

## Valorisation de briquettes de bois obtenues à partir de déchets de bois de plusieurs essences du Gabon : analyse de cycle de vie et bilan énergétique.

ITOMBA BAYIKA Joël Eméric<sup>1</sup>, EKOMY ANGO Serge<sup>2</sup>, MANESCAU Brady<sup>3</sup>,  
MOUTOU PITTI Rostand<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Université des Sciences et Techniques de Masuku, EPM, Franceville, Gabon

<sup>2</sup> Institution de Recherches Technologiques, CENAREST, Libreville, Gabon

<sup>3</sup> INSA Centre Val Loire, Univ. Orléans, PRISME EA 4229, Bourges, France

<sup>4</sup> Université Clermont-Auvergne, CNRS, SIGMA, Clermont, France

[bayikajoel@gmail.com](mailto:bayikajoel@gmail.com)

**Mots clés :** valorisation ; bois tropicaux ; briquettes ; connexes ; ACV ; bilan énergétique

### Contexte et objectif

Pour préserver la forêt gabonaise, le gouvernement interdit l'exportation des grumes et met en place une politique de transformation du bois à plus de 75 % sur le territoire national (Karsenty et al 2010). Cette politique a permis la multiplication des unités de production (Watremez et al 2023). L'industrialisation de ce secteur, consomme en majorité des énergies fossiles, responsables du réchauffement climatique. Ainsi, pour atteindre l'objectif zéro émission nette de CO<sub>2</sub> en 2050, il est essentiel de produire et de développer des ressources énergétiques (Monir et al 2022). Alors, il convient d'établir une chaîne de production à faible émission de carbone sur l'environnement. L'une des solutions prometteuses est la production de biocarburants à partir de déchets.

Benjamin (1997) a souligné qu'une manière de réduire l'empreinte carbone d'un site de production bois, consiste à valoriser les connexes. Ils peuvent diminuer les coûts de production et apporter aux ménages locaux un combustible propre. En valorisant ces déchets, il est possible de fabriquer des briquettes de bois. Le but de cette étude est d'apporter des solutions d'optimisation énergétique d'une usine de transformation du bois, en effectuant l'analyse de cycle de vie (ACV) d'un site et en caractérisant thermiquement de certaines essences de bois les plus usinés, au Gabon.

### Matériel et méthode

L'ACV a été réalisée sur le site industriel GBNS-Gabon, selon les normes ISO 14040 (2006) et 14044 (2006). Cependant, ce travail n'a pas pour vocation de remplir strictement tous les critères ISO, pour absence de certaines données de terrain. Le logiciel Simapro 9.6.0.1, Ecoinvent v3 et ReCipe 2016 End-point ont été utilisés. Le but est de montrer la pertinence de la valorisation des briquettes de bois. L'unité fonctionnelle (UF) est 1 m<sup>3</sup> de bois produit. Les chaînes de production sciage et contreplaqué sont les limites du système. Pour déterminer les propriétés de transport thermique des essences de bois, l'analyseur Hot Disk 2200 a été utilisé (Log et Gustafsson 1995, Gustavsson et al 2000, Adl-Zarrabi et al 2006, Hot-Disk 2024,). Les essences de bois qui ont été caractérisés sont : l'Okoumé, le Bilinga, le Movingui, l'Ozigo et le Niové issus de la forêt de la Ngounié, centre-sud du Gabon.

### Résultats et discussions

*Etude environnemental d'un site de production de bois*

Les résultats de l'inventaire montrent que l'électricité est l'unique flux d'énergie entrant utilisé pour l'automatisation des machines de l'unité de production de contreplaqué et de sciage. L'unité de contreplaqué consomme par jour en moyenne 136,5 kWh/UF. L'unité de sciage par contre consomme en moyenne 56,8 kWh/UF. L'énergie thermique utilisée pour le séchage du bois et au niveau des presses provient de la valorisation d'une certaine quantité de connexes de bois du complexe. Cependant, une certaine quantité de connexes de bois en excès est vendue aux petits commerçants locaux et l'autre incinérée à ciel ouvert sur le site.

Le Tab. 1 présente les résultats des dommages, sur la santé humaine, les écosystèmes et les ressources de l'unité de production de contreplaqué. Les dommages sur la santé humaine sont de 6,0E-04 DALY (Disability Adjusted Life Years ou AVCI Année de Vie Corrigée du facteur d'Invalidité). L'utilisation de la matière première (placage déroulé), la colle mélamine urée-formol (MUF), l'électricité, sont majoritairement responsables des dommages sur la santé humaine et le traitement de connexes de bois en excès par incinération présentait une contribution aux dommages sur la santé humaine à hauteur de 6,86 % pour 20 kg de déchets incinéré par jour (Tab. 2). La valeur des dommages sur les écosystèmes est de 1,11E-5 Species.yr (mesure du nombre de plantes vasculaires et d'organismes inférieurs, sur la terre et dans l'eau, qui devraient disparaître en raison des activités évaluées). L'utilisation de la matière première lignocellulosique est entièrement participative aux dommages sur les écosystèmes à hauteur de 89,71 % (Tab. 2). En effet, l'activité forestière participe à la disparition de certaines espèces et déséquilibre le milieu de vie d'autre pour leur évolution. Le traitement de connexes de bois en excès ne représentait que 0,34 % des dommages sur les écosystèmes (Tab. 2). En effet, la biomasse incinérée est une ressource renouvelable et le carbone émit participe à la croissance des nouveaux arbres, si et seulement si les forêts sont gérées de façon soutenable. La valeur des dommages sur les ressources vaut 13,66 USD2013 (U.S dollar reference year in 2013 ou ARDA Année de Reference du Dollar Américain en 2013). L'utilisation de l'électricité et de la MUF participe majoritaire à la disparition des ressources (Tab. 2). Ainsi, le traitement de connexes de bois par incinération au sein de l'unité de production de contreplaqué représente un point critique à optimiser pour ces dommages sur la santé humaine. La consommation accrue de l'énergie électrique est à optimiser pour son impact sur toutes les catégories dommages. L'utilisation de la MUF dans le processus de production de contreplaqué participe aux impacts sur la santé humaine, l'équilibre des écosystèmes et l'épuisement des ressources. L'optimisation de ce flux de matière entrant, commence par la mise au point des projets de recherche sur des résines biosourcées issue par exemple du bois, car la préférence de la MUF réside sur sa résistance à l'humidité. Cette caractéristique permet de produire du contreplaqué d'usage extérieur.

Tab. 1 : Impact de l'unité de production de contreplaqué sur les catégories dommages

Santé humaine	Ecosystèmes	Ressources
6,0E-04 DALY	1,11E -5 Species.yr	13,66 USD2013

Le Tab. 3 présente les résultats des dommages, sur la santé humaine, les écosystèmes et les ressources liés à la production de sciages. Les dommages sur la santé humaine sont de 2,8E-4 DALY. Les flux de matière (grumes) et d'énergie (électricité) participaient majoritairement aux dommages sur la santé humaine (Tab. 4). Le traitement de connexes de bois en excès par incinération contribuait aux dommages sur la santé humaine à hauteur de 21,86 % pour 30 kg de connexes de bois en excès incinérés par jour. La valeur des dommages sur les écosystèmes est de 9,90E-06 species.yr. L'utilisation des grumes est entièrement participative aux dommages sur les écosystèmes à hauteur de 97,43 % comme pour l'unité de production de

contreplaqué. En effet, l'activité forestière participe à la disparition de certaines espèces et déséquilibre le milieu de vie d'autre pour leur évolution. La valeur des dommages sur les ressources vaut 6,51 USD2013. Le flux de matière entrant (grumes), le flux d'énergie entrant (électricité) contribuaient majoritairement aux dommages sur les ressources. En effet, le faible rendement matière de la scierie (40-45%) augmente la pression sur les forêts, d'où les dommages liés à la consommation des grumes. Les dommages liés à l'utilisation de l'électricité proviennent de la consommation des carburants fossiles pour produire cette énergie, devant la forte demande mondiale. Par contre, le traitement de connexes de bois en excès par incinération participe à hauteur de 1,18 % (Tab. 4). Ainsi, le traitement par incinération des connexes de bois au sein de l'unité de production de sciages représente un point critique à optimiser pour ces dommages sur la santé humaine comme pour l'unité de production de contreplaqué. La consommation accrue de l'énergie électrique, est aussi à optimiser pour son impact sur toutes les catégories dommages.

Tab. 2 : Différents flux participants aux dommages sur la santé humaine, les écosystèmes et les ressources pour l'unité de production de contreplaqué

Catégories dommages	Santé humaine	Ecosystèmes	Ressources
<b>Flux entrants (%)</b>			
<b>Contreplaqué</b>	3,83	1,26	0
<b>Placages déroulés</b>	14,16	89,71	26,19
<b>MUF</b>	24,20	2,48	36,55
<b>Electricité</b>	45,92	4,02	34,46
<b>Chaleur issue de la chaudière à connexes de bois</b>	4,76	2,17	2,26
<b>Traitement des connexes de bois en excès</b>	6,86	0,34	0,38

Tab. 3 : Impact de l'usine de production de sciages sur les catégories dommages (End-points)

Santé humaine	Ecosystèmes	Ressources
2,8E-4 DALY	9,90E-06 species.yr	6,51 USD2013

Tab. 4 : Différents flux entrants participant aux dommages sur la santé humaine, les écosystèmes et les ressources pour l'unité de production de sciages

Catégories dommages	Santé humaine	Ecosystèmes	Ressources
<b>Flux entrants (%)</b>			
<b>Sciages</b>	0	0	0
<b>Grumes</b>	36,45	97,43	67,67
<b>Electricité</b>	40,60	1,87	29,98
<b>Chaleur issue de la chaudière à connexes de bois</b>	0,90	0,12	0,26
<b>Traitement des connexes de bois en excès</b>	21,86	0,57	1,18

L'électricité et la matière première lignocellulosique sont les consommés d'entrée à optimiser ainsi que le traitement de déchets en excès pour répondre efficacement aux objectifs de l'étude.

L'utilisation de l'électricité a un fort impact, car le complexe est entièrement automatisé. Murphy et al (2015) indiquent que la majorité des émissions responsables des impacts environnementaux liées à la transformation du bois dans la scierie proviennent de la consommation d'électricité et l'intégration d'une usine de cogénération réduirait les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la production du bois en éliminant l'utilisation de l'électricité du réseau national. La valorisation des déchets en excès pour produire des biocarburants comme les briquettes de bois est une solution viable d'optimisation énergétique. Elle contribue à l'atténuation de la déforestation, des émissions des GES et à l'amélioration du rendement matière des usines au niveau national et sous-régionale. Cette valorisation améliora les dommages liés à l'utilisation de la matière lignocellulosique (diminuer la pression sur les forêts).

#### *Propriétés de transport thermique des essences bois sélectionnées*

Les résultats de la caractérisation thermique des essences de bois sélectionnées montrent que la température, l'humidité relative et la densité ont un impact important sur les propriétés de transport thermiques des essences de bois sélectionnées. Le Movingui a une conductivité thermique relativement élevée (0,3050 W/mk), ce qui indique ses capacités de transfert de chaleur efficaces. Cela pourrait être avantageux dans les procédés de production de biocarburants tels que la pyrolyse et la liquéfaction hydrothermale, qui nécessitent un chauffage rapide et uniforme (Cao et al 2017, Rao et al 2022). Le Niové a présenté la diffusivité thermique la plus élevée (0,9317 mm<sup>2</sup>/s) parmi les cinq essences de bois testées, suggérant une propagation rapide de la chaleur. Bien que sa conductivité thermique ne soit pas la plus élevée, sa capacité à distribuer rapidement la chaleur pourrait être utile dans les processus de production de biocarburants qui impliquent des réactions sensibles à la chaleur, comme la liquéfaction hydrothermale et la digestion anaérobie (Cao et al 2017 ; Gerber Van Doren et al 2017). L'Ozigo présentait une capacité thermique spécifique élevée (1656 J/kg/k), indiquant de bonnes capacités de stockage de chaleur. Ceci est avantageux dans les processus de production de biocarburants où le maintien de températures stables est important, car la capacité de stockage de chaleur plus élevée d'Ozigo par unité de volume peut supporter des instabilités de température tampon.

#### **Conclusion et perspectives**

Cette étude démontre que la valorisation de déchets en excès d'une chaîne de production de bois en biocarburants, présente des avantages environnementaux potentiels par rapport aux carburants d'origine fossiles. Elle permet d'atténuer l'impact lié à l'utilisation de l'électricité, d'améliorer le faible rendement matière, de réduire les émissions de GES et la déforestation.

Les résultats remarquables sur les caractéristiques thermiques des essences de bois testés renforcent la nécessité de valoriser les connexes du secteur bois dans le contexte spécifique de production de biocarburants liquide, solide et gazeux pour une transition énergétique durable.

Les perspectives de cette recherche sont de réaliser l'analyse thermogravimétrique (ATG) des essences bois étudiées, ensuite élaborer et caractériser les biquettes et mettre en évidence le potentiel environnemental du combustible avec l'outil ACV.

#### **Remerciements**

Nous remercions particulièrement la société GBNS-Gabon et le laboratoire PRISME de France pour avoir œuvré dans la réalisation de ce travail.

## Références

- Adl-Zarrabi B, Boström L, Wickström U (2006) Using the TPS method for determining the thermal properties of concrete and wood at elevated temperature *Fire and Materials*, 30(5), 359–369. 915.
- Benjamin W (1997) Biomass development and waste wood co-firing. *Energy conversion and management*, 38, S545-S549.
- Cao L, Zhang C, Chen H, Tsang DCW, Luo G, Zhang S, Chen J (2017) Hydrothermal liquefaction of agricultural and forestry wastes: state-of-the-art review and future prospects. *Bioresource Technology*, 245, 1184–1193.
- Gerber Van Doren L, Posmanik R, Bicalho FA, Tester JW, Sills DL (2017) Prospects for energy recovery during hydrothermal and biological processing of waste biomass. *Bioresource Technology*, 225, 67–74.
- Gustavsson M, Gustavsson J, Gustafsson S, Hålldahl L (2000) Recent developments and applications of the hot disk thermal constants analyser for measuring thermal transport properties of solids. *High Temperatures-High Pressures*, 32(1), 47–51.
- Hot-Disk (2024) TPS Technology - Hot Disk.
- ISO 14040 (2006) Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre, International Organization for Standardization.
- ISO 14044 (2006) Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices, International Organization for Standardization.
- Karsenty A, Sembres T, Randrianarison M (2010) Paiements pour services environnementaux et biodiversité dans les pays du Sud : le salut par la « déforestation évitée ». *Revue Tiers Monde* (2), 57-74.
- Log T, Gustafsson SE (1995) Transient Plane Source (TPS) Technique for Measuring Thermal Transport. *Properties of Building Materials*. *Fire and Materials*, 19(August 1994), 43–49.
- Monir MU, Abd Aziz A, Yousuf A (2022) Integrated technique to produce sustainable bioethanol from lignocellulosic biomass. *Materials Letters: X*, 13, 100127.
- Murphy F, Devlin G, McDonnell K (2015) Greenhouse gas and energy based life cycle analysis of products from the Irish wood processing industry. *Journal of Cleaner Production*, 92, 134-14.
- Rao YKSS, Dhanalakshmi CS, Vairavel DK, Surakasi R, Kaliappan S, Patil P, Socrates S, Lalvani JIJ (2022) Investigation on Forestry Wood Wastes: Pyrolysis and Thermal Characteristics of *Ficus religiosa* for Energy Recovery System. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 1–9.
- Gerber Van Doren L, Posmanik R, Bicalho FA, Tester JW, Sills D L (2017) Prospects for energy recovery during hydrothermal and biological processing of waste biomass. *Bioresource Technology*, 225, 67–74.
- Watremez E, Mouissi M, Herbaut C, Ndjila J, Bunduku C (2023) Impact du secteur bois sur l'économie du Gabon entre 2018 et 2023. EY & Mays Mouissi Consulting, Juin 2023, 164 pages. [https://www.mays-mouissi.com/wp-content/uploads/2023/08/EY-MMC-2023-06-20\\_Etude-dimpact-du-secteur-bois-sur-leconomie-du-Gabon-Vfinale.pdf](https://www.mays-mouissi.com/wp-content/uploads/2023/08/EY-MMC-2023-06-20_Etude-dimpact-du-secteur-bois-sur-leconomie-du-Gabon-Vfinale.pdf)