quant aux émissions dues aux biens d'équipement (31,7 %) :

Elles sont principalement constituées des containers métalliques aménagés pour servir de locaux, et de l'amortissement des engins de chantier. Ces locaux sont la source de 173,502 tCO<sub>2</sub>eq soit 97,78 % des émissions associées aux biens d'équipement.

La figure 15 ci-après représente une photographie de la façade principale des containers qui font office de bureaux pour le chantier.



**Figure 15 :** *Locaux du chantier*

Les biens achetés par le chantier constituent le sous poste le plus émetteur du chantier (55.75 %). Les matériaux de construction et autres outillages sont pour la plupart produits par des procédés industriels (le ciment, l'acier, le PVC, le PEHD, etc.), c'est l'une des raisons pour lesquelles les émissions du secteur de la construction sont souvent calculées en les cumulant à celles des procédés industriels (cas de l'évaluation des émissions nationales de gaz à effet de serre du Bénin réalisée en 2011). Ce qui explique les facteurs d'émission relativement élevés. Mais ce poids élevé des émissions s'explique aussi, et surtout par le fait que le gros-œuvre soit la plus grande partie de la consistance des travaux.

Pour optimiser les émissions de ce poste, un travail important de logistique doit être fait afin de réduire le nombre de trajet, de choisir les meilleurs fournisseurs (rapport qualité/écologie) depuis la phase des études, une fois que le marché est gagné.

L'installation de chantier (locaux) est la source de plus du quart des émissions du chantier. La source d'émissions qu'elle constitue doit réellement faire l'objet d'une révision du point de vue du modèle d'installation de chantier à mettre en place, et envisager des solutions moins polluantes que l'achat de containers métalliques, dans la mesure du possible. Il serait peut-être judicieux dans le cas où le chantier ne souhaite pas louer des locaux, qu'il s'installe avec des matériaux à faible empreinte carbone, et réutilisables, telles que des briques d'argile pour les murs, des toitures en plastique recyclés, etc.

#### **1.4 Synoptique des émissions du chantier**

L'ensemble des quantités de gaz à effet de serre évaluées est résumé dans l'arbre (Figure 16) ci-dessous. Ce schéma permet également de retracer la classification des émissions.

L'estimation prend donc en compte d'après la figure, 14 sources d'émission répartis sur cinq (05) postes issus des deux catégories d'émissions considérées (émissions directes et émissions indirectes). Dans le graphique, les flux de d'émission de gaz à effet de serre les plus importants par catégorie d'émission sont encadrés en rouge.

.

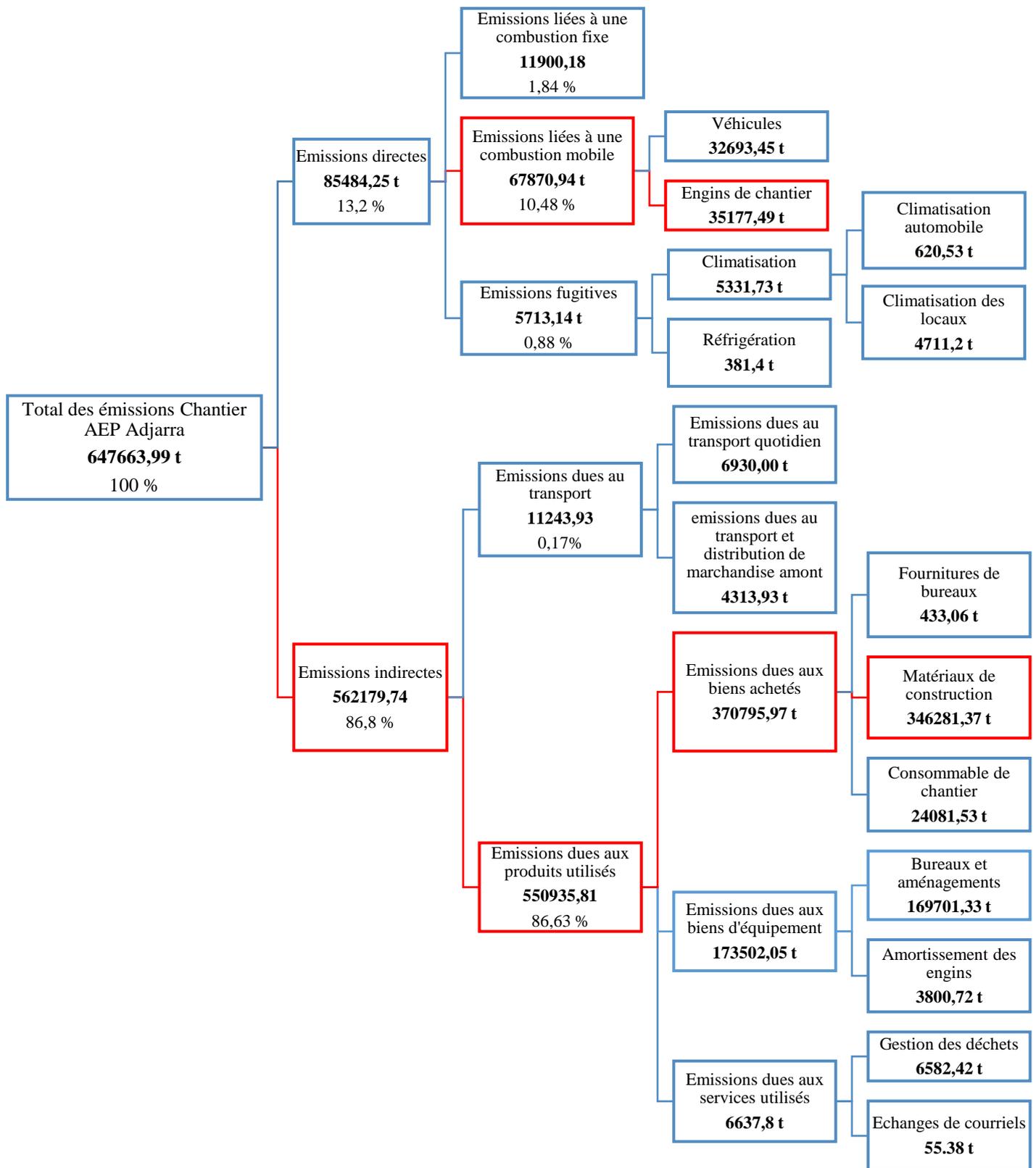


Figure 16 : Arbre des postes d'émission du chantier en kilogrammes équivalent dioxyde de carbone

## **IV-2 Résultats de conception de l'outil de calcul**

### **2.1 Description de l'outil**

L'outil de comptabilisation des émissions de GES du chantier conçu est un tableur Excel composé de sept feuilles dont une page de garde (ou les informations du chantier, les résultats de comptabilisation et les tendances observables) et une base de données (facteurs d'émission, engins, etc.). Les hypothèses de calcul décrites pour chaque poste (et sources) d'émissions restent les mêmes et seront continuellement affinées pour réduire les incertitudes.

Les cinq autres feuilles de calcul (annexe 3) sont les suivantes :

- Installation de chantier (et les travaux y afférent) ;

L'installation de chantier a été traitée comme un poste à part, en vue d'attirer régulièrement l'attention des responsables de chantier sur le poids de cette rubrique, extérieure aux travaux, (bien que l'installation soit prévue dans le marché, elle ne fait pas partie des livrables et est temporaire) sur laquelle le chantier pourrait réaliser des économies de carbone (voir des économies d'ordre financier).

- Transport ;

La feuille transport permet de calculer toutes les émissions engendrées par des sources de combustion mobile (véhicules et engins). Il s'agit du transport des cadres du chantier, du transport des ouvriers, des déplacements d'engins, et de l'acheminement des équipements commandés.

- Matériaux et consommables ;

Cette feuille permet d'estimer les émissions dues aux matériaux de construction (leur fabrication), aux consommables de bureau (papier à impression, encre), aux consommables de chantier (pointes, fils de fer, bois d'œuvre, etc.) et aux conduites (PVC et PE-HD).

- Energie et émissions fugitives

Les sources de combustion fixe destinées à la production d'énergie, l'électricité (dans l'éventualité d'un futur raccordement au réseau électrique) et les émissions fugitives dues à la climatisation des locaux et à celle des véhicules sont calculées dans cette feuille.

- Amortissement du matériel (engins) et services (gestion des déchets, courriels, etc.) ;

Ici sont estimées les émissions de l'utilisation des engins, au prorata de leur durée de vie approximée, ainsi que les services auxquels a souscrit le chantier. Ces services sont principalement la gestion des déchets et les échanges de courriels.

Une feuille « Evitements/séquestrations » sera fonctionnelle dans les prochaines versions de l'outil.

La figure (Figure 17) ci-après présente la page récapitulative de l'outil de calcul des émissions de chantier en fonction des catégories décrites.

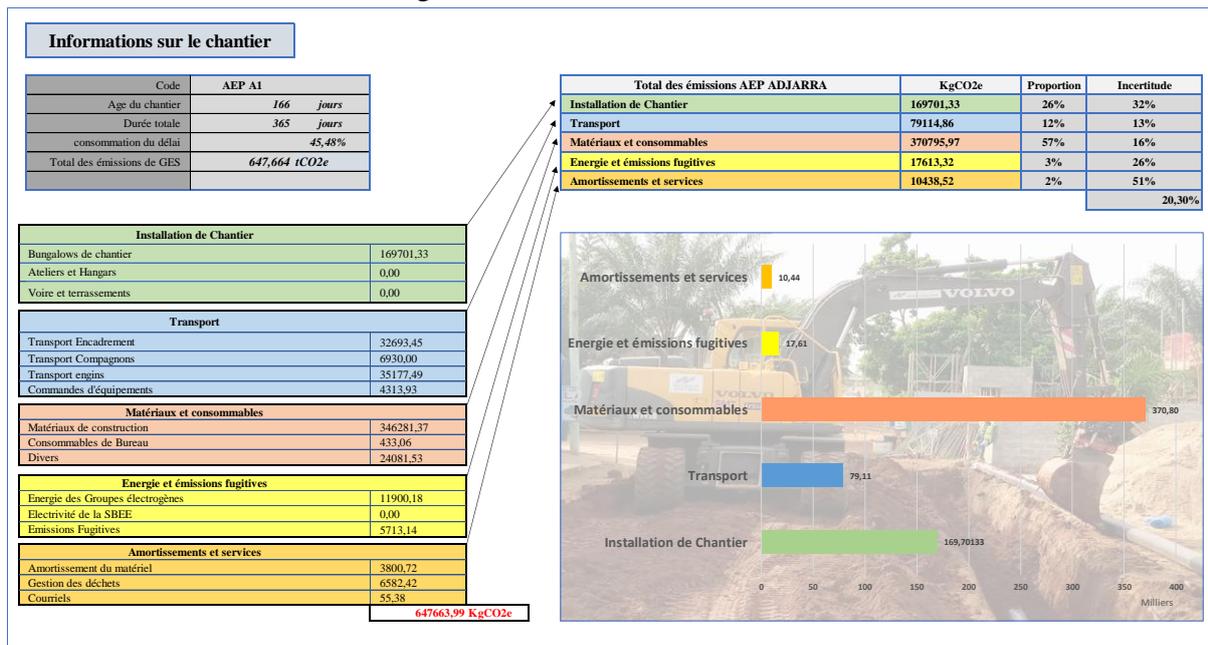


Figure 17: Feuille récapitulative de l'outil de calcul des émissions

## 2.2 Utilisation de l'outil

L'outil est conçu de sorte à être rempli mensuellement par l'utilisateur, et de sorte à ne nécessiter de ce dernier aucune compétence spécifique.

L'insertion des données sur une base mensuelle permet non seulement de suivre de façon plus régulière l'évolution des émissions, mais aussi d'alléger le travail d'insertion des données qui devrait normalement se faire en fin d'année et de ne pas attendre une année entière pour entreprendre des mesures de réduction par rapport à une source d'émission.

En prenant l'exemple du poste « transport » :

- La consommation en carburant des véhicules et des engins (aisément obtenue auprès du service logistique) peut être régulièrement entrée. Chaque véhicule peut être suivi et l'utilisateur de l'outil, alerté lorsque cette consommation ne correspond pas à la

fonction du véhicule. Le résultat d'une mesure prise par rapport à un véhicule spécifique peut donc être observé dès la fin du mois.

- Quant au transport des ouvriers, il est nécessaire à chaque début de mois, de faire un sondage permettant de savoir combien de véhicules (uniquement des motos dans notre cas) font l'aller-retour entre la maison et le chantier et la distance qu'ils parcourent (estimation à partir des compteurs). Il suffit juste ensuite d'entrer les données dans le tableau au niveau du mois correspondant.
- Pour ce qui est des commandes, les données sont entrées de sorte à ce qu'il faille juste cocher « oui » ou « non » dans la case en face du groupe d'équipement à livrer, pour que les émissions dues à la livraison soient prises en compte.

### **IV-3 Proposition d'un système de gestion des émissions de gaz à effet de serre**

Vu l'importance des questions de réchauffement climatique à l'échelle mondiale, et le fait que l'entreprise s'engage volontairement dans la réduction de son impact sur l'environnement, il est important que la rubrique « effet de serre » soit intégrée dans la politique de l'entreprise.

Nous proposons d'une part une approche basée sur la roue de Deming (le PDCA, Planifier Plan, Do, Check, Act) et d'autre part, sur les échanges de crédits carbone entre les différents chantiers de l'entreprise, basée sur le modèle du « marché carbone ».

Dans le but de gérer les émissions de chantier et d'appliquer le PDCA à cette démarche, la direction de l'entreprise doit intégrer le volet de la gestion des émissions de GES des chantiers dans sa politique. A l'échelle du chantier, un comité piloté par le/la responsable Hygiène Sécurité environnement (HSE) du chantier, doit spécialement être mis en place. Les autres membres importants à intégrer au comité sont :

- Le/la responsable qualité du chantier pour veiller au respect des procédures ;
- Le/la Directeur(trice) des travaux, qui autorise la mise en place des projets proposés par le responsable HSE, et le décaissement des fonds à cet effet ;
- Un assistant HSE qui collecte, organise les données et les saisit dans l'outil de calcul.

#### **3.1 Mise en œuvre d'une approche s'appuyant sur l'amélioration continue**

La roue de Deming (Figure 18), aussi appelée cycle ou méthode PDCA (Plan, Do, Check et Act) a été créée par Willian Edwards Deming dans les 1950. Son application basée sur

l'amélioration continue des performances peut servir de base à la mise en œuvre d'un système pérenne de gestion des émissions de gaz à effet de serre du chantier.

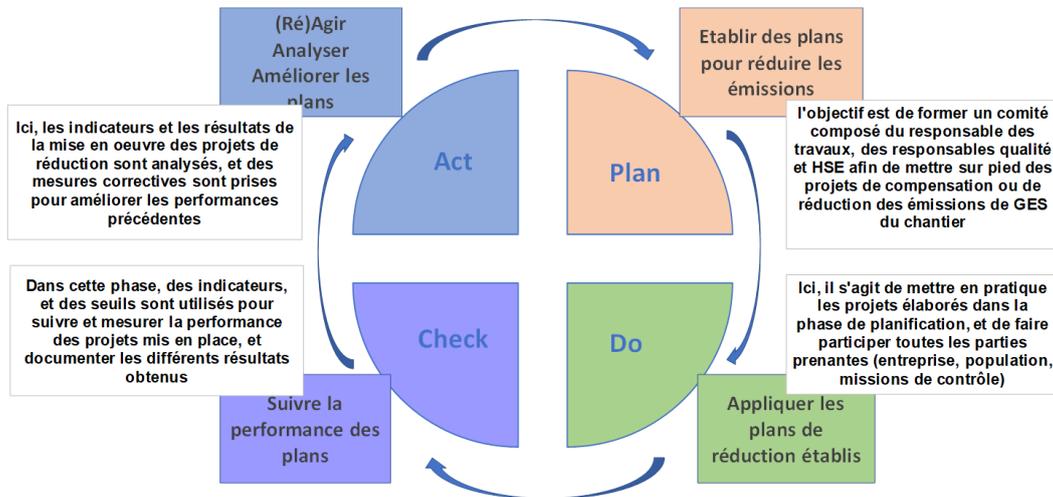


Figure 18 : Roue de Deming

Il s'agit de reproduire continuellement 4 étapes pour mener des actions. Elle est un des piliers des démarches Qualité et un des éléments de base de l'amélioration continue. C'est une méthode très répandue pour initier le personnel des organisations aux outils de la démarche qualité.

### 3.1.1 Plan (planifier)

Il s'agira dans le cas présent de décider quoi faire pour émettre moins, à un coût raisonnable. A cette étape, tous les acteurs majeurs (responsables à divers niveaux) du chantier doivent être conviés à émettre des idées de projet à caractère écologique, choisir les responsables de ces projets, leur attribuer chacun son rôle, tout en partageant le bien-fondé de la démarche. La problématique doit être discutée et des objectifs clairs et précis doivent être définis, accompagnés d'indicateurs, pour mesurer leur niveau d'atteinte. Chaque activité doit être décrite par une procédure.

### 3.1.2 Do (faire)

Il s'agit ici de mettre en place des actions concrètes, dont les résultats peuvent être mesurés pour faciliter la vérification de leur efficacité. Les projets montés pendant l'étape de planification doivent être réalisés dans le respect des procédures et chaque non-conformité doit être enregistrée et remontée vers les responsables du comité de gestion des GES.

Un exemple de projet (mis en place durant l'étude) est la valorisation des emballages de ciment, en briquettes combustibles, qui ont remplacé le bois pour les besoins de cuisine sur le chantier et dans certains ménages alentours. Bien que la quantité d'émission évitée soit difficile à estimer, c'est un projet d'atténuation en ce que l'effet du carbone émis par ces briquettes est moins important, et peut être mieux contrôlé que celui causé par la déforestation et la combustion du bois (le bois étant la première source d'énergie pour la cuisine, dans les ménages de cette zone d'après les enquêtes réalisées). Les briquettes obtenues et de l'essai de combustion sont présentés ci-après en images (Figure 19). Les matériaux utilisés sont généralement disponibles sur ce type de chantier et sont donc facilement accessibles, en utilisant des avaries, ou des débris des différents ateliers (menuiserie, soudure et maçonnerie).



*Figure 19 : Briquettes combustibles issues de la valorisation des emballages de ciment et de la sciure de bois*

A titre de projet de compensation, nous avons également proposé le reboisement. Cela consisterait à planter des arbres selon les paramètres récapitulés dans le tableau (Tableau X) suivant :

**Table X :** Détermination du nombre d'arbre à planter afin de compenser les émissions du chantier sur la durée étudiée (Céréma, 2018)

Type	Exemple	Durée de rotation (année)	Potentiel de stockage (tCO <sub>2</sub> eq)	Densité (arbre/ha/an)	Stockage sur la durée de rotation (tCO <sub>2</sub> eq)	Stockage final (tCO <sub>2</sub> eq)	Emissions du projet	Surface à reboiser (ha)	Nombre d'arbre à planter
Croissance lente	-	50	1,5	50	37,5	75	647,66	8,64	431,77
Croissance rapide	Eucalyptus	11,00	2	50	11	30		21,59	1079,43

Ainsi, il faudra reboiser une surface de 21,59 hectares (pour des arbres à croissance rapide comme l'eucalyptus) ou 8,64 hectares (arbres à croissance rapide) à raison de 50 arbres par hectare pour compenser les émissions calculées du chantier. Cela peut se faire sur un site unique, mais la surface à reboiser peut-être répartie dans plusieurs localités, voir d'autres villes que celles du projet. 1 pieds d'eucalyptus coûte environ 150 FCFA au Bénin, pour les 1080 à planter, il faudra environ 162 000 FCFA.

### 3.1.3 Check (vérifier)

Il s'agit ici de s'appuyer sur des indicateurs, sur les retours d'expérience pour vérifier l'atteinte des résultats, les succès et les échecs des projets mis en place. Vérifier périodiquement si les actions menées ont abouti à une baisse des émissions du chantier, dans quelles proportions, et comprendre pourquoi certaines mesures d'atténuation n'ont pas été efficaces. L'outil de comptabilisation des émissions de GES du chantier a été conçu à cet effet. Des indicateurs pertinents peuvent être le ratio de consommation des engins, le nombre d'arbre planté sur une période donnée, la proportion (ou quantité) de déchets valorisés, ou le taux de d'émissions évitées par rapport au mois précédent.

### 3.1.4 Act

A cette étape, des mesures sont prises pour améliorer les résultats, les procédures établies lors de la phase de planification sont mises à jour en tenant compte des expériences passées et une nouvelle phase de planification peut commencer. C'est durant cette étape que des ratios (consommation en litre par heure des différents engins et véhicules de chantier, quantité moyenne périodique de déchets produite par groupe d'activité, etc.) doivent être mis en place et suivis en se basant sur les retours d'expériences. Il peut s'agir de se fixer des objectifs plus haut, ou plus pertinents, de corriger les mesures inefficaces etc.

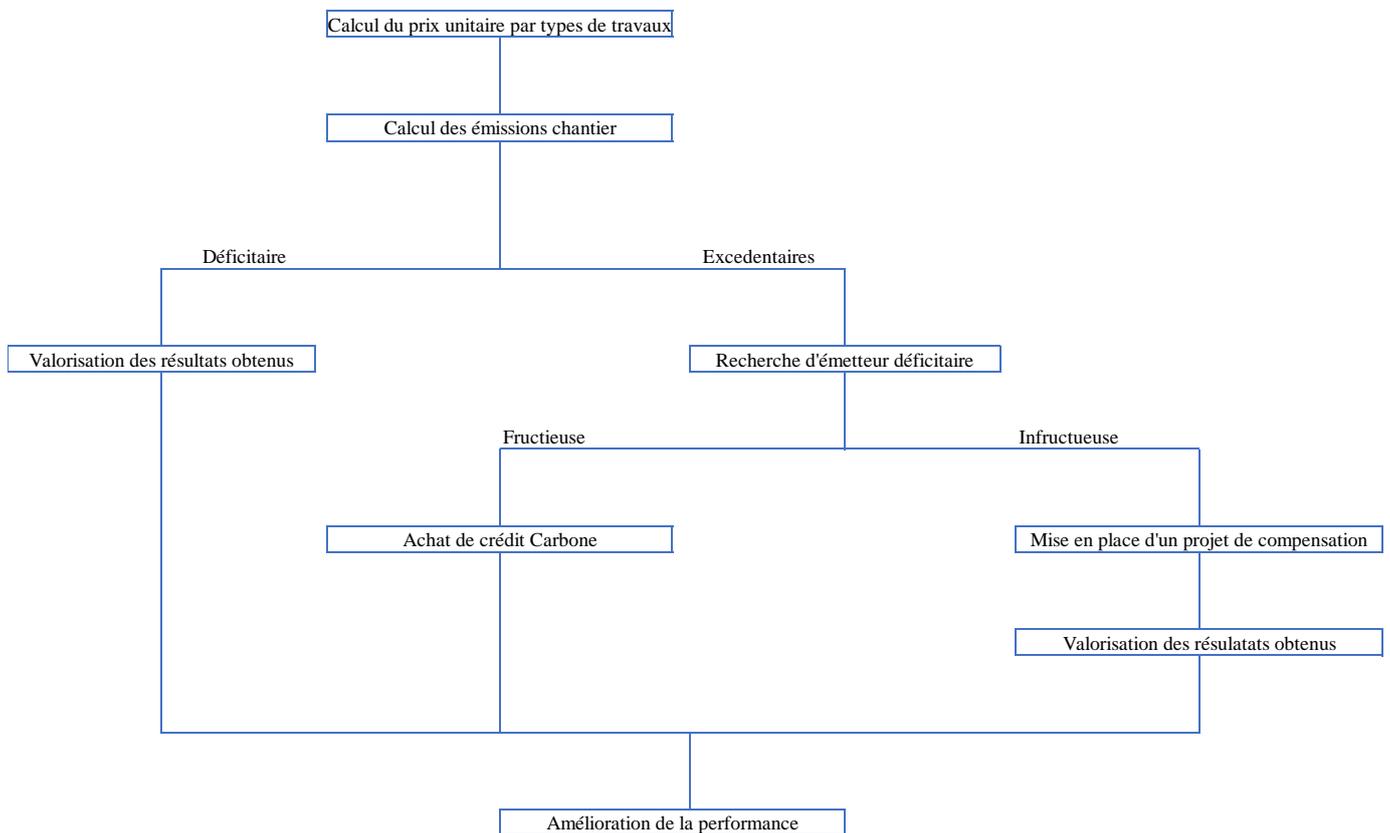
## **3.2 Marché carbone**

L'entreprise peut fixer un seuil d'émission unitaire (kgCO<sub>2</sub>eq/FCFA) de GES par type de travaux, sur ses chantiers, c'est-à-dire, fixer après une pré-estimation en phase d'étude des émissions d'un chantier, un seuil à ne pas dépasser, et définir un prix pour l'excédent d'émission. Par exemple le prix de la tonne de carbone varie actuellement autour de 50 euros (environ 33000 Fcfa) sur le marché européen (Gollier, 2019).

Chaque semestre, à l'issue du bilan des émissions des chantiers, ceux dont le ratio émissions/avancement financier dépasserait le seuil fixé, se verraient obligés d'acheter des crédits d'émission à d'autres chantiers, ou de mettre en place un projet de puits de carbone, ou d'évitement des émissions tel que présenté dans le logigramme ci-dessous (Figure 20). La somme due peut aussi être reversée dans une « caisse carbone » au niveau du département QHSE de l'entreprise et être utilisée périodiquement pour des projets de plus grande ampleur.

Une fois le processus maîtrisé à l'interne, l'entreprise pourra s'affirmer sur le marché international du carbone et revendre les crédits générés à d'autres structures.

Une autre forme de valorisation consiste à affirmer le positionnement climatique de l'entreprise dans la politique environnementale ou la politique RSE et communiquer des rapports de performances sur les sites web, dans des newsletters etc.



**Figure 20:** Logigramme de compensation des émissions excédentaires de GES

## **V- Conclusion et recommandations**

La présente étude a consisté à estimer les émissions de gaz à effet de serre du projet « AEP Adjarra », et proposer un outil de calcul des émissions pour le suivi jusqu'à terme des travaux. Ainsi, après avoir déterminé les postes essentiels d'émissions à considérer il en est ressorti que ces émissions s'élèvent à 647,66 tonnes d'équivalent carbone avec une incertitude de 20 %.

Les activités directement liées à l'activité de l'entreprise représentent moins de 12 % de ce montant, dont les émissions liées à la consommation en carburant des véhicules de transport, et des engins de chantier représente la plus grande partie (79,4 %)

Le poste le plus émetteur s'est révélé être celui des matériaux de construction, (principalement le ciment et l'acier), source de 53,5 % du total des émissions du périmètre retenu pour l'étude. L'installation des locaux du chantier est responsable quant à elle de 26 %, plus du quart des émissions du chantier (en considérant l'hypothèse selon laquelle les émissions de fabrication des containers métalliques utilisés sont attribuées en totalité à ce chantier). Elle représente avec les émissions dues à la combustion mobile, les postes prioritaires sur lesquels il faudra agir rapidement pour réduire significativement l'empreinte carbone du chantier.

Cependant les efforts ne doivent pas non plus être ménagés sur les autres postes d'émission, comme l'énergie (groupe électrogène), la consommation des fournitures de bureau et la gestion des déchets. Ces sources ne représentent pas la majorité des émissions, mais des économies mêmes mineures peuvent y être réalisées. Cela, en attendant que des innovations dans le domaine des matériaux de construction puissent permettre de faire de grands bonds en direction d'une neutralité carbone des chantiers.

L'entreprise doit donc continuellement améliorer ses pratiques et ses performances en matière d'économies d'énergie et de ressources en insérant toujours les considérations d'ordre environnemental dans sa politique et dans l'exécution des travaux qui lui sont confiés.

Enfin, l'incertitude qui accompagne l'estimation réalisée, est relativement élevée. Mais, cela permet de savoir sur quels postes d'émissions il y'a lieu de développer des techniques de mesures plus fiables, et même de déterminer des facteurs d'émissions plus spécifiques et précis, pour rendre l'outil de calcul plus fiable.

La prochaine étape qui peut être envisagée, est d'étendre le calcul des émissions à tous les chantiers de l'entreprise afin d'avoir une idée réelle des émissions de gaz à effet de serre de

SOGEA-SATOM Bénin et de pouvoir les comparer à celles des entreprises du même domaine d'activité, et de la même envergure. Cela lui permettrait de se positionner dans la grande panoplie d'entreprises de bâtiments et travaux publics présents au Bénin, (fort ou faible émetteur), de se fixer des objectifs réalistes à atteindre en termes de réduction des émissions, et d'apprendre des méthodes des autres entreprises dans le cas où ces autres entreprises seraient plus performantes.

## Bibliographie

Al Hamndou, D. (2008) 'Variabilité climatique, désertification et biodiversité en Afrique : s'adapter, une approche intégrée', *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Volume 8 Numéro 1). doi: 10.4000/vertigo.5356.

Baruch, J. O. (2007) 'Can we bury the greenhouse effect; Peut-on enterrer l'effet de serre', *Recherche (Paris)*. Available at: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20874615> (Accessed: 29 December 2020).

Bazin, F. (2010) 'Contribution de l'agriculture africaine au changement climatique et potentiel d'atténuation', p. 3.

Chemla, T. (2011) 'Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur les incertitudes des Bilans Carbone© sans avoir jamais osé le demander', p. 3.

Dilley, M. (2005) *Natural Disaster Hotspots*. The World Bank (Disaster Risk Management). doi: 10.1596/0-8213-5930-4.

Djenontin, S. N. I. (2010) *Vulnérabilité des ressources en eau face aux changements climatiques et stratégies endogènes de gestion développées dans le secteur agricole : cas des communes de Banikoara et Malanville (Bénin)*. Thesis. Département d'économie et sociologie rurales, Université de Parakou. Available at: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/handle/10625/45795> (Accessed: 5 January 2021).

Gnanglè, C. P. et al. (2011) 'Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin', *Climatologie*, (Volume 8), p. 27. doi: 10.4267/climatologie.259.

Gollier, C. (2019) 'Le prix du risque climatique et le prix du carbone', *Revue d'économie financière*, N° 133(1), pp. 171–182.

IPCC (1992) *Changement climatique: les évaluations du GIEC de 1990 et 1992 : premier rapport d'évaluation du GIEC : aperçu général et résumés destinés aux décideurs et supplément 1992 du GIEC*. Lieu de publication non identifié: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

IPCC (2018) *Glossary — Global Warming of 1.5 °C*. Available at: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/> (Accessed: 4 January 2021).

Leichenko, R. and Silva, J. A. (2014) 'Climate change and poverty: vulnerability, impacts, and alleviation strategies', *WIREs Climate Change*, 5(4), pp. 539–556. doi: <https://doi.org/10.1002/wcc.287>.

Matthews et al. (2009) *Future climate forcing potentially without precedent in the last 420 million years* / *Nature Communications*. Available at: <https://www.nature.com/articles/ncomms14845> (Accessed: 28 December 2020).

MCVDD (2019) 'Troisième Communication Nationale du Bénin sur les Changements Climatiques'.

MEHU (2001) 'Communication Nationale Initiale du Bénin sur les Changements Climatiques', p. 94.

MEHU (2011) 'Deuxième communication nationale du Bénin sur les changements climatiques'.

Miyan, M. A. (2015) 'Droughts in Asian Least Developed Countries: Vulnerability and sustainability', *Weather and Climate Extremes*, 7, pp. 8–23. doi: 10.1016/j.wace.2014.06.003.

N'diaye, B. F. (2015) *Changements Climatiques et dynamique des systèmes de production agricole dans le cercle de Banamba, région de Koulikoro au Mali*. Theses. Université des sciences sociales et de gestion de Bamako. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01294783> (Accessed: 5 January 2021).

Parrenin, F. and Vargas, É. (2020) 'Biodiversité et changement climatique : entre discours du spécialiste et discours vulgarisé', *Les Carnets du Cediscor. Publication du Centre de recherches sur la didacticité des discours ordinaires*, (15), pp. 33–46. doi: 10.4000/cediscor.2817.

Salack, S. *et al.* (2016) 'Global warming induced hybrid rainy seasons in the Sahel', *Environmental Research Letters*, 11(10), p. 104008. doi: 10.1088/1748-9326/11/10/104008.

Sciama, Y. (2005) *Développement durable : avènements incertains*. Paris: Dunod (Quai des Sciences). Available at: <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010034331> (Accessed: 29 December 2020).

Shiferaw, B. *et al.* (2014) 'Managing vulnerability to drought and enhancing livelihood resilience in sub-Saharan Africa: Technological, institutional and policy options', *Weather and Climate Extremes*, 3, pp. 67–79. doi: 10.1016/j.wace.2014.04.004.

Vissoh, P. V. *et al.* (2012) 'Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements climatiques : le cas des communes d'Adjohoun et de Dangbo au Sud-Est Bénin', *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 65(260), pp. 479–492.

## VI- Annexes

### VI-1 Liste des facteurs d'émission

Dénomination	FE	Unité	Source	Incertitude
Transport routier	<b>0.25</b>	KgCO2eq/km	Base carbone V18.2	5
Gasoil routier	<b>3.17</b>	KgCO2eq/litre	Base carbone V18.2	5
Gasoil non routier	<b>3.17</b>	KgCO2eq/litre	Base carbone V18.2	10
Gaz Butane (combustion)	<b>3.02</b>	KgCO2eq/kg	Base carbone V18.2	5
Climatisation automobile (0.52 kg)	<b>5%</b>	KgCO2eq/kg de fluide	Base carbone V18.2	50
Réfrigérant R22	<b>1810</b>	KgCO2eq/kg	Base carbone V18.2	50
Réfrigérant R134a	<b>1430</b>	KgCO2eq/kg	Base carbone V18.2	50
Electricité (Bénin)	<b>0.72</b>	KgCO2eq/KWh	Base carbone V18.2	50
Fret maritime	<b>624,36</b>	KgCO2eq/	Base carbone V18.3	20
Ciment (CEM II)	<b>709</b>	KgCO2eq/t	ATILH 2011	20
Gravier	<b>2.5</b>	KgCO2eq/t	ACV UNIVEM 2009	25
Sable	<b>2.41</b>	KgCO2eq/t	Ecoivent V2.2	25
Acier armature	<b>768</b>	KgCO2eq/t	Ecoivent V2.2	25
Acier	<b>2145</b>	KgCO2eq/t	Ecoivent V2.2	10
PVC	<b>1 723</b>	KgCO2eq/t	Base carbone V18.2	20
PEHD	<b>1 920</b>	KgCO2eq/t	Base carbone V18.2	20
Bitume	<b>275</b>	KgCO2eq/	Eurobitume	25
Papier	<b>1 300</b>	KgCO2eq/	Base carbone V18.2	20
Carton	<b>1063</b>	KgCO2eq/	Base carbone V18.3	20
Transport routier camion	<b>0,078</b>	KgCO2eq/T.km	CO2NCERNED, VINCI	
Petit outillage < 5t	<b>917</b>	KgCO2eq/unité	Canalisateurs de France	60
Matériel [0.5 - 5t]	<b>9 170</b>	KgCO2eq/ unité	Canalisateurs de France	60
Petits engins [5 - 10t]	<b>27 500</b>	KgCO2eq/ unité	Canalisateurs de France	60
Gros engins [10 - 30t]	<b>73 300</b>	KgCO2eq/ unité	Canalisateurs de France	60
Très gros engins > 30t	<b>147 000</b>	KgCO2eq/ unité	Canalisateurs de France	60
Fer Blanc recyclé (container)	<b>1100</b>	KgCO2eq/t	Base carbone V18.2	10
Déchets ménager (décharge sans valorisation)	<b>1.17</b>	KgCO2eq/Kg	Base carbone V18.4	30
Ordinateur Fixe (écran plat)	<b>1289</b>	KgCO2eq/unité	Base carbone V18.5	50
Ordinateur portable (14.1 pouces)	<b>202</b>	KgCO2eq/unité	Base carbone V18.6	50
1 Courrier électronique	<b>0.004</b>	KgCO2eq/unité	Base carbone V18.2	100
1 Courrier électronique (avec pièce jointe)	<b>0.035</b>	KgCO2eq/unité	Base carbone V18.2	100
Fret Bateau	<b>0.01</b>	KgCO2eq/tkm	Base carbone V18.2	60
Un isolant en polystyrène	<b>2.3</b>	KgCO2e/Kg	Base carbone V18.3	20
contreplaqué d'épaisseur	<b>3.6</b>	KgCO2e/T	Base carbone V18.3	20
Chaise en bois	<b>18.6</b>	KgCO2e/U	Base carbone V18.3	10
Table en bois	<b>80.2</b>	KgCO2e/U	Base carbone V18.3	20
Câble électrique	<b>0.38</b>	KgCO2e/m	Base carbone V18.3	5
revêtement mur peinture	<b>19.10</b>	KgCO2eq/m2	Base carbone V18.3	10
Traitement des eaux usées	<b>0,3</b>	kgCH4/kg de DBO	Giec, Lignes directrices 2006	10

## VI-2 Liste des données d'activité et incertitudes associées

### 2.1 Combustion fixe

Désignation	Quantité	FE	Incertitude	KgCO2eq
GRUPE ELECTROGENE	3080	3,17	0,05	9763,60
POSTE DE SOUDURE	674	3,17	0,05	2136,58

### 2.2 Combustion mobile

Désignation	Quantité	FE	Incertitude	KgCO2eq
PICK-UP 4X4 - D. CAB (DT)	2536,34	3,17	0,05	8040,20
PICK-UP 4X4 - D. CAB (QHSE/LABO)	1819,34	3,17	0,05	5767,31
PICK-UP 4X4 - D. CAB (CANA/TOPO)	2001,4	3,17	0,05	6344,44
PICK-UP 4X4 - D. CAB (GC)	2023	3,17	0,05	6412,91
PICK-UP 4X4 - D. CAB (ADMIN)	1933,31	3,17	0,05	6128,59

Désignation	Quantité	FE	Incertitude	KgCO2eq
CAMION 12T 4X2 - HIAB 15 T.M.	6929	3,17	0,05	21964,93
CAMION 12/14 M3 6x4 30KMH	812	3,17	0,05	2574,04
TRACTEUR 6x4	432	3,17	0,05	1369,44
BETONNIERE DIESEL 750 L	136	3,17	0,05	431,12
BETONNIERE DIESEL 750 L	130	3,17	0,05	412,10
BETONNIERE 3	22	3,17	0,05	69,74
BETONNIERE DIESEL 750 L	1225	3,17	0,05	3883,25
COMPACTEUR BOMAG 1	2	3,17	0,05	6,34
COMPACTEUR BOMAG 2	8	3,17	0,05	25,36
CHARIOT MANUSCOPIQUE 3T - 7M	884	3,17	0,05	2802,28
PILONNEUSE BOMAG BT65	0	3,17	0,05	0,00
PILONNEUSE BOMAG	0	3,17	0,05	0,00
MANITOU MT 738	501	3,17	0,05	1588,17
COMPACTEUR DYNAPAC CA 5500D	16	3,17	0,05	50,72

### 2.3 Emissions fugitives

Désignation	Quantité	FE	Incertitude	KgCO2eq
Véhicules Pick UP 4x4 (R134a 0,52Kg 0,5%)	5	1430	0,3	620,53
Réfrigérateurs (R134a 0,25Kg 0,5%)	3	1430	0,3	179,00
Climateurs (R22 1,2Kg 0,5%)	13	1810	0,3	4711,20
Réfrigérateurs (R600a 0,21Kg 0,5%)	1	2235	0,3	78,30
Réfrigérateurs (R134a 0,52 Kg 0,5%)	1	1430	0,3	124,11

## 2.4 Transport

Désignation	Quantité	FE	Incertitude	KgCO2eq
TUYAUX PVC	38,89	0,078	0,05	2639,00754
TUYAUX PEHD	24,86	0,078	0,05	1686,86388
GRILLAGE AVERTISSEUR	0,27	0,078	0,05	18,59364

Désignation	Quantité	FE	Incertitude	KgCO2eq
< 5	38	0,25	0,2	2850
[5 - 10]	21	0,25	0,2	2520
[10 - 15]	8	0,25	0,2	1560

## 2.5 Produits utilisés

Désignation	Quantité	FE	Incertitude	KgCO2eq
Container Bureau	11	10028	0,40	110302,83
Container 20P magasin	3	7337	0,40	22011
Container 40P magasin	3	11963	0,40	35887,5
Salle de réunion	1	1500	0,40	1500

Section	Source	Moyenne journalière		Facteur d'émission kgCO2e/courrier		Incertitude	KgCO2eq
		Avec PJ	Sans PJ	Avec	Sans		
Bureau d'étude	Déssinateur	14	6	0,035	0,004	40,00%	2,67
	Chef Topo	18	8				3,54
	Hydraulicien	21	7				3,28
	Etudes GC	19	12				5,03
Travaux GC	Directeur travaux	27	17				7,13
	Conducteur des travaux	13	4				1,91
	Chef chantier 1	3	2				0,83
	Chefs chantier 2	4	2				0,87
Canalisations	Conducteur des travaux	18	11				4,63
	Chef chantier	8	4				1,74
Service générau	Relais RH	11	5				2,21
	Secrétariat	13	12				4,82
	Logistique	21	7				3,28
	Cost contrôle	18	4				2,09
QHSE	Responsable HSE	9	3				8,04
Laboratoire	Responsable laboratoire	11	8				0,00

*Evaluation des émissions de gaz à effet de serre du projet de renforcement du système d'alimentation en eau potable de la ville d'Adjarra, et conception d'un outil de calcul*

Catégorie	Matériel	Durée de vie estimée (année)	Durée d'utilisation	Impact sur la durée de vie (KgCO2e/unité)	Facteur d'émission KgCO2e/unité
Petit outillage < 0,5t	CISAILLE	43800	5080,8	917	106,372
	CINTREUSE		5080,8		106,372
	TRONCONNEUSE		700,8		14,672
	MACHINE A SOUDER DELTA JUSQU'À 250MM		8760		183,4
	MACHINE A SOUDER DELTA JUSQU'À 355MM		8760		183,4
Matériel [0,5t - 5t]	COMP. ROUL. VIB. BOMAG BW 75 S	5	13	9170	23842
	BETONNIERE DIESEL 750 L		23		42182
	BETONNIERE DIESEL 750 L		39		71526
Petits engins [5t - 10t]	BETONNIERE DIESEL 750 L	10	4	27500	7336
	AUTOBETONNIERE		0,08		220
Gros engins [10t - 30t]	NIVELEUSE 140 H	10	0,17	73300	1246,1
	PELLE S/PNEUS CAT M320D2		0,5		3665
	CAMION 12/14 M3 6x4 30KMH		1		7330
	CAMION MIXTE ENT.CARB. 4x4		1		7330
Très gros engins > 30t	CAMION 12T 4X2 - HIAB 15 T.M.	10	2890,8	147000	21189564
	GRUE MOBILE PPM A 600 - LENT 4X4		700,8		10301760
	REMORQUE PORTE ENGIN 50/70 T - 3 ESSIEUX		700,8		1176

Désignation	Quantité	FE	Incertitude	KgCO2eq
CIMENT	220,25	709	0,05	156157,25
SABLE	857,00	2,41	0,05	3304,59
GRAVIER	595,26	2,5	0,05	1488,15
HA 6	16628,69	0,768	0,05	12770,83
HA 8	14291,10	0,768	0,05	10975,56
HA 10	25114,37	0,768	0,05	19287,83
HA 12	24775,20	0,768	0,05	19027,35
HA 14	7187,40	0,768	0,05	5519,92
HA 16	1971,84	0,768	0,05	1514,37
HA 20	1956,24	0,768	0,05	1502,39
PVC	38889,00	1,723	0,05	67005,75
PEHD	24858,00	1,92	0,05	47727,36
Papier	162,50	1,3	0,05	211,25
cartouche d'encreEncre	5281,25	0,042	0,05	221,81
pointes	557,00	2,145	0,05	1194,77
feuilles de toles	970,00	2,145	0,05	20806,50
fil de fer	205,00	2,145	0,05	439,73
marteau (2Kg)	12,00	2,145	0,05	25,74
bois d'œuvre	40,00	36,7	0,05	1614,80

## 2.6 Décomposition du ratio établi pour les bungalows de chantier

Composition d'un bungalow	Dimensions	Qté par bungalow	Facteur d'émission	Emissions KgCO <sub>2</sub> e
Container métallique maritime (20 pieds)	2,3T	1	3190 kgCO <sub>2</sub> e/t	7337
Un isolant en polystyrène d'épaisseur 25 millimètres recouvrant les quatre côtés du container 66.7 m <sup>2</sup>	58.36 Kg	1	2.3 kgCO <sub>2</sub> e/kg	134.24
Contreplaqué d'épaisseur 10 millimètres couvrant une surface de 66.7 m <sup>2</sup>	300.15Kg	1	3.6 kgCO <sub>2</sub> e/t	1080.54
Chaise en bois	Unité	2	18.6 kgCO <sub>2</sub> e/u	37.2
Table en bois	Unité	2	80.2 kgCO <sub>2</sub> e/u	160.4
Câble électrique	11m	1	0.38 kgCO <sub>2</sub> e/m	4.18
Revêtement sur mur (66.7 m <sup>2</sup> )	66.7 m <sup>2</sup>	1	19.10 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1273.97
Facteur d'émission unitaire pour bungalow	Unité	1	-	10027.53
Container maritime (40Pieds, magasin)	3.75t	1	3190 kgCO <sub>2</sub> e/t	

### VI-3 Feuilles de calcul de l'outil

#### 3.1 Feuille Matériaux et Fournitures

[- MATERIAUX-FOURNITURES -]						
RECAPITULATIF						
<b>MATERIAUX</b>						
N° III.1	DESIGNATION	APPROVISIONNEMENT EN MATERIAU DU MOIS DE :	INCERTITUDE	Facteur d'émission	EMISSIONS DE CO2	KgCO2e
	Total		157344	5%		346281,37
<b>FOURNITURES BUREAU</b>						
N° III.2	DESIGNATION	Article achetés au mois de	INCERTITUDE	Facteur d'émission kgCO2e/Kg	EMISSIONS DE CO2	KgCO2e
	Total		163	5%		306,80
<b>CONSOMMABLES DE CHANTIER</b>						
N° III.3	Véhicule	Article acheté au mois de	INCERTITUDE	Facteur d'émission	EMISSIONS DE CO2	KgCO2e
	Total		1784	5%		24081,53
<p><b>Commentaire</b></p> <p>1) pour les aciers, la donnée d'activité est disponible en barres d'acier, le nombre de barres a été multiplié par le poids de la barres d'acier correspondant (HA 6, HA 8, etc.)                  Pour le sable nous avons utilisé une masse volumique de 1,6t/m3, par défaut,                  2) pour la papier, 5 paquets de 500 feuilles chacun (marque navigator), le poids de l'article (site de vente en ligne) est de 12,5Kg (carton d'emballage non compris), les cartouches d'encre emettent 0,042KgCO2e/100 feuilles A4, donc (250*0,042KgCO2e) par paquet,                  3) pour le bois d'œuvre, nous disposons du volume de bois livré, mais d'un facteur d'émission en KgCO2e/tonne. La masse volumique du madrier a donc été prise = 1100Kg/m3 pour la conversion,</p>						<b>TOTAL EMISSIONS</b>
						<b>370669,70 KgCO2e</b>

### 3.2 Feuille Amortissement et Services

[- AMORTISSEMENT-SERVICES -]

**RECAPITULATIF**

AMORTISSEMENT DU MATERIEL									
N° V.1	TYPE D'ENGIN	DESIGNATION	DUREE DE VIE ESTIMEE	EMISSION SUR LA DUREE DE VIE	NOMBRE D'HEURE DE TRAVAIL PENDANT LE MOIS DE :	TOTAL	Emission CO2	Emission CO2	EMISSIONS SUR DUREE D'UTILISATION
							5,88		588,72

GESTION DES DECHETS									
N° V.2	Classes de déchets	Quantité moyenne mensuelle Kg	Fonction mensuelle	Age de stockage en mois	Quantité globale	Type de traitement	Emission CO2	Emission CO2	Emission CO2
	Déchets Ménagers et assimilés	145	4	3	435	Décharge	48X	1,17	510,24
	Déchets Dangereux (Infectieux et autres)	-	-	-	-	Incinération	48X	1,35	1,35
	Déchets inertes	-	-	-	-	Stabilisation		1,00	1,00
	<b>Extrants</b>	<b>Type d'élimination</b>	<b>Charge organique KgDDO5/MLJ2</b>	<b>Nombre d'utilisations</b>	<b>Charge organique journalière</b>	<b>Emission CO2</b>	<b>Facteur d'émission KgCH4/Eq DBO</b>	<b>Emission CO2</b>	<b>Emission CO2</b>
	Fosse septique Extérieure	Pail d'incinération	1,00	23	23,00	48X	1,20	1158,24	
	Fosse septique Compagne	Pail d'incinération	1,00	100	100,00	48X	1,20	4514,40	
	<b>Total</b>					48X		5582,42	

ENVOI/RECEPTION DE MAIL						EMISSIONS DE CO2	Quantité de Charbon
N° V.3	Source correspond	Nombre journalier de réception de mails reçu au bureau	Facteur d'émission KgCO2/litre	Emission CO2	Emission CO2	Emission CO2	Nombre de jours
					48X	55,38	

Commentaire

1) Les Fosse septique fonction principal de CH4, le PRG de CH4 est de 38

2) pour l'amélioration de mail, les autres incinération dans le volume de déchets organiques au total depuis le mois de juin

**TOTAL EMISSIONS**  
**18438,32 KgCO2**

### 3.3 Feuille Transport

[- TRANSPORT -]

RECAPITULATIF

TRANSPORT DU PERSONNEL DE L'ENCADREMENT															EMISSIONS DE CO2				
N° IL.1	Nom Poste	Véhicule	CONSUMATION EN CARBURANT (LITRES) DE MOIS DE :												TOTAL	INCERTITUDE	Facteur Emission kgCO2e/litre	kgCO2e	
			JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI					JUIN
1	E10284	PICK-UP 4X4 - D. CAB (DT)	239	475	332	555,34	383	432								2536	5%		154,83
2	E10287	PICK-UP 4X4 - D. CAB (MATE/LABO)	74	338	435	342,34	346	432								1810	5%		454,84
3	E10294	PICK-UP 4X4 - D. CAB (CARRI/TOP-O)	8	287	487	442	457,4	488								2881,4	5%		388,25
4	E10282	PICK-UP 4X4 - D. CAB (GCC)	224	474	412	481	383	286								2820	5%	0,25	335,75
5	E10853	PICK-UP 4X4 - D. CAB (ADMIM)	8	81	444	620,31	585	274								1930,31	5%		483,23
6																8	5%		0,18
7																8	5%		0,18
Total															18510	5%		2578,35	

TRANSPORT DES COMPAGNONS				EMISSIONS DE CO2				
N° IL.2	Distance Dominile-Chantier (Km)	NOMBRE D'ENGIN RESENE DANS LA CATEGORIE AU MOIS DE :		TOTAL	INCERTITUDE	Facteur Emission kgCO2e/Km	kgCO2e	
					228	28%		3738,18
Total								

TRANSPORTS ENGIN					EMISSIONS DE CO2				
N° IL.3	Nom Poste	Véhicule	CONSUMATION EN CARBURANT (LITRES) DE MOIS DE :		TOTAL	INCERTITUDE	Facteur Emission kgCO2e/litre	kgCO2e	
						1487	5%		2774,25
Total									

COMMANDES EQUIPEMENTS				EMISSIONS DE CO2		
			1	47%		4922,88
Total						

Commentaire	1				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>TOTAL CONSUMATION (INTERNE)</th> <th>TOTAL EMISSIONS</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">24628 LITRES</td> <td style="text-align: center;">18765,48 kgCO2e</td> </tr> </table>		TOTAL CONSUMATION (INTERNE)	TOTAL EMISSIONS	24628 LITRES	18765,48 kgCO2e
TOTAL CONSUMATION (INTERNE)	TOTAL EMISSIONS				
24628 LITRES	18765,48 kgCO2e				

### 3.4 Feuille Installation de chantier

[- INSTALLATION DE CHANTIER -]

ATELIERS ET HANGARS					
N°1.1	Désignation	Surface	FE	Incertitude	émissions
1	Atelier de coffrage				0
2	Atelier de ferrailage				0
3	Atelier de la mécanique				0
4	Atelier du labo géotech				0
5	Aires de Préfabrication				0
6	Atelier de soudure				0
7	Aires de repos				0
0					

BUNGALOWS DE CHANTIER					
N°1.2	Désignation	Quantité	FE	Incertitude	émissions
1	Container Bureau	11	10027,53	40%	110302,83
2	Container 20P magasin	3	7337	40%	22011
3	Container 40P magasin	3	11962,5	40%	35887,5
4	Salle de réunion	1	1500	40%	1500
5					0
6					0
7					0
				40%	169701,33

VOIRIES TERRASSEMENTS					
N°1.3	Désignation	Surface	FE	Incertitude	émissions
1	Voirie lourde				0
2	Voirie légère				0
3					0
4					0
5					0
6					0
7					0
0					

**RECAPITULATIF**

**Commentaire**

1) le facteur d'émission pour les bungalows de chantier a partir des différents constituants standards d'un bungalow (container en métal, isolation, meubles, cables électriques, etc.)  
 2) dans cette édition de l'outil, les émissions des ateliers et hangars seront pris en compte dans d'autres postes (bois d'oeuvre, tôle, matériaux de construction), il sera possible ultérieurement de former des ratios permettant d'estimer les émissions de la construction d'un atelier, par mètre carré aménagé,  
 3) aucune voirie aménagée sur le chantier à prendre en compte dans l'installation, mais cette source peut intervenir à un moment ou un autre,

**TOTAL DES EMISSIONS**

169701,33 Kg CO<sub>2</sub>e

### 3.5 Feuille Energie et Emissions fugitives

[- ENERGIE-EM FUGITIVES-]

RECAPITULATIF

ENERGIE G-E																EMISSIONS DE CO2		
N° IV.1	GROUPE ELECTROGENE	CONSUMMATION EN CARBURANT (LITRES) DU GE AU MOIS DE :														Incertitude	Facteur d'émission K <sub>g</sub> CO <sub>2</sub> /litre	K <sub>g</sub> CO <sub>2</sub>
		JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	TOTAL			
J00152	GROUPE ELECTROGENE	0	0	0	460	1200	1420								3080	0,05	0,25	770,00
J20010	POSTE DE SOUDURE	0	0	226	91	148	109								674	0,05		168,50
															0	0,05		0,00
															0	0,05		0,00
															0	0,05		0,00
															0	0,05		0,00
															0	0,05		0,00
Total															3754	0,05		938,50

ELECTRICITE (SBEE)										EMISSIONS DE CO2		
N° IV.2	CONSUMMATION ELECTRIQUE (KWh) DURANT LE MOIS DE :									Incertitude	Facteur d'émission K <sub>g</sub> CO <sub>2</sub> /Kwh	K <sub>g</sub> CO <sub>2</sub>
Total												0,00

EMISSIONS FUGITIVES						EMISSIONS DE CO2		
N° IV.3	Source recomber	Type de réfrigérant	poids de gaz (kg)	Taux de fuite annuel (%)	Nbre d'unité	Incertitude (%)	Facteur d'émission K <sub>g</sub> CO <sub>2</sub> /litre	K <sub>g</sub> CO <sub>2</sub>
	Réfrigérateurs R124a 0,25 K <sub>g</sub>	R124a	0,25	0,5	3,00	30%	1430	537,00
	Climatiseurs R22	R22	1,2	0,5	13,00	30%	1810	14133,60
	Réfrigérateurs R600a	R600a	0,21	0,5	1,00	30%	2235	234,89
	Réfrigérateurs R124a 0,52 K <sub>g</sub>	R124a	0,52	0,5	1,00	30%	1430	372,32
Total						30%		17139,41

Commentaire

TOTAL CONSOMMATION (GE)	TOTAL CONSOMMATION (SBEE)	TOTAL EMISSIONS
3754 LITRES	0 KWh	18977,91 K <sub>g</sub> CO <sub>2</sub>