

Etude Comparative Des Facteurs D'émission En Gaz A Effet De Serre Des Produits De Terre Cuite Artisanaux Et Semi-Industriels

M.P. Randrianarison, N. Randrianandrasana, A. Tsioritiana, B. Rahelilarilalao

Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA) – BP 1500 – Antananarivo Madagascar



Résumé -Pour chaque produit, l'estimation de son émission de gaz à effet de serre s'appuie sur la détermination de son facteur d'émission, lié à son cycle de vie. Notre étude est axée sur les produits de terre cuite, d'utilisation très courante à Madagascar dans le domaine de la construction. Nous suivons le cadre méthodologique de l'Analyse de Cycle de Vie régi par les normes ISO 14040-14044 pour ce travail. Nous considérons les deux types de production existants à Madagascar : artisanal et semi-industriel. Le facteur d'émission en gaz à effet de serre tient compte des processus de premier plan ainsi que les processus de second plan tels que l'obtention des combustibles, de l'électricité et de l'eau potable. La majeure partie de l'émission est attribuée à l'utilisation de l'énergie. Un facteur d'émission en gaz à effet de serre moyen de 452,95 kg éq CO₂ par unité fonctionnelle est associé aux produits de terre cuite artisanaux tandis que 300,78 kg éq CO₂ par unité fonctionnelle pour les produits semi-industriels. Un facteur d'émission moyen de 376,87 kg éq CO₂ par unité fonctionnelle est attribué donc aux produits de terre cuite fabriqués à Analamanga.

Mots-clés : *Analyse de Cycle de Vie, tourbe, fine de charbon, balle de riz, Analamanga.*

Abstract -The estimation of greenhouse gas emission for a product depends on the determination of his emission factor, associated to his life cycle. Our study concerns the fired clay products, mainly used in buildings construction in Madagascar. We adopt the life cycle analysis methodology framework governed by ISO 14040-14044 for this study. Handmade and semi industrial processes are considered

The emission factor of greenhouse gas includes principal processes and second processes such as solid fuel, electricity and water productions. Most of the emissions are attributed to the energy use. As emission factor we obtain 452,95 kg eq CO₂ per functional unit for handmade process and 300,78 kg eq CO₂ for semi industrial production. So 376,87 kg eq CO₂ per functional unit is associated to clay fired products of Analamanga.

Key-words: *Life Cycle Assessment, peat, charcoal waste, rice husk, Analamanga.*

I. INTRODUCTION

A Madagascar, le taux de croissance démographique moyen vaut 2,8% en 2010 d'après l'étude effectuée par l'Institut National de la Statistique (INSTAT) et la population malgache pourra dépasser les 32 millions d'habitants en 2030 [1]. Ce fait accentue les besoins en logement ainsi qu'en matériaux de construction.

Des études effectuées ont montré que presque un tiers des émissions de gaz à effet de serre (GES) proviennent du domaine de la construction [2] [3].

Parallèlement à cela, Madagascar fait partie des pays considérés comme vulnérables aux impacts du changement climatique et s'est engagé à remplir des obligations, en particulier celle de contribuer à la stabilisation et à la réduction des émissions des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère [4]. En vue de stabilisation et de réduction, il importe de connaître le niveau actuel des émissions, c'est pourquoi des études ont déjà fait l'objet d'estimation de l'émission de GES dans quelques secteurs comme l'énergie et l'agriculture [5] [6] [7].

Notre étude s'inscrit alors dans ce sens en estimant de l'émission en gaz à effet de serre (GES) des produits de terre cuites, un

des matériaux les plus courants à Madagascar en terme de construction et dans le monde [1] [8] [9] [10]. Notre objectif est de fournir des facteurs d'émission aux matériaux de terre cuite produits de façon artisanale et semi-industrielle. Il est à remarquer qu'il n'y a pas encore de production industrielle à Madagascar. L'approche adoptée est l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), parmi les plus utilisées au niveau international pour répondre au problème de l'évaluation d'impacts environnementaux [11].

II. METHODOLOGIE

L'approche adoptée pour cette étude, l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une méthode d'évaluation environnementale normalisée. La norme permet de mener une évaluation des impacts environnementaux d'un produit ou d'un procédé en proposant une méthode pour avoir les résultats à partir des différentes étapes de calculs. Pour la mise en œuvre de la méthode d'ACV, nous suivons le cadre méthodologique (figure 1) comprenant quatre étapes et normalisé selon les ISO 14040 à 14043 (qui ont été ensuite revues et remplacées par la norme ISO 14044 en 2006 [12],[13],[14],[15],[16]).

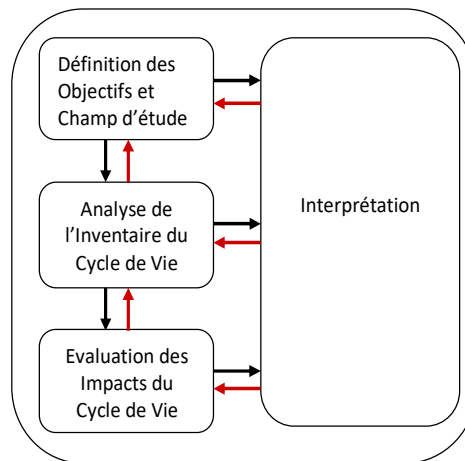


Figure 1 : Les quatre étapes du cadre méthodologique de l'ACV.

L'étude d'Analyse de Cycle de Vie dans cette étude est réalisée au sein des trois principaux sites (S1, S2 et S3) de production artisanale et trois unités semi-industrielles (U1, U2 et U3), se trouvant dans la région d'Analamanga.

La fabrication artisanale est caractérisée par l'utilisation d'argile et d'eau de rizières (période creuse en culture) ainsi que la prédominance de l'énergie humaine tout au long de la chaîne de production.

La production semi-industrielle est plus ou moins mécanisée, on utilise également de l'électricité et de l'eau potable pour la production des produits, et l'argile provient de gites définies.

2.1. Objectif

Notre principal objet est d'estimer en premier lieu les émissions en gaz à effet de serre relatives à la production artisanale et à la fabrication semi-industrielle de produits de terre cuite, ensuite de comparer ces émissions et enfin fournir un facteur d'émission global de GES pour ce type de matériau.

2.2. Champ de l'étude

2.2.1. Unité fonctionnelle

Pour permettre une comparaison homogène entre les trois sites de fabrications artisanales et les trois unités semi-industrielles considérés dans cette étude, nous prenons une valeur de référence permettant d'exprimer les résultats, une unité fonctionnelle (UF) égale à 1 tonne de produits de terre cuite.

2.2.2. Frontières du système

L'Analyse de Cycle de Vie est effectuée depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'obtention de produits de terre cuite tout en tenant compte des productions d'électricité, d'eau potable, des modes d'obtention et de transports des combustibles

pour la cuisson (poussier de charbon, balle de riz, la tourbe et le bois).

Nous n'avons pas pris en compte les émissions en GES relatives aux fabrications de véhicule, des machines et la filière de production de carburant (gas-oil) qui fait partie du processus de second plan. Toutefois, nous choisissons les émissions locales comme celle provenant de la production de la balle de riz, du bois de chauffe, de la poudre de charbon, de l'électricité et de l'eau potable (figure 2).

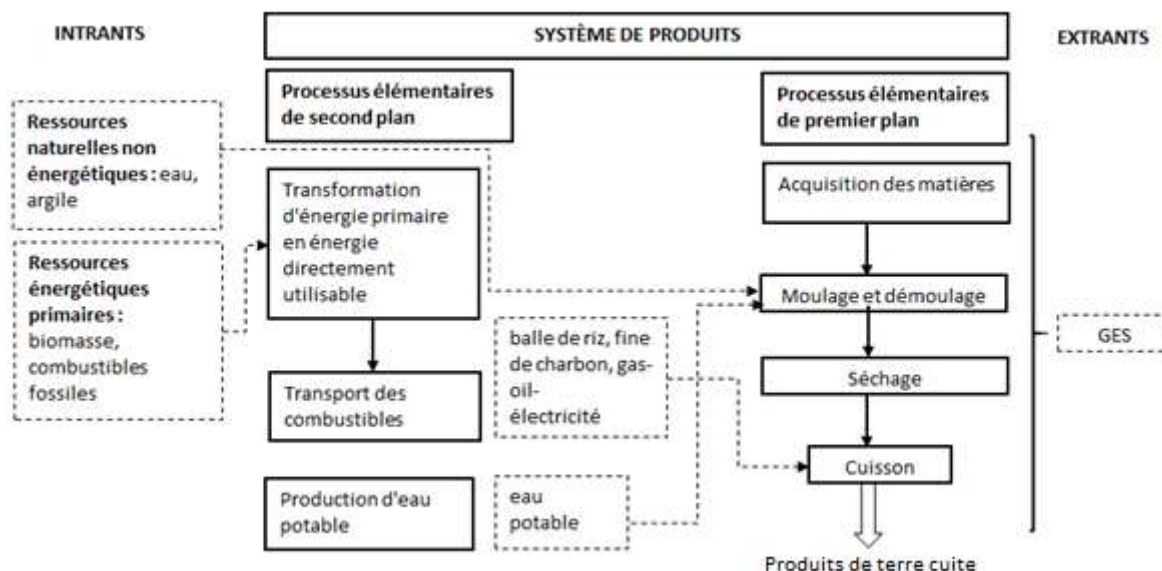


Figure 2 : Système de produits de la fabrication de matériaux de terre cuite.

2.3. Inventaire de cycle de vie

Pendant l'inventaire de cycle de vie (ICV), étape clé de l'ACV, nous avons effectué des collectes de données auprès des sites de productions artisanales et des unités de production semi-industrielles afin d'avoir :

- les dimensions des produits ;
- les lieux de gisement de matières premières ;
- les quantités de matières premières ;
- les types et les quantités de combustible nécessaire pour chaque fournée ;
- les processus de production ;
- les modes d'obtention des combustibles (balle de riz, fine de charbon, bois de chauffe) ;
- les types de transport des combustibles ;
- les rendements par fournée (le taux de produits mal cuits et cassés) et
- la provenance de l'électricité et de l'eau utilisées pour la fabrication semi-industrielle (tableau 1).

Des données utiles pour cette étude sont recueillies également par recherches bibliographiques comme les pouvoirs calorifiques inférieurs des combustibles (balle de riz, tourbe, fine de charbon, bois de chauffe).

Tableau 1 : Données de fabrications artisanales et semi-industrielle

	Fabrication artisanale			Fabrication semi-industrielle		
	S1	S2	S3	U1	U2	U3
Etape de production	Source d'énergie utilisée					
Extraction de matières premières	Energie humaine	Energie humaine	Energie humaine	Energie humaine	Energie humaine	Energie humaine

Transport des matières premières	Gas-oil (GO)	Gas-oil (GO)	Energie humaine	Gas-oil (GO)	Gas-oil (GO)	Motricité animale
Moulage et démoulage	Energie humaine	Energie humaine	Energie humaine	Electricité	Electricité	Electricité /Energie humaine
Séchage	Energie solaire	Energie solaire	Energie solaire	Energie solaire	Energie solaire	Energie solaire
Distance entre le lieu d'extraction des matières premières et le lieu de production (km)	0	0	0	7	13	1
Combustible utilisé pour la cuisson	Balle de riz (BdR)	Mélange de balle de riz et de poussier de charbon (BdR+FdC)	Tourbe (T)	Bois (B)	Bois (B)	Balle de riz (BdR)
Quantité de Combustible/UF (t)	0,18	BdR : 0,009 FdC : 0,078	0,33	0,082	0,078	0,27
Distance entre le lieu de production des combustibles et le lieu de production (km)	15	BdR : 6 FdC : 65	0	65	30	9
PCI du combustible (GJ/t)	15,5 à 16,2 [17]	BdR : 15,5 à 16,2 [17] FdC : 32,5 [18]	11,6 [19]	18,2 [19]		15,5 à 16,2 [17]
Quantité d'électricité consommée par UF (kWh)	0	0	0	7,12	9,38	10,06
Quantité d'eau de rizière consommée par UF (litre)	305	305	305	0	0	0
Quantité d'eau potable consommée par UF (litre)	0	0	0	315	310	330

2.3.1. Matière première : l'argile

L'extraction d l'argile est assurée par l'énergie humaine, il n'y pas de mécanisation.

Combustibles

La tourbe est extraite près du lieu de production dont le transport est effectué par les artisans eux-mêmes.

La balle de riz est un coproduit du décorticage du riz paddy. D'après des études effectuées par la FAO, pour 1 kg de paddy, on a 0,22 kg de balle de riz [20]. Ce combustible solide est fourni par les cultivateurs environnants.

Le poussier ou fine de charbon est un résidu solide issu de la fabrication, du transport et des manipulations du charbon de bois. Il peut représenter 10% à 20% du poids du charbon [18].

Le bois utilisé pour la cuisson des produits est en général de l'eucalyptus, coupés manuellement.

2.3.2. Eau

Les artisans utilisent l'eau de rizière pour la préparation de la pâte dont le transport est effectué par eux-mêmes.

Les producteurs semi-industriels utilisent de l'eau produit par la JIRAMA (Electricité et Eau Malagasy), une société d'Etat traitant l'eau potable.

2.3.3. Electricité

Dans la région d'Analamanga, l'électricité utilisée lors de fabrication de produits de terre cuite artisanale est fournie par le mix-électrique du réseau interconnecté d'Antananarivo, qui en 2017 constitué par 59,85% d'hydroélectricité et 40,15% d'électricité de source thermique [21].

2.4. Evaluation d'impact

Du fait que l'extraction des matières premières est effectuée manuellement, l'émission totale en gaz à effet de serre depuis l'acquisition des matières premières jusqu'à l'obtention de produits finis est issue :

- du transport des matières premières des lieux d'extraction vers les unités de production de produits de terre cuite.
- de la production des combustibles (balle de riz, fine de charbon de bois,...) ;
- du transport des combustibles depuis les lieux de productions de ces derniers vers les lieux de productions de matériaux de terre cuite ;
- de la consommation d'électricité (mix électrique du Réseau Interconnecté d'Antananarivo : RIA) lors de la chaîne de production ;
- de la consommation d'eau potable pendant la fabrication et
- de la cuisson des briques et autres produits de terre cuite.

L'émission totale en gaz à effet de serre depuis l'acquisition des matières premières jusqu'à l'obtention de produits finis est donnée par la formule :

$$E_{GES} = E_{GES(TMP)} + E_{GES(PC)} + E_{GES(TC)} + E_{GES(ELEC)} + E_{GES(EAU)} + E_{GES(C)}$$

E_{GES} : émission totale de GES pour la production de produits de terre cuite [kg éq CO₂/UF] ;

$E_{GES(TMP)}$: émission de GES lors du transport des matières premières nécessaires pour la production d'une UF [kg éq CO₂/UF] ;

$E_{GES(PC)}$: émission de GES lors de la production des combustibles [kg éq CO₂/UF] ;

$E_{GES(TC)}$: émission de GES lors du transport des combustibles [kg éq CO₂/UF] ;

$E_{GES(ELEC)}$: émission de GES relative à la consommation d'électricité [kg éq CO₂/UF] ;

$E_{GES(EAU)}$: émission de GES relative à la consommation d'eau potable [kg éq CO₂/UF] et

$E_{GES(C)}$: émission de GES effet de serre relative à la cuisson [kg éq CO₂/UF].

Selon les normes ISO les règles d'imputation se présentent dans le cas où des processus élémentaires accomplissent des fonctions autres que celles considérées dans le champ d'étude (cofonctionnalité dans le cas de production d'un produit ou d'un service ou dans le cas des transports) [12][13][14][15][16].

Dans cette étude, ce cas se présente pour la production de balle de riz et de poussier de charbon.

L'estimation est effectuée avec GEMIS (Global Emission Model for Integrated System), un logiciel d'Analyse de Cycle de Vie.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Fabrication artisanale

3.1.1. Site S1

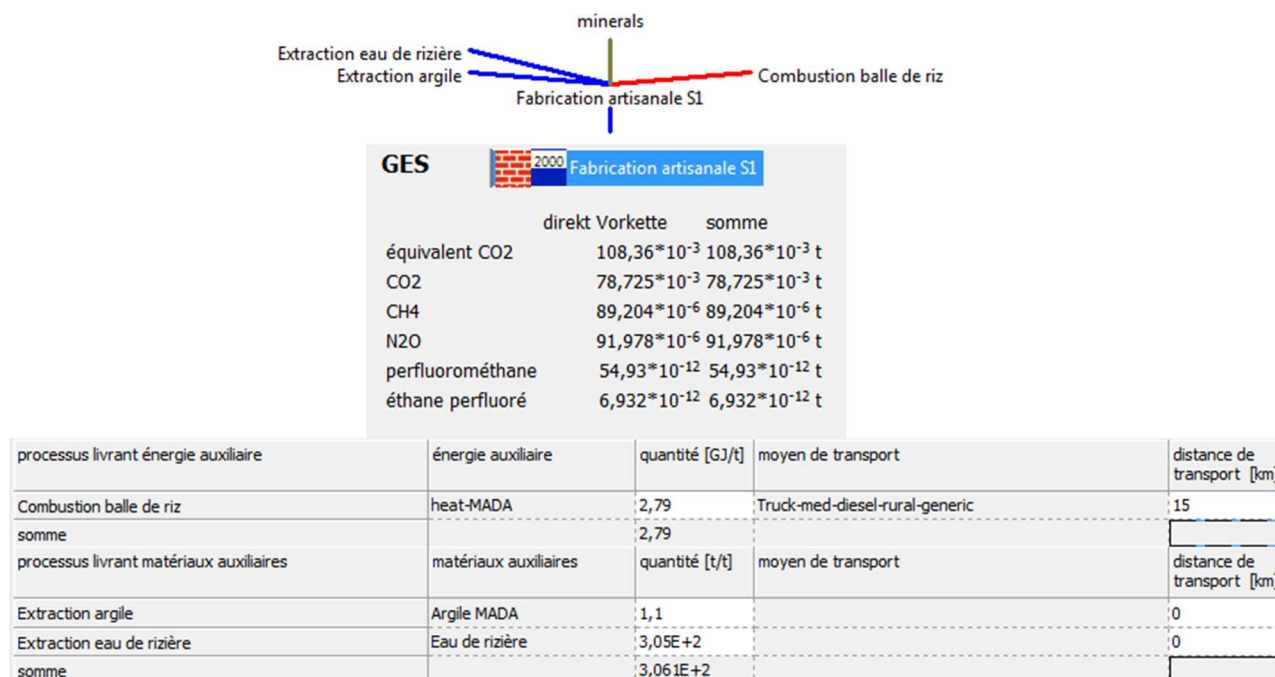


Figure 3 : Emission en GES des produits du site S1

Pour le site utilisant la balle de riz comme combustible, on applique dans le cas du site S1 l'hypothèse de la neutralité carbone. Le riz est un produit de « culture annuelle » : le fait de brûler de la balle de riz l'année N est compensée par la croissance du riz l'année N+1. On a donc une émission « biogénique », la balle de riz brûlée est remplacée l'année d'après, il n'y alors pas lieu de compter des émissions [19]. Pourtant l'émission issue de la production de la balle de riz et le transport (sur 15km) depuis le lieu de production de ce combustible jusqu'au lieu de fabrication de produits de terre cuite est comptabilisée. L'émission de 108,36kg éq CO₂/UF est donc liée à ces deux étapes.

3.1.2. Site S2

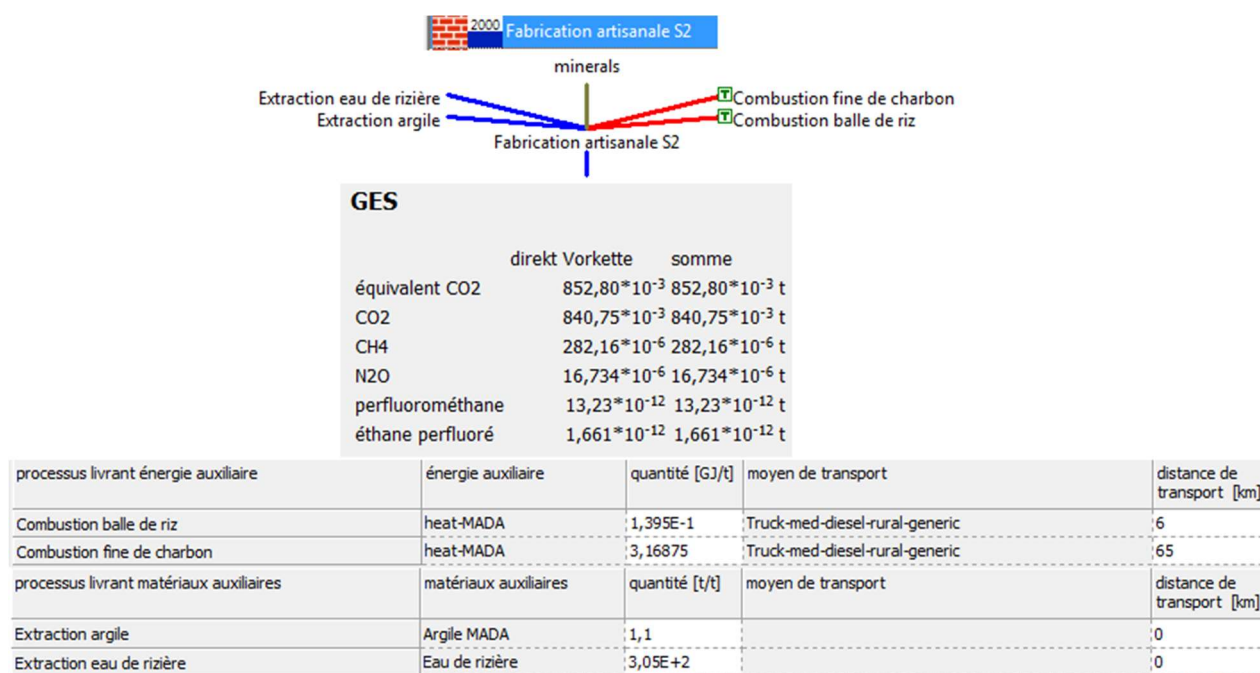


Figure 4 : Emission en GES des produits du site S2

Pour le site artisanal S2, nous tenons compte que le poussier de charbon est un biocombustible dérivé du bois. Ces vingt dernières années, il est enregistré une perte de 50 000 ha de forêt par an à Madagascar [21]. Ce phénomène est en grande partie lié au prélèvement de bois de feu. Nous tenons compte à la fois du carbone contenu dans le poussier de charbon brûlé, et de la perte de carbone du sol qui suivra la déforestation, ce qui en pratique consiste à rajouter 20 à 50% de supplément aux émissions de combustion [19]. Pour notre cas, nous prenons une majoration de 25%.

L'émission de GES de 852,8kg éq CO₂/UF est issue : - de la combustion lors de la production de charbon de bois en tenant compte qu'il faut 10 kg de bois pour obtenir 1 kg de charbon de bois [22] ;

- du transport de la fine de charbon et de la balle de riz
- de la production de balle de riz ainsi que
- de la combustion de la fine de charbon lors de la cuisson des produits.

Le facteur d'émission en GES du site S2 est environ 8 fois plus important que celui de S1. Au point de vue environnemental, vu la déforestation persistante à Madagascar, il n'est pas du tout intéressant d'utiliser de la fine de charbon comme combustible.

3.1.3. Site S3

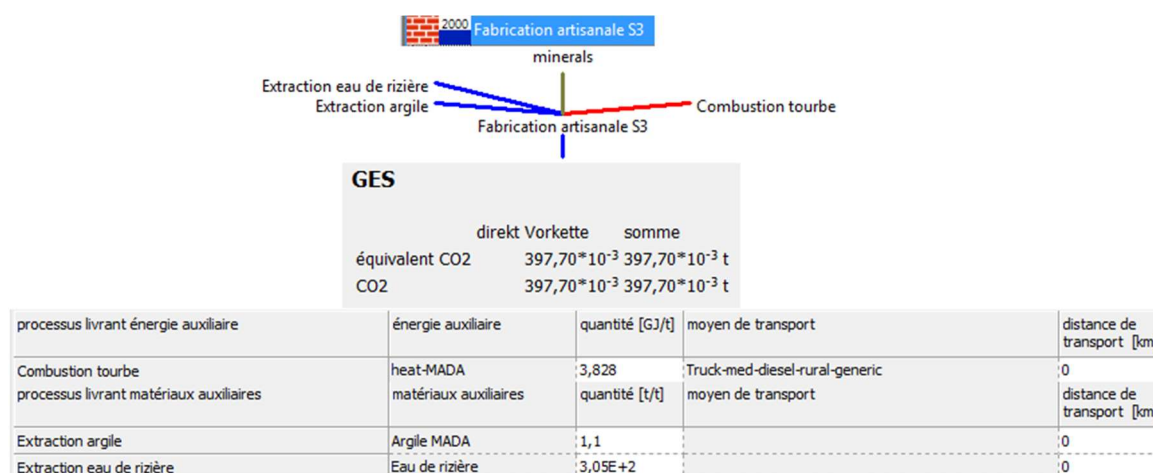


Figure 5 : Emission en GES des produits du site S1

La tourbe est un combustible disponible sur le lieu de production de produits de terre cuite lors de l'extraction de l'argile. Malgré le fait que la tourbe est extraite manuellement près du lieu de fabrication de briques et que son transport est assuré par les artisans briquetiers, nous obtenons une émission de 397,70kg éq CO₂/UF. Cette émission est due principalement à la combustion de cette ressource fossile non renouvelable.

3.2. Fabrication semi-industrielle

3.2.1. Unités U1 et U2

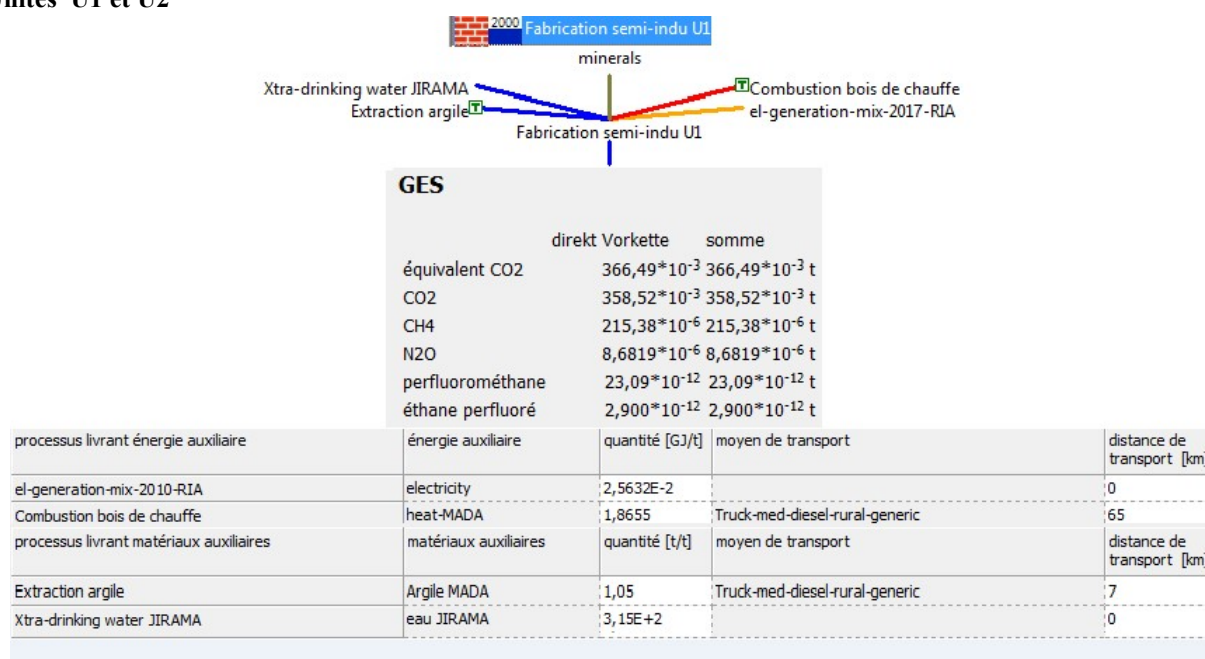


Figure 6 : Emission en GES des produits de l'unité U1

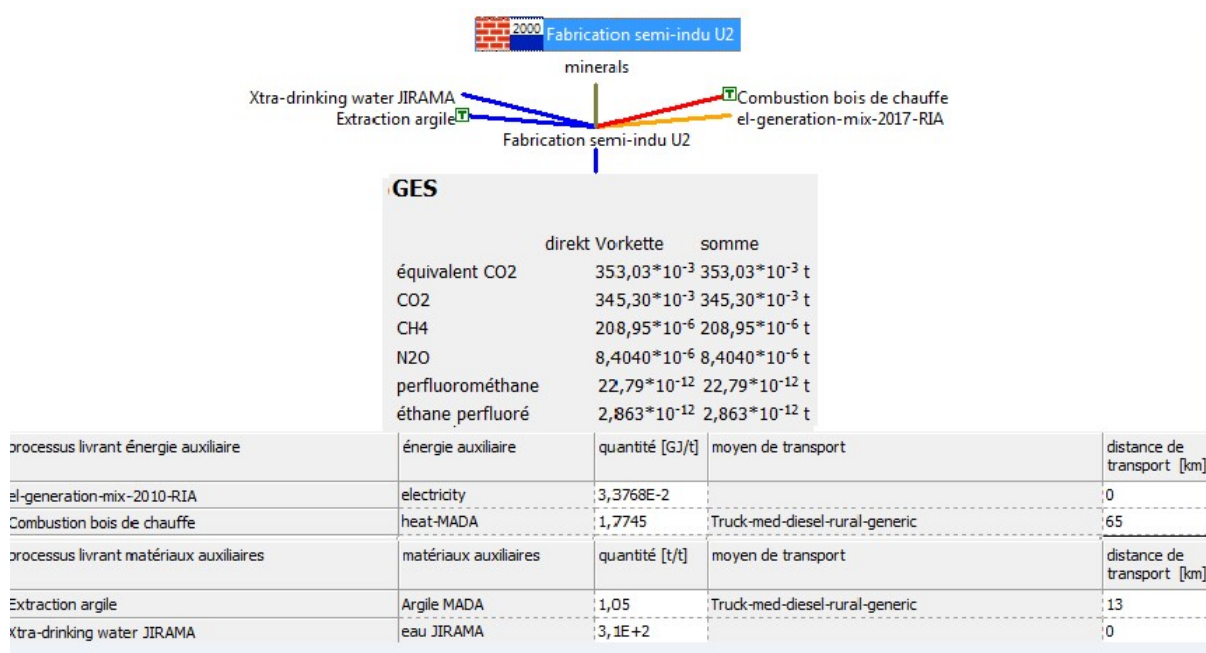


Figure 7 : Emission en GES des produits de l'unité U2

Il y a des points communs pour les deux unités U1 et U2. Celles-ci utilisent de l'eau de la JIRAMA, de l'électricité du réseau interconnecté d'Antananarivo durant la fabrication de matériaux en terre cuite et optent pour le bois de chauffe pour la cuisson des produits. La majoration de 25% de l'émission de combustion de bois de chauffe est encore valide dans le cas de U1 et U2. Nous obtenons des valeurs voisines de 366,49kg éq CO₂/UF pour U1 et 353,03kg éq CO₂/UF pour U2. Il n'y a qu'un écart de 3,67% au point de vue émission, due à un écart de distance de 46,15%. La distance de transport influe donc peu sur l'émission de GES.

3.2.2. Unité U3

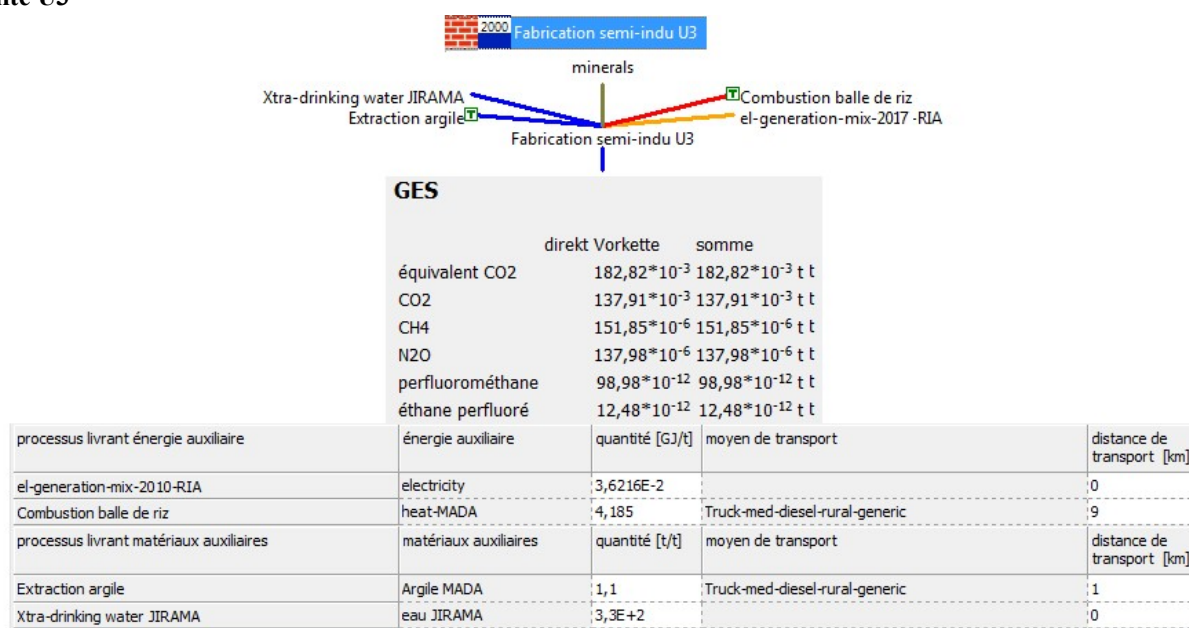


Figure 8 : Emission en GES des produits de l'unité U3

L'hypothèse de neutralité carbone pour la balle de riz est encore valable pour le cas de l'usine U3. Cette unité utilise de l'eau potable et de l'électricité d'où une valeur d'émission de 182,82kg éq CO₂/UF, une augmentation de 68,71% par rapport à l'émission obtenue avec les produits du site artisanal S1. Ce supplément d'émission est imputé principalement à l'utilisation de l'électricité et

de l'eau potable.

3.3. Facteurs d'émissions des produits de terre cuite d'Analamanga

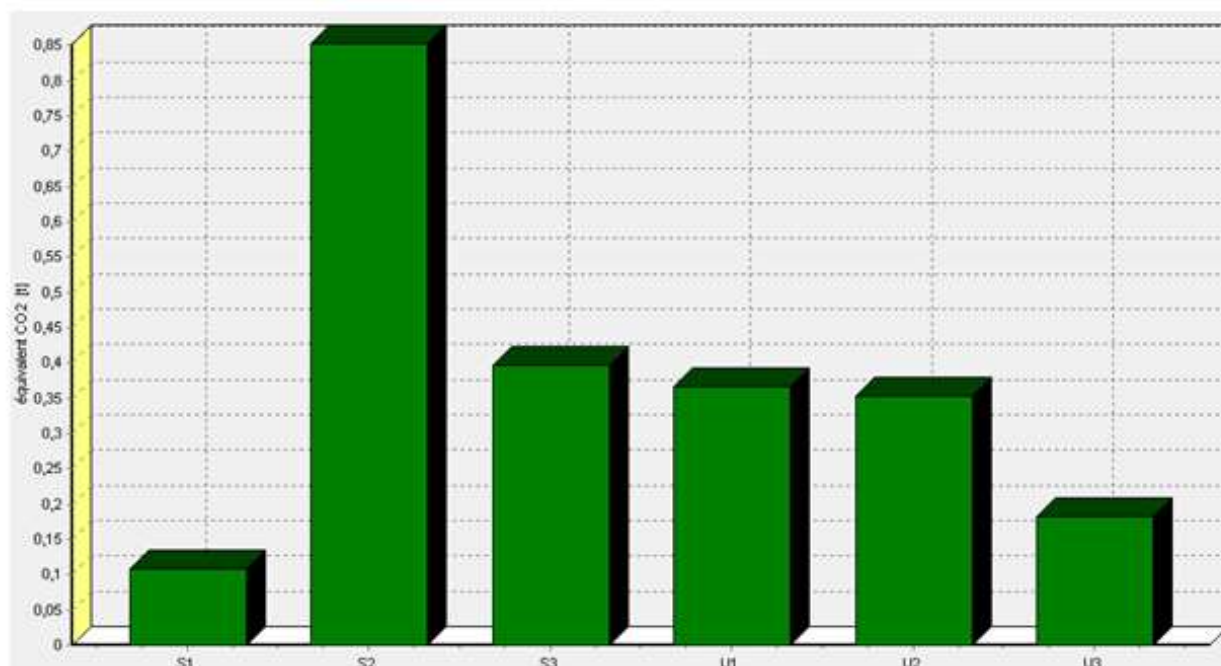


Figure 9 : Facteurs d'émissions des produits de terre cuite d'Analamanga.

On a un facteur d'émission en GES moyen de 452,95 kg éq CO₂/UF pour les produits de terre cuite artisanaux contre 300,78 kg éq CO₂/UF pour les produits semi-industriels. On associe alors un facteur d'émission de 376,87 kg éq CO₂/UF pour les produits de terre cuite fabriqués à Analamanga. Malgré l'absence de mécanisation et le fait qu'il n'y a pas d'utilisation d'électricité et d'eau potable de la JIRAMA lors de la fabrication de produits de terre cuite artisanaux, le processus de production semi-industriel est 33,60% meilleur que celui de semi-industriel au point de vue émission en GES. Concernant le choix de combustible, dans notre étude où nous tenons compte de l'émission due à la production de charbon de bois, il est déconseillé d'utiliser de la fine de charbon pour la cuisson de produits de terre cuite.

IV. CONCLUSION

Le facteur d'émission des produits de terre cuite est associé principalement sur la consommation énergétique tout au long de la chaîne de production. L'influence des processus de second plan tels la production d'électricité et des combustibles est notable sur l'estimation.

A Madagascar, le facteur d'émission des produits de terre cuite dépend également de la politique énergétique de l'Etat sur la production d'électricité. Dans cette étude, nous associons un contenu en GES par kilowattheure de 269,10 g éq CO₂ qui pourra diminuer avec la promotion actuelle d'énergie renouvelable telle la construction du barrage de Sahofika qui fournira 1 500 GWh/an et Centrale solaire photovoltaïque d'Ambatolampy permettant d'approvisionner 50 000 ménages à Antsirabe et à Antananarivo.

REFERENCES

- [1] Institut National de la STATistique (INSTAT). 2011. Enquête auprès des ménages 2010 ; Rapport principal. Antananarivo, Madagascar.
- [2] Erlandsson M, Borg M. 2003. Generic LCA-methodology applicable for building, construction and operation services-today practice and development needs. *Build and Environment*; 38 (7):919–38.
- [3] Malmberg F, Forsberg A. Tools for environmental assessment of the built environment. *Build and Environment* 2004; 39 (2):223–8.

- [4] Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESUPRES). 2015. Plan directeur de la recherche (PDR) sur l'environnement lié au changement climatique.
- [5] Razafy F.L., Randriamamianina V, Rabefitia Z., Rakotoarinarivo C. 2001. Inventaire national des gaz à effet de serre, secteur changements d'affectation des terres et foresterie. Projet MAG99G31 du Ministère de l'environnement, Antananarivo, Madagascar.
- [6] Andriamanantsoa B., Rakotoasimanana G., Andrianasolo N. 2001. Inventaire national des gaz à effet de serre. Secteur Energie. Projet MAG99G31 du Ministère de l'environnement, Antananarivo, Madagascar.
- [7] Ravololonandrianina. 2002. Etude d'atténuation des émissions des gaz à effet de serre, secteur agriculture. Projet MAG99G31 du Ministère de l'environnement, Antananarivo, Madagascar.
- [8] Fernandes F.M., Lourenço P.B., Castro F.M., 2010. Ancient Clay Bricks: Manufacture and properties, Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures, 29-48.
- [9] Shakir, A.A. Mohammed, 2013. Manufacturing of bricks in the past, in the present and in the future: a state of the art review. *Int. J. Adv. Appl. Sci.* 2 (3), 145-156.
- [10] Neslihan Dalkiliç, Adnan Nabikoglu, 2017. Traditional manufacturing of clay brick used in the historical buildings of Diyarbakir (Turkey), *Frontiers of Architectural Research*, 6, 346 – 359.
- [11] Anonyme (2003). Integrated Product Policy Building on Environment Life Cycle Thinking Communication from the commission to the Council and the European Parliament, commission of the European communities. Bruxelles, Belgique.
- [12] ISO, 1997. Management environnemental - Analyse de Cycle de Vie - Principes et cadre. International. Organisation for Standardisation (ISO 14040), Genève, Suisse.
- [13] ISO, 1998. Management environnemental – Analyse de Cycle de Vie - Définition de l'objectif et du champ d'étude et analyse de l'inventaire. International Organisation for Standardisation (ISO 14041), Genève, Suisse.
- [14] ISO, 1998. Management environnemental – Analyse de Cycle de Vie -Évaluation d'impact du cycle de vie. International Organisation for Standardisation (ISO 14042), Genève, Suisse.
- [15] ISO, 2000. Management environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Interprétation. International Organisation for Standardisation (ISO 14043), Genève, Suisse.
- [16] ISO, 2006. Management environnemental- Analyse du cycle de vie- Exigences et lignes directrices. International Organisation for Standardisation (ISO 14044), Genève, Suisse.