

Emission De Gaz A Effet De Serre Du Matériau Bois Utilisé Dans La Construction Par Analyse De Cycle De Vie

M.P. Randrianarison^{1,2}, N. Randrianandrasana^{1,2}, N.A.T. Razafiarivony^{1,2}, A. Tsioritiana¹,
B. Raheliarilalao^{1,2}

¹Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA),

²Ecole Doctorale Ingénierie et Géoscience (INGE)



Résumé – Le bois est l'un des matériaux les plus utilisés dans la construction de maison d'habitation à Madagascar. Face à la dégradation des ressources forestières nationales, l'utilisation de bois est une source d'émission de gaz à effet de serre. Pour l'estimation des émissions, nous adoptons l'Analyse de Cycle de Vie. Quinze ouvrages fonctionnels en bois et quinze Unités Fonctionnelles sont considérées. L'étude comprend plusieurs étapes, de la plantation des arbres jusqu'à la fin de vie des ouvrages fonctionnels. Les résultats des émissions de gaz à effet de serre se situent entre 3kg éq CO₂ à 83,94kg éq CO₂ par unité fonctionnelle, variant en fonction des tailles des produits en bois et des transformations subies par le bois tout au long de son cycle de vie.

Mots-clés : bois, construction, gaz à effet de serre, gaz carbonique, Analyse de Cycle de Vie

Abstract – Wood is one of the most used buildings materials in Madagascar. According to the national forest resources degradation, the use of wood is a greenhouse gas emission source. To estimate it, Life Cycle Assessment method is adopted. So, fifteen wood's functional structures and fifteen Functional Units are considered. The study includes many processes, from wood implantation to end of life of functional structures. The emissions values are between 3kg éq CO₂ and 83,94kg éq CO₂ per functional unit, these varies depending on products sizes and wood transformations during its life cycle.

Keywords – Wood, Buildings, Greenhouse Gases, Carbon Dioxide, Life Cycle Assessment

I. INTRODUCTION

Madagascar est un pays tropical et insulaire où la diversité biologique est particulièrement importante. Avec un nombre d'espèces ligneuses estimé à environ 4220 (MEF 2009), les essences de bois de Madagascar présentent d'importants potentiels en termes de valorisation et de transformation [2].

D'après les estimations de GISC/USAID en 2009, la part de chaque type d'utilisation dans la consommation annuelle nationale de produits ligneux est de 41,5% pour le bois de chauffe, 39,5% pour le charbon de bois et 19 % pour le bois COS (Construction-Ouvre-Service) [3].

De nombreuses recherches rendent compte de la pertinence d'utiliser le bois comme matériau de substitution aux produits énergivores et émetteurs nets de gaz à effet de serre tels que les matériaux en acier ou en béton et encouragent la construction en bois [4] [5] [6] [7][8]. Pour le cas de Madagascar, le bois est l'un des matériaux les plus utilisés à Madagascar pour la construction du plancher, avec un taux d'utilisation de 28,2%, pour les habitats qui ont un plafond, le principal matériau utilisé est le bois (37%). Pour les murs, 7% sont construites avec de la planche de bois [9]

Pourtant, une diminution annuelle nationale de la couverture forestière est évaluée à 1,39% et est considérée comme étant l'une des plus alarmantes par rapport aux autres pays tropicaux [10]. Le taux de croissance démographique national en 2020 vaut 3,1% et la population malgache pourra dépasser les 32 millions d'habitants en 2030 [11], des besoins en logement vont donc s'accroître et engendreront une croissance des besoins en matériaux de construction et des rejets gazeux dans l'atmosphère à cause de l'exploitation, la mise en œuvre et toutes les étapes du cycle de vie du bois.

A Madagascar, d'autres domaines et d'autres matériaux ont fait déjà l'objet d'étude d'émission de gaz à effet de serre (GES) et d'autres émissions aériennes [12][13] et d'autres secteurs nécessitent des études analogues. Notre but est de compléter les recherches dans ce sens en nous focalisant sur les matériaux de construction. Dans ce travail, il s'agit du matériau bois utilisé dans la construction de maison d'habitation. La méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est adoptée.

II. MÉTHODOLOGIE

La méthode de l'ACV est la plus couramment utilisée pour déterminer l'ensemble des impacts environnementaux de l'utilisation des produits du bois, sachant que cette méthodologie permet de comparer les résultats obtenus avec ceux des matériaux concurrents [14][15][16] [17] et dont la mise en œuvre est régie par un cadre méthodologique (figure 1) défini et formalisé en normes ISO 14040 à 14044 [18][19][20] [21][22].

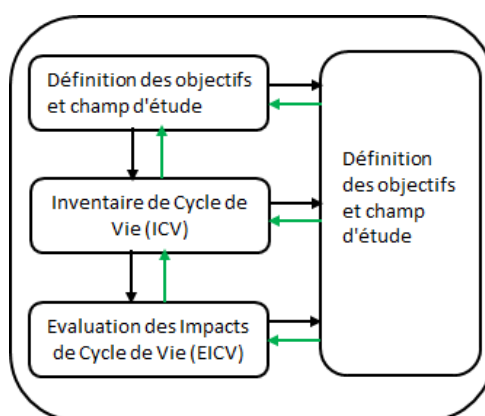


Figure 1 : Cadre méthodologique de l'ACV : les quatre étapes d'une ACV.

2.1. Zone d'étude

La ville d'Antananarivo (figure 2) qui est la capitale de Madagascar, mais aussi la ville qui possède le plus grand nombre d'habitants (estimés à 3,2 millions en 2018) [23], est le plus important centre de consommation en bois COS. De ce fait, notre analyse s'est focalisée sur la situation de l'offre et de la demande par rapport aux besoins en bois COS d'Antananarivo.



Figure 2 : Carte administrative de la région Analamanga

2.2. Définition de l'objectif et du champ d'étude (ISO 14040, version 2006)

Notre but est de quantifier les émissions de gaz à effet de serre, exprimée en kg équivalent de gaz carbonique par unité fonctionnelle.

2.2.1. Frontières du système

L'étude d'ACV est effectuée depuis la plantation de bois jusqu'à sa fin de vie tout en passant par l'exploitation, le transport, la mise en œuvre et l'utilisation. Le système de produit du bois est donné par la figure 3.

➤ Exploitation du bois COS à Madagascar

Il y a deux types de circuit pour l'exploitation du bois COS à Madagascar :

- Circuit 1 : les propriétaires individuels abattent eux-mêmes leurs pieds d'arbre ou les exploitants recrutent localement des bûcherons pour couper les arbres et les transformer en traverses et en bois équarris (première transformation) avant de les transporter et de les livrer à des scieries locales.

La première transformation peut être :

- mécanisée ou
- manuelle.

Les scieries locales à leurs tours travaillent ces bois bruts dans leurs ateliers en bois de sciage (deuxième transformation) et les acheminent vers les points de vente. Les marchands de bois reçoivent les bois de sciage et les mettent directement en commerce (figure 3 – flèches en vert).

- Circuit 2 : après la première transformation, les traverses et les bois équarris sont transportés directement vers les points de vente où la deuxième transformation s'effectue. Après cette dernière opération, on obtient des bois de sciage (voliges, lattes, parquets, planches, bois carrés, gorges ...) (figure 3 – flèches en rouge).

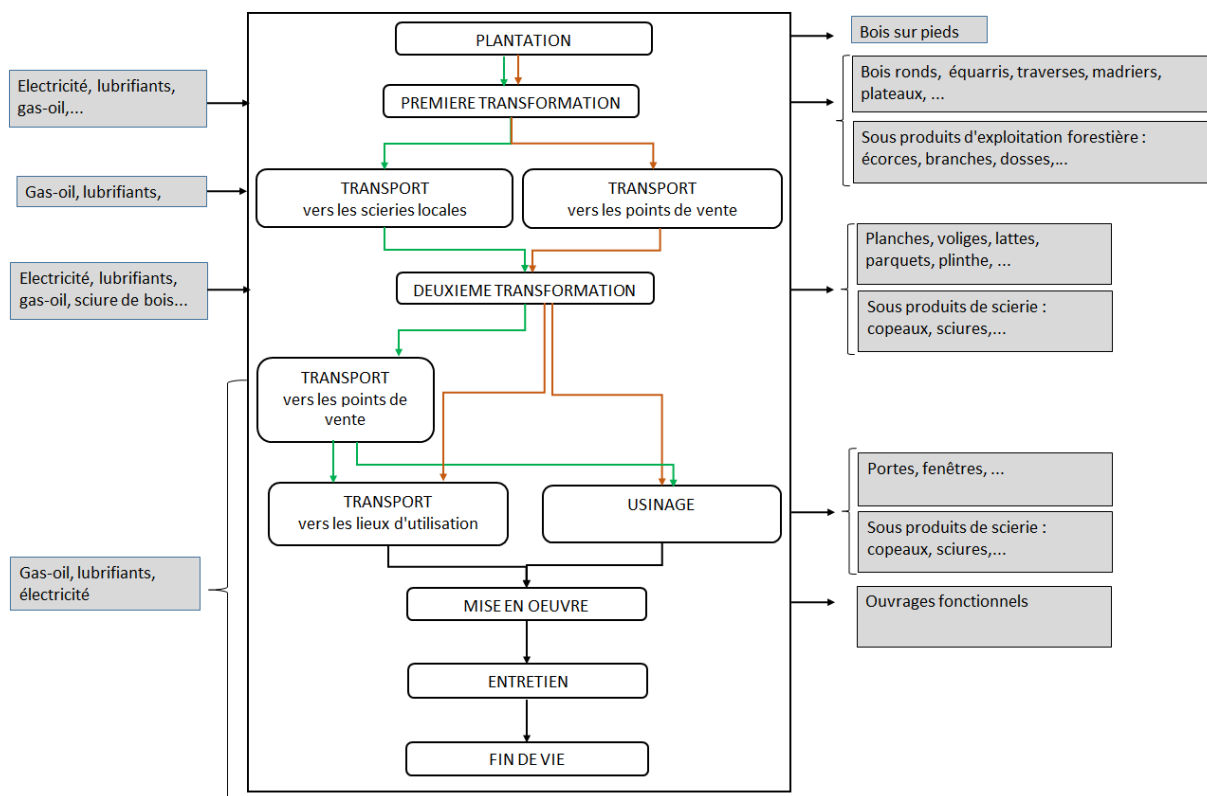


Figure 3 : Système de produit du matériau bois dans le domaine de la construction de maison d'habitation.

➤ Plantations de bois à Madagascar

Les plantations de bois à Madagascar proviennent des :

- végétations naturelles appartenant au gouvernement,
- plantations des communautés villageoises et
- plantations des propriétaires privées : villageois, planteurs industriels.

La phase de récolte comporte plusieurs sous-étapes qui peuvent varier en fonction des pratiques sylvicoles.

Dans cette étude, la récolte se fait par arbre entier. Ce mode de récolte se décline en différentes phases : l'abattage, le débardage et l'ébranchage.

Suivant les dimensions des produits, différents types de dénominations existent au niveau des transformations (première et deuxième) (tableau 1 et clichés 1 et 2).

Il peut y avoir de l'étuvage ou non, selon le choix des producteurs de bois. Le séchage se faisant à l'air libre ou utilisant de la sciure de bois ou de l'électricité

Tableau 1 : Produits obtenus après première et deuxième transformations.

Produits	Transformation	Utilisations	Longueur (m)	Largeur (cm)	Epaisseur (cm)	Diamètre (cm)
Bois rond	1 ^{ère}	coffrage/ échafaudage	4	-	-	6 à 10
Traverse	1 ^{ère}		2 à 4	15 à 30	15 à 30	-
Madrier	1 ^{ère} ou 2 ^{ème}		4	15 à 20	7 à 8	-
Plateau	1 ^{ère}		4	8 à 26	4 à 8	
Planche	2 ^{ème}	coffrage/ échafaudage /menuiserie	2 ou 4	8 à 18	1,5 à 4	-
Bois carré et chevron	2 ^{ème}		2 ou 4	5 à 10	5 à 10	-
Parquet à coller	2 ^{ème}		0,2	5 à 9	0,5	-
Latte	2 ^{ème}		4	2,5 ou 3	3 ou 4	-
Parquet à l'anglaise	2 ^{ème}		4	8 à 10	1,8 à 2,5	-
Volige	2 ^{ème}		4	8 à 10	1	-
Gorge et plinthe	2 ^{ème}		4	5	1	-



Cliché 1 : Bois ronds



Cliché 2 : Volige pour les planchers

2.2.2. Ouvrages fonctionnels (OF) et unité fonctionnelle (UF)

➤ Ouvrages fonctionnels (OF)

Comme les bois étudiés dans ce travail sont focalisés dans la construction de bâtiment. Une approche particulière est alors adoptée. Nous prenons les ouvrages fonctionnels (OF) d'un bâtiment d'habitation. . Ces sont les éléments pouvant être construits avec du bois, qui constituent la structure :

- **charpente** : charpentes en bois massif ou lamellé-collé en fermes, portiques, y compris pannes et chevrons, ossatures de noues, croupes et autres accidents de toiture..

- **couverture à support en bois discontinu** : dont le support de couverture est en liteaux ou voliges non jointives de toutes sections, y compris planches de rives. Un support est considéré comme discontinu si les espacements représentent plus de 50 % de la surface totale

- **couverture à support en bois continu** : platelage en voliges, planches ou panneaux dérivés du bois de toutes épaisseurs, y compris planches de rives. Un support est considéré comme continu si les espacements éventuels représentent moins de 50 % de la surface totale.

- **bardage en lame de bois** : bardages extérieurs en lames de bois ou de dérivés du bois horizontales, verticales ou obliques. Toutes épaisseurs, y compris contre-lattage (cliché 3).

- **plancher en bois porteur** : plancher à solivage bois, y compris platelage en parquet ou panneaux dérivés du bois porteurs

- **plinthe en bois** : pour le plancher en bois

- **coffrage en bois pour infrastructure et superstructure** composés de planche, de bois ronds et de bois carrés (cliché 4)

- **menuiseries extérieures pleines en bois** (cliché 5)

- **menuiseries intérieures pleines en bois**

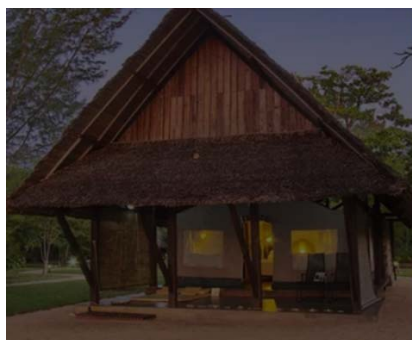
- **menuiseries en bois avec châssis** : châssis des portes et fenêtres en bois, dont les parties vitrées représentent plus de 50 % de la surface, comprenant les habillages et tapées éventuels (cliché 6)

- **garde-corps en bois** : garde-corps à balustres, lisses, croisillons, etc.

- **main courante en bois**

- **escalier en bois** et panneaux dérivés du bois de tous types (droit, à quartier tournant, colimaçon, échelle de meunier, etc.), y compris rampes et mains

- **échafaudage** en bois composé de planches, de bois ronds et de bois carrés (cliché 7)



Cliché 3 : Maison avec bardage en bois



Cliché 4 : Coffrage en bois pour superstructure



Cliché 5 : Porte pleine en bois



Cliché 6 : Porte semi-vitrée



Cliché 7 : Echafaudage en bois

➤ Unité fonctionnelle (UF)

Une « Unité Fonctionnelle » appropriée est construite à partir de l'évaluation des fonctions remplies. Elle permet de mesurer, pour chaque processus du système de produits, une quantité de produit, procédé ou service de référence, appelée unité de référence UR, qui remplit la fonction considérée.

L'Unité Fonctionnelle est fixée pour chaque ouvrage fonctionnel pour une période de 50 ans. La plupart des ouvrages s'accordent à cette durée de vie [24] [25] [26] [27].

Tableau 2 : Unité fonctionnel pris pour chaque ouvrage fonctionnel

Ouvrage fonctionnel (OF)	Unité fonctionnelle (UF)
Charpente	m ² (exprimée en surface projetée au sol, y compris débords, quelle que soit la pente).
Couverture à support en bois discontinu	m ² (exprimée en surface de rampant).
Couverture à support continu	m ² (exprimée en surface de rampant)
Bardage en lame de bois	m ² (exprimée en surface nette après déduction des baies)
Plancher en bois porteur	m ²
Plinthe en bois	m ²
Coffrage en bois pour infrastructure	m ²
Coffrage en bois pour superstructure	m ²
Menuiseries extérieures pleines en bois	m ²
Menuiseries intérieures pleines en bois	m ²
Menuiseries en bois avec châssis	m ²
Garde-corps en bois	ml (mètre linéaire)
Main courante en bois	ml (mètre linéaire)
Escalier en bois	m ² (exprimée en produit de la hauteur d'étage en mètres, mesurée de sol fini à sol fini par la largeur d'embranchement).
Echafaudage	m ² (de mur ou d'enduit)

2.3. Deuxième étape : inventaire du Cycle de Vie

L'inventaire de cycle de vie (ICV) compile de façon quantitative les matières premières depuis leur extraction ainsi que les émissions polluantes dans l'air, l'eau et le sol [28] : inventaire des flux de matière et d'énergie du système de produits. Les étapes à négliger sont également énoncées dans cette étape.

Cette étape est essentiellement focalisée sur les collectes des données issues des informations recueillies auprès des scieries, bucherons, vendeurs de bois, transporteurs et par des recherches bibliographiques.

➤ Données d'Inventaire de Cycle de Vie

L'inventaire de Cycle de Vie de cette étude est axé sur les données suivantes :

- processus de production du bois
- circuit du bois depuis la plantation jusqu'au point de vente
- rendement d'abattage et de débitage
- type d'essence exploitée
- lieux d'approvisionnement de bois
- mode de transport des bois
- tailles et types de produits obtenus après chaque transformation
- source et quantité d'énergie utilisée tout au long de la chaîne de production
- unité de référence (UR) : quantité de bois (après deuxième transformation) nécessaires pour la mise en œuvre des ouvrages fonctionnels.
- ratio d'entretien des ouvrages fonctionnels

2.3.1. Rendement par abattage et débitage

Pour le débitage, le rendement matière est le suivant : un arbre sur pied est débité en 5 bois équarris au minimum dont 3 à 5 de dimension 400x18x20 et 2 de 250x22x22 en moyenne.

Le rendement varie en fonction du type de produit de sciage. Ainsi un bois équarris de 400x18x20 donne 10 pièces de planches de dimension 400x15x2 au niveau de la scierie. Il est à remarquer que les dimensions sont approximatives. L'abattage peut-être manuelle ou mécanisée utilisant des tronçonneuses.

2.3.2. Types d'essence exploités

Onze types d'essence sont utilisés pour le bois COS (figure 4).

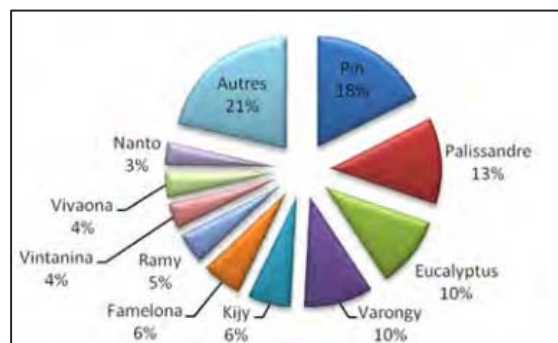


Figure 4 : Taux d'utilisation des essences [29].

2.3.3. Lieux d'approvisionnement de bois

78% des bois sur le marché d'Antananarivo sont issus des forêts humides de l'Est, et 22% sont exploités dans les forêts sèches (tableau 3 et figure 5) [30].

Tableau 3 : Provenance des bois COS vendus à Antananarivo

Provenance des bois	%	Distance par rapport à Antananarivo (km)
Moramanga	48	115
Toamasina	25	356
Morondava	10	659
Fianarantsoa	5	412
Mahajanga	5	574
Antsohihy	5	680
Toliara	2	922

2.3.4. Mode de transport

Pour le transport, il est imposé par l'Analyse de Cycle de Vie dans les calculs relatifs aux transports un retour à vide avec un taux de charge moyen de 50%. La consommation en gas-oil de 18,5 litres par 100 kilomètres relative aux camions et camionnettes de 3,51 t à 5 t de PTAC est également optée. Ce sont des données issues du Guide des facteurs d'émission de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) [31].

Les calculs sont effectués à l'aide de GEMIS (Global Emission Model of Integrated Systems). Charrettes et camions sont les plus utilisés pour le transport du bois. Un camion emporte en général 10m³ de sciage [32]. Le transport entre la scierie locale et les marchands de la capitale est exclusivement assuré par camions

2.3.5. Sources d'électricité utilisée

Dans la région d'Analamanga, l'électricité utilisée dans cette zone est fournie par le mix-électrique du réseau interconnecté d'Antananarivo (RIA), qui est en 2017, composée de :

- 59,85% d'hydroélectricité et
- 40,15% de source thermique [33].

Le facteur d'émission en gaz à effet de serre, exprimée en kg éq CO₂/kWh sera calcul par GEMIS.

Les données relatives aux produits après première et deuxième transformations sont présentées par le tableau 4.

2.3.6. Unité de référence (UR)

Celle-ci représente la quantité de produit analysé et de consommables utilisés par l'ouvrage fonctionnel, nécessaire pour rencontrer les besoins de l'unité fonctionnelle. Dans ce travail, elle est choisie en termes de volume (tableau 5).



Figure 5 : Carte de localisation des différentes zones d'approvisionnement d'Antananarivo

Tableau 4 : Produits après première et deuxième transformation

PREMIERE TRANSFORMATION			DEUXIEME TRANSFORMATION				
Nombre d'arbre sur pied (unité)	Produits obtenus après transformation	Volume moyenne (m ³ /unité)	Produits obtenus après deuxième transformation	Débitage		Séchage	
				Volume moyenne (m ³ /unité)	Quantité d'électricité utilisée (kWh/m ³)	Quantité de sciure de bois (kg/m ³)	Quantité d'électricité utilisée (kWh/m ³)
0,030	Bois rond	0,020	Planche	0,012	126,91	72	2
0,287	Traverse	0,194	Madrier	0,048	57,73	72	2
0,061	Plateau	0,041	Bois carré et chevron	0,010	126,91	72	2
0,064	Madrier	0,043	Parquet collé	0,000	621,12	72	2
			Latte	0,003	126,91	72	2
			Parquet à l'anglaise	0,003	308,09	72	2

Volige	0,004	398,27	72	2
Plinthe et Gorge	0,007	716,89	72	2

Tableau 5 : Unité de référence (UR)

Ouvrage fonctionnel (OF)	Unité fonctionnelle (UF)	Unité de référence (dm ³)
Charpente	m ²	40
Couverture à support en bois discontinu	m ²	5
Couverture à support en bois continu	m ²	20
Bardage en lame de bois	m ²	25
Plancher en bois porteur	m ²	50
Plinthe en bois	m ²	2
Coffrage en bois pour infrastructure	m ²	22
Coffrage en bois pour superstructure	m ²	36
Menuiseries extérieures pleines en bois	m ²	35
Menuiseries intérieures pleines en bois	m ²	25
Menuiseries en bois avec châssis	m ²	25
Garde-corps en bois	ml (mètre linéaire)	30
Main courante en bois	ml (mètre linéaire)	3
Escalier en bois	m ²	60
Echafaudage	m ²	18

2.3.7. Entretien et maintenance : ratio d'entretien des ouvrages fonctionnels

Il s'agit du remplacement partiel de l'ouvrage fonctionnel pendant la période où celui-ci assure sa fonction dans le bâtiment. L'entretien s'effectue de la même manière que la mise en œuvre.

Pour un bâtiment, le gros œuvre nécessite peu d'entretien. La maçonnerie n'exige que des petites réparations, par exemple l'enduit. La charpente n'aura pas besoin d'entretien si la couverture est régulièrement entretenue. Lorsqu'une maison est neuve, les dépenses d'entretien sont très réduites [24]. Le ratio d'entretien des éléments à remplacer est présenté par le tableau 6.

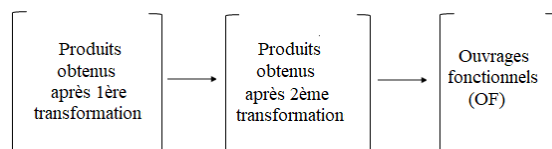
Tableau 6 : Ratio d'entretien des éléments à remplacer (pour 50 ans) [24].

Eléments à remplacer	Pourcentage (%)
Charpente en bois	5
Menuiserie en bois	15
Parquet	100

2.4. Troisième étape : évaluation d'impacts (ISO 14042, version 2000 ; ISO 14044, version 2006)

Cette phase consiste à traduire les flux de matière et d'énergie précédemment recensés en terme d'impacts potentiels sur l'environnement et à déterminer la contribution des différents processus et/ou étapes du cycle de vie aux impacts.

Pour chaque ouvrage fonctionnel considéré, l'évaluation des impacts est basée sur des calculs matriciels s'inspirant des modèles Entrée / Sortie ou Input / Output qui repose sur la considération d'un ensemble d'éléments de départ d'une part et d'un ensemble d'éléments d'arrivée d'autre part. Les éléments de départ sont les produits en bois obtenus après première transformation tandis que les éléments d'arrivée sont les différents types d'OF. Les éléments intermédiaires ne sont que les produits obtenus après deuxième transformation.



Les calculs tiennent compte toutes les étapes relatives à l'Analyse de Cycle de Vie de chaque OF :

- production des bois de construction,
- transport des bois depuis les scieries et usines jusqu'au chantier où ils seront utilisés,
- mise en œuvre qui consiste en la mise en place des matériaux dans un ouvrage fonctionnel et le transport des déchets de mise en œuvre.
- entretien ou maintenance qui est la mise en œuvre partielle des matériaux de remplacement (en bois) pendant la période où le produit assure sa fonction dans le bâtiment.
- la fin de vie qui consiste en la dépose des matériaux lors d'une opération de démolition. Le transport des déchets liés à cette étape jusqu'au site de valorisation ou d'élimination est pris en compte.

Les calculs sont effectués à l'aide du logiciel d'Analyse de Cycle de Vie GEMIS (Global Emission Model of Integrated Systems). Pour cette étude, la valeur négative pour l'émission de gaz à effet de serre n'est pas prise. A Madagascar, on constate actuellement le phénomène de déforestation, En effet, par l'insuffisance de replantation, le fait de couper un arbre pour le transformer en charpente ne fait que déplacer un stock existant, mais la reconstitution n'est pas suffisante.

2.5. Quatrième étape : Interprétation des résultats (ISO 14043, version 2000 ; ISO 14044, version 2006)

Il s'agit d'interpréter les résultats obtenus par rapport aux objectifs de l'étude.

Une analyse de sensibilité pourra être effectuée à estimer la modification des résultats en fonctions de différentes hypothèses possibles.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les émissions en GES (gaz carbonique, méthane, protoxyde d'azote) obtenus par GEMIS sont présentées par le tableau 7 et la figure 6.

Tableau 7 : Emission de gaz à effet de serre (éq kg CO₂) par unité fonctionnelle

Ouvrage fonctionnel	Emission en GES (kg éq CO ₂)	CO ₂ (kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O (kg)
Charpente	54,41	54,78	-0,01320	-0,00015
Couverture à support discontinu	6,80	6,84	-0,00165	-0,00002
Couverture à support continu	3,40	3,42	-0,00083	-0,00001
Bardage en lame de bois	37,55	38	-0,01570	-0,00018

Emission De Gaz A Effet De Serre Du Matériau Bois Utilisé Dans La Construction Par Analyse De Cycle De Vie

Plancher en bois porteur	75,10	76	-0,03140	-0,00036
Plinthe en bois	3,00	3,04	-0,00125	-0,00001
Coffrage infrastructure	4,40	4,62	-0,00763	-0,00009
Coffrage superstructure	7,12	7,46	-0,01200	-0,00014
Menuiserie extérieure pleine	48,96	49,36	-0,01380	-0,00016
Menuiserie intérieures pleines	34,97	35,25	-0,00985	-0,00011
Menuiseries avec châssis	34,97	35,25	-0,00985	-0,00011
Mains-courantes	4,23	4,26	-0,00115	-0,00001
Garde-corps	42,31	42,64	-0,01150	-0,00013
Escalier	83,94	84,62	-0,01150	-0,00026
Echafaudage	3,56	3,73	-0,00600	-0,00007

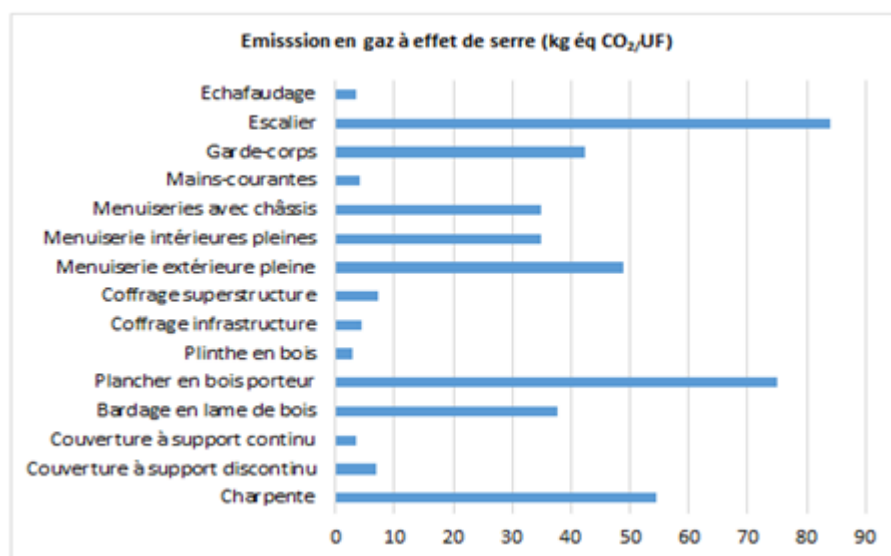


Figure 6 : Emission en GES par ouvrage fonctionnel.

Pour la catégorie d'impact réchauffement climatique, les émissions de gaz à effet de serre (gaz carbonique, méthane et protoxyde d'azote) du bois utilisé dans la construction de maison d'habitation se situent entre 3 kg éq de CO₂/UF à 83,94kg éq CO₂/UF (tableau 7). Ces résultats illustrent le haut niveau d'utilisation d'électricité pour les escaliers planches rabotées (126,91 kWh/m³) à doubles faces et balustres), les menuiseries, les garde-corps et les planchers (621,12 kWh/m³ pour les parquets à coller et 308,09 kWh/m³ pour les parquets à l'anglaise.

Les coffrages superstructures et infrastructures et échafaudage correspondent respectivement à des émissions de 7,12 kg éq CO₂, 4,40 kg éq CO₂ et 3,56 kg éq CO₂. Ces faibles valeurs s'expliquent par le fait que les bois ronds utilisés ne nécessitent pas de rabotage ou débitage mécanique, les planches utilisées ne subissent que du sciage.

La particularité de l'Analyse de Cycle de Vie du matériau bois à Madagascar se repose sur le fait que les bois de forêts ne sont pas bien gérés, et où les coupes ne sont pas compensées par des plantations, on ne peut donc pas parler de puits de carbone (diminution annuelle nationale de la couverture forestière évaluée à 1,39%). Pour la combustion des bois en fin de vie, nous adoptons le guide méthodologique [13] évoquant que quand le bois n'est pas replanté, il faut tenir compte à la fois du carbone contenu dans le bois brûlé, et de la perte de carbone du sol qui suivra la déforestation. On devra alors rajouter 20 à 50% de

supplément aux émissions de combustion. Comme il manque d'indications permettant de nous orienter sur la valeur à adopter pour le cas de déforestation à Madagascar, nous retenons toujours la valeur moyenne de 35% [13].

Par contre, dans les pays développés comme la Belgique,

Pour différents types de bardage en bois, des valeurs négatives entre -8 et -15kg éq CO₂ sont publiées car le bilan pour le carbone biogénique a été inclus, ce qui engendre un « crédit » pour la séquestration du CO₂ dans la biomasse (bois) [34]. Le bois est un puits dans le cas où l'exploitant replante, cas des bois de provenance européenne (les forêts européennes sont globalement à peu près bien gérées) [31].

References

- [1] MEEF-ONE, 2015. Changement de la couverture de forêts naturelles à Madagascar : 2005-2010-2013. Ministère de l'Environnement, de l'Écologie et des Forêts, Office national de l'environnement, Madagascar, 18 p.
- [2] Rakotovo G., Rabevoitra A., Collas, De Chatelperron, P., Guibal, D., Gerard J. (2012). Atlas des bois de Madagascar. Quae. 418 p.
- [3] GISC/USAID (2009) Etude sur la production et la consommation en produits forestiers ligneux à Madagascar. 33p.
- [4] Niles, J.O., Schwarze, R., (2001). The value of careful carbon accounting in wood products. Climatic Change vol. 49, pp. 371-376.
- [5] Eriksson, E., Gillespie, A.R., Gustavsson, L., Langvall O., Olsson, M., Sathre, R., Stendahl, J., 2007. Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution. Revue canadienne de recherche forestière 37, 671-681.
- [6] Valsta, L., Lippke, B., Perez-Garcia, J., Pingoud, K., Pohjola, J., Solberg, B., 2008. Use of Forests and Wood Products to Mitigate Climate Change. Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change 137-149.
- [7] Puettmann, M.E., Wilson, J.B., 2005 b. Life-cycle analysis of wood products: Cradle-to-gate lei of residential wood building materials. Wood and fiber science vol. 37, pp.18-29.
- [8] Gustavsson, L., Pingoud, K., Sathre, R., 2006. Carbon Dioxide Balance of Wood Substitution: Comparing Concrete- and Wood-Framed Buildings. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11, 667-691.
- [9] Institut National de la STATistique (INSTAT). 2011. Enquête auprès des ménages 2010 ; Rapport principal. Antananarivo, Madagascar
- [10] FOFIFA. Bonnes pratiques de carbonisation à Madagascar carbonisation à Madagascar. Projet caramcodec, Commission européenne- Executive agency for competitiveness and Innovation (EacI) Unit 1 - Renewable Energy
- [11] Institut National de la STATistique (INSTAT) (2010). Enquête auprès des ménages 2010. Antananarivo, Madagascar.
- [12] Randrianarison M.P, Randrianandrasana N., Tsioritiana A., Rahelirilalao B. (2020). Etude comparative des facteurs d'émission en gaz à effet de serre des produits de terre cuite artisanaux et semi-industriels. International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT) Vol. 24, Iss. 1.
- [13] Randrianarison M.P, Randrianandrasana N., Tsioritiana A., Rahelirilalao (2021). Flux des émissions aériennes et de gaz à effet de serre du charbon de bois par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie ». International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT) Vol. 25, Iss. 1.
- [14] Kunniger et Richter, Kunniger, T., Richter, K., (1995). Life Cycle Analysis of Utility Poles, A Swiss Case Study. Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research.
- [15] Adalberth, K. (2000). Energy Use and Environmental Impact of New Residential Buildings.
- [16] Sartori et Hestnes, Sartori, I., Hestnes, A.G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. Energy and Buildings 39, 249-257.

- [17] Sathre et O'Connor, Sathre, R., O'Connor, J.(2008). A Synthesis of Research on Wood Products & Greenhouse Gas Impact (No. Technical Report No. TR-19). FPInnovation.
- [18] ISO (1997). Management environnemental - Analyse de Cycle de Vie - Principes et cadre. International. Organisation for Standardisation (ISO 14040), Genève, Suisse.
- [19] 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.
- [20] ISO (1998). Management environnemental – Analyse de Cycle de Vie -Évaluation d'impact du cycle de vie. International Organisation for Standardisation (ISO 14042), Genève, Suisse.
- [21] ISO (2000). Management environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Interprétation. International Organisation for Standardisation (ISO 14043), Genève, Suisse.
- [22] ISO (2006). Management environnemental- Analyse du cycle de vie- Exigences et lignes directrices. International Organisation for Standardisation (ISO 14044), Genève, Suisse.
- [23] Madagascar. Fiche pays ; populationData.net
- [24] Devouassoud P. (1999.). Estimation de la valeur d'un immeuble libre à la vente. Technique de l'Ingénieur, Traité Construction. C1520.
- [25] Canapero (1979). Le toit. C1005.Techniques de l'Ingénieur, Traité Construction.
- [26] Lehembre B. et al. (1997). Le Maçon, Guide des Métiers du Bâtiment. Editions Nathan, Paris.
- [27] Neufert E. (2001). Les éléments des projets de construction. 7ème Edition, DUNOD.
- [28] Jolliet, O., Saadé, M., Crettaz, P. (2005). Analyse du cycle de vie, Comprendre et réaliser un écobilan, collection gérer l'environnement, éd. Presse Polytechniques et Universitaire Romandes, Suisse.
- [29] Rajemison A.H. (2013). Proposition d'essences de substitution aux bois précieux en épuisement par la connaissance des propriétés du matériau bois : Cas du Palissandre de Madagascar - Application en ameublement
- [30] Ramamonjisoa BS, Ratefiarivelo O (2006) Rapport d'étude sur l'estimation de la valeur totale du lot et la détermination des redevances forestières dans le cadre de l'octroi de permis d'exploiter par voie d'adjudication.
- [31] ADEME (2010). Guide des facteurs d'émissions. Version 6.1 Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées.
- [32] Bertrand Alain (1989). Analyse de l'approvisionnement d'Antananarivo en produits forestiers et propositions de réforme de la réglementation et des redevances forestières. Tome II : Analyse économique du secteur forêt-bois de la zone d'approvisionnement en bois d'Antananarivo (ZABA).
- [33] MEH (2017). Bilan énergétique national 2017. Antananarivo, Madagascar.
- [34] ECONOBOIS (2015). Réduction de l'impact énergétique de la filière bois-construction grâce à l'analyse multicritère du cycle de vie. ENECOBOIS Project