

Modélisation et optimisation de la pression de compactage, du pourcentage en liant et du temps de rétention dans le processus de production des briquettes de biocombustibles à base de la sciure de bois carbonisée par la méthodologie des surfaces de réponses (MSR).

NGANKO Junior Maimou^{*1,2,3} ; KOFFI EKOUN Paul Magloire^{*1} ; GBAHA Prosper¹ ; TOURE Ousmane Alpha² ; KANE M.³ ; BABACAR Ndiaye³ ; NKOUNGA Willy Magloire² ; TIOGUE T. Claudine⁴ ; BILE ECHUA E. J.¹ YAO KOUASSI Benjamin¹.

¹Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse de l'environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN) INP – HB Coté d'Ivoire BP :1093 Yamoussoukro RCI.

²Laboratoire Eau Energie Environnement et Procédés Industriels (LE3PI) ESP – UCAD BP :5085, Dakar – Fann, Sénégal

³Centre d'Etudes et de Recherches sur les Energies Renouvelables (CERER) – UCAD BP :476 Sénégal

⁴Biotechnology and Animal Productions, Aquaculture Advanced School of Agriculture, Forestry, Water and Environment the University of Ebolowa, PO Box 786 Ebolowa – Cameroon.

juniorganko@gmail.com

Mots clés : Sciure de bois ; briquettes combustibles ; surfaces de réponses ; optimisation, pouvoir calorifique supérieur (PCS).

Introduction

De nos jours, une attention particulière est accordée au développement des énergies renouvelables. L'accès à l'énergie est désormais considéré comme un droit fondamental et une condition nécessaire au processus de développement (Caron et Châtaigner 2017, Nations Unies 2020). Cependant, il est estimé qu'environ un tiers de la population mondiale utilise encore du bois et du charbon comme combustible domestique (FAO 2022). Les leaders mondiaux prônent des initiatives visant à produire, distribuer et consommer les énergies nouvelles au détriment de leur concurrentes dites fossiles ou polluantes (Chen et al 2020). Face à ces problématiques, le potentiel énergétique de la biomasse et sa disponibilité font d'elle une excellente alternative (Kyaw et al 2020) car elle contribue de manière significative à l'augmentation de la diversité énergétique (Wu et al 2022). Cependant, la faible densité énergétique, la diversité de taille, la forte teneur en humidité sont des propriétés indésirables qui freinent l'utilisation de certaines biomasses comme combustibles (Chungcharoen et Srisang 2020). Ces propriétés les rendent difficiles à manipuler, stocker et transporter. Certaines techniques permettent d'améliorer considérablement les propriétés de ces combustibles (Shen et al 2021). Alors, la technique la plus utilisée à cette fin est le briquetage (Sunny et al 2021, Wang et al 2020). Cependant, le briquetage seul ne comble pas toutes les attentes (Abo-Amsha et Chakraborty 2023) car les propriétés des briquettes sont influencées par plusieurs facteurs comme la nature du matériau précurseur, et des paramètres opératoires et le type de liant. Ce travail se focalise sur la modélisation et l'optimisation des paramètres opératoires comme la pression de compactage, le pourcentage en liant, et le temps de rétention dans le processus de valorisation de la sciure carbonisée en briquette combustible en utilisant les pelures de pommes de terre comme liant.

Méthodologie

La Fig. 1 présente la synthèse méthodologique utilisée pour modéliser et optimiser les paramètres opératoires du procédé.

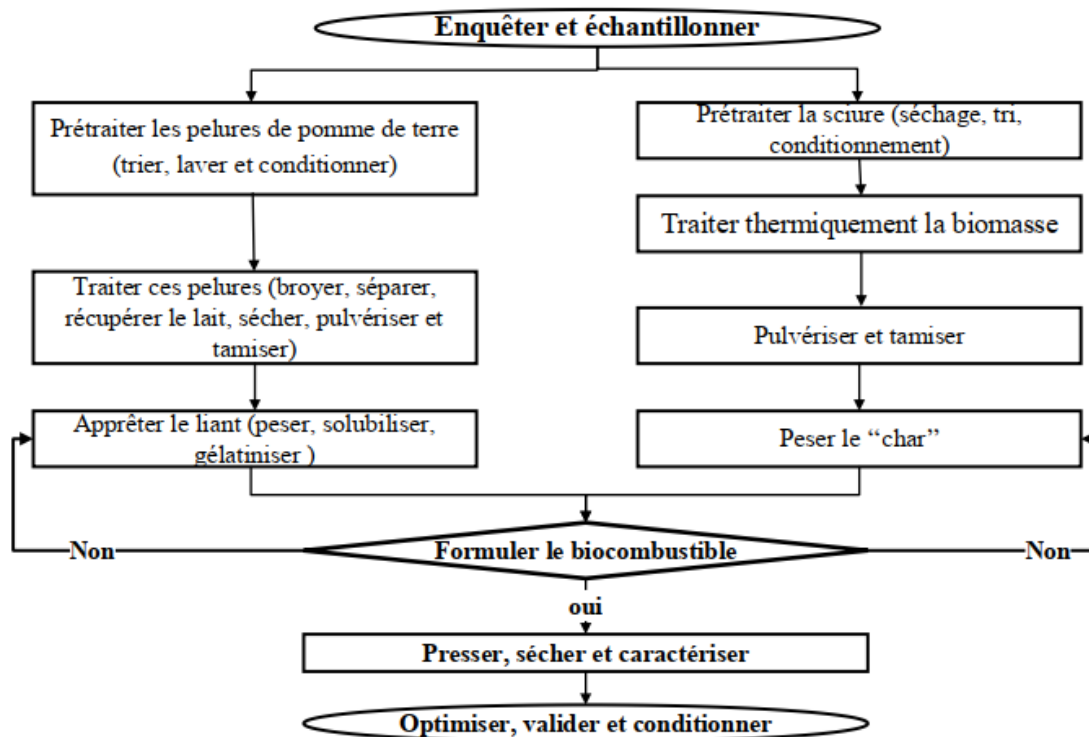


Fig. 1 : Synthèse méthodologique

Résultats et discussion

Le profil de température en fonction du temps obtenu durant la carbonisation est présenté à la Fig. 2.

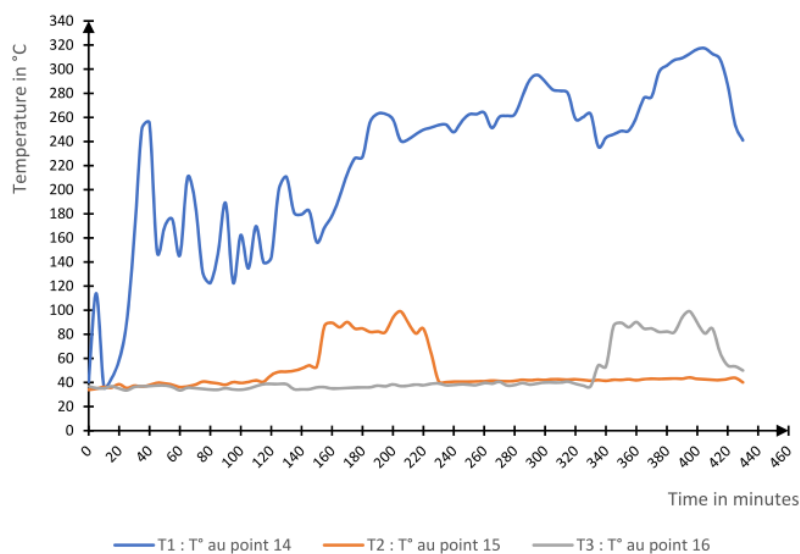


Fig. 2 : Profils de température: (T1) température à l'intérieur du réacteur, (T2) extérieur haut du réacteur et (T3) extérieur bas du réacteur.

La laine de verre utilisée pour l'isolation des parois du réacteur de traitement thermochimique est responsable de variation de température entre les courbes l'extérieures du réacteur et celle de l'intérieure en présentant une conservation de chaleur à l'intérieur du réacteur.

Effets principaux des paramètres sur la teneur en centre des combustibles produits

Les diagrammes de la Fig. 3 représentent les effets principaux des facteurs sur la teneur en cendre.

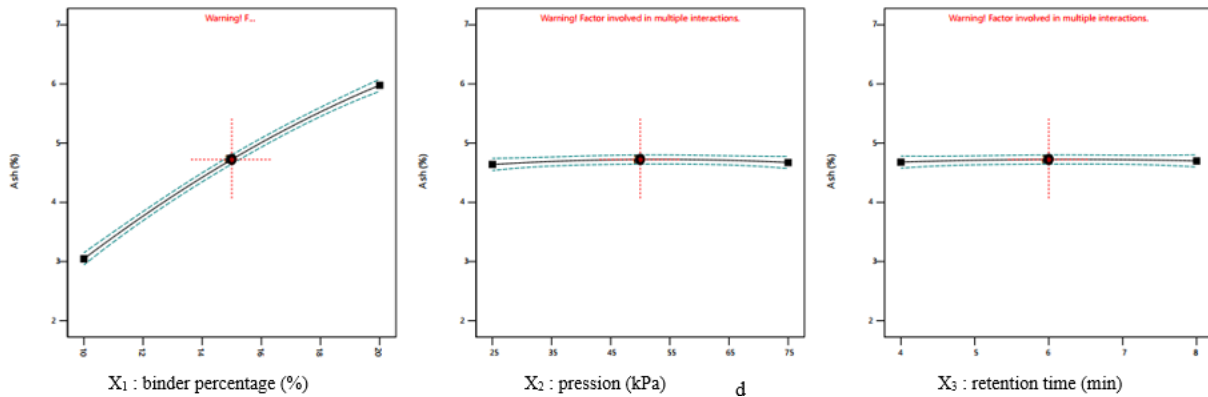


Fig. 3 : Diagrammes des effets principaux du pourcentage en liant, pression de compactage et du temps de rétention sur la teneur en cendre des combustibles

Malgré des variations de pression de compactage (25 à 75 kPa) et le temps (4 à 8 min), le taux de cendre reste constant. Le même constat est fait par (Olugbade et al 2019). Par contre, l'augmentation du pourcentage en liant est fortement corrélé avec la teneur en cendre.

Effets principaux des paramètres sur L'Indice de Résistance aux Chocs (IRC)

Les diagrammes de la Fig. 4 illustrent les effets principaux des facteurs sur l'IRC.

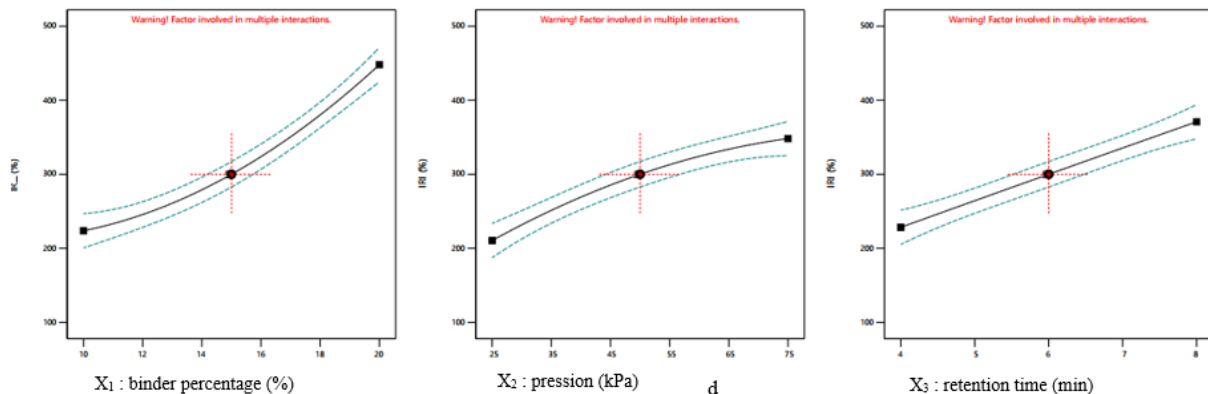


Fig. 4 : Diagrammes des effets principaux du pourcentage en liant, pression de compactage et du temps de rétention sur l'indice de résistance aux Chocs des combustibles

L'analyse des courbes de la Fig. 4 montre que l'IRC des briquettes atteint son pic (500%) lorsque les paramètres X₁ (pourcentage en liant) et X₂ (pression de compactage) et X₃ (temps de rétention) sont à leurs niveaux maximaux, c'est-à-dire respectivement 20%, 75 kPa et 8 min. Cette affirmation corrobore avec les études de Adu-Poku et al (2022).

Effets principaux des paramètres sur le pouvoir calorifique supérieur (PCS)

Les diagrammes de la Fig. 5 illustrent les effets principaux des facteurs sur le PCS des combustibles

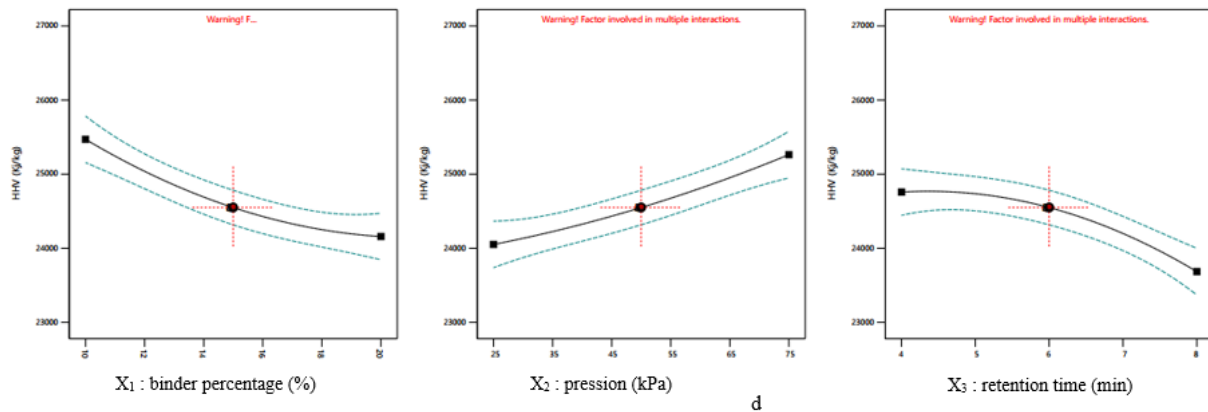


Fig. 5 : Diagrammes des effets principaux du pourcentage en liant, pression de compactage et du temps de rétention sur le pouvoir calorifique supérieur des combustibles.

Le tracé de la Fig. 5 montre qu'un pourcentage en liant minimal (10%) et une pression de compactage max (75 kPa) permet d'obtenir un pouvoir calorifique élevé (environ 27000 kJ/kg). Ce constat corrobore avec les travaux de Sunnu et al (2021).

Optimisation des paramètres de production des briquettes combustibles

Pour trouver un compromis entre Y1, Y2 et Y3, une approche basée sur la fonction de désirabilité est appliquée avec le logiciel Design Expert version 13. Les paramètres (X1, X2 et X3) sont maintenus dans leurs plages spécifiées et les réponses (Y1, Y2 et Y3) sont optimisées (conf. Fig. 6).

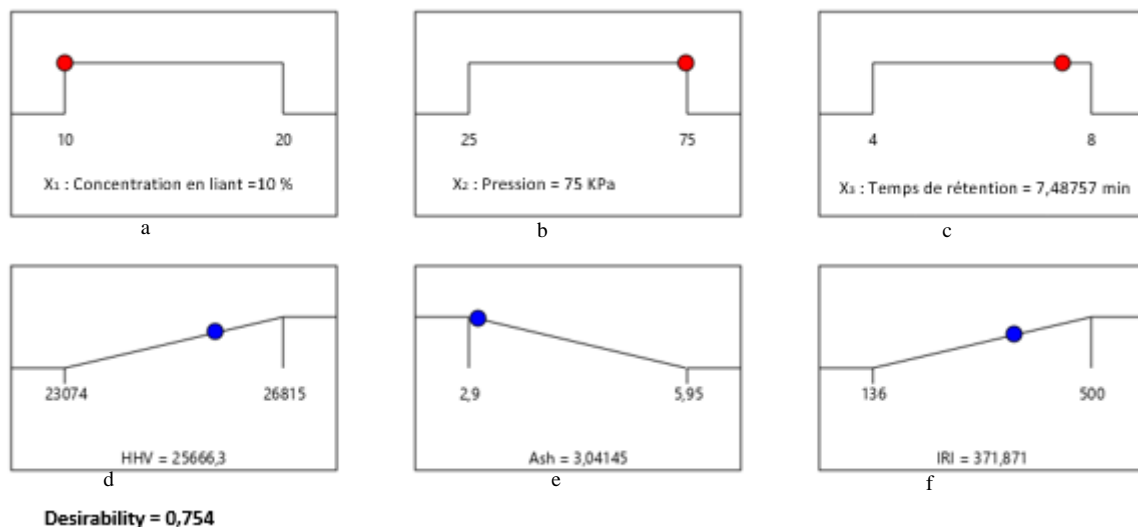


Fig. 6 : Condition optimale du process de production des biocombustibles composite avec la sciure de Fraké carbonisée : (a, b, c) représentent respectivement les valeurs optimales de la concentration en liant, de la pression de compactage et du temps de rétention ; (d, e, f) sont des valeurs prédites du PCS, de la teneur en cendre, et l'IRC respectivement.

Les valeurs optimales (Fig. 6) correspondent à un pourcentage en liant de 10% (Fig. 6a), une pression de compactage de 75 kPa (Fig. 6b), et un temps de rétention de 7,49 min (Fig. 6c). Les résultats prédits avec une probabilité de 75,4% d'exactitudes sont les suivants : 25 666,30 kJ/kg (Fig. 6d), 3,04% (Fig. 6e), et 371,88 % (Fig. 6f) pour le PCS, la cendre et l'IRC respectivement.

Conclusion

La présente étude a modéliser, optimiser et analyser l'influence de la pression de compactage, du pourcentage en liant et du temps de rétention sur le pouvoir calorifique supérieur, (PCS), le taux de cendre et l'indice de résistance aux chocs (IRC) des briquettes produites à base de la sciure carbonisée. En utilisant la méthodologie des surfaces de réponses de Box-Behnken, les chercheurs ont déterminé les paramètres optimaux pour une production industrielle des biocombustibles (10%, 75 kPa, 7,49 min respectivement pour le pourcentage de liant, la pression de compactage et le temps de rétention). Les perspectives futures s'orientent vers l'amélioration du réacteur proposé, avec l'objectif de récupérer le gaz de synthèse.

Remerciements

Ce travail a reçu le soutien financier de l'Agence Française de Développement (AFD) à travers le Centre d'Excellence d'Afrique pour la valorisation des déchets en produits à haute valeur ajoutés (CEA - VALOPRO).

Références bibliographiques

- Abo-Amsha K, Chakraborty N (2023) Surface Density Function and Its Evolution in Homogeneous and Inhomogeneous Mixture n-Heptane MILD Combustion. Combustion Science and Technology, 0(0), 1–25. <https://doi.org/10.1080/00102202.2023.2182197>
- Adu-Poku KA, Appiah D, Asosega KA, Derkyi NSA, Uba F, Kumi EN, Akowuah E, Akolgo GA, Gyamfi, D (2022) Characterization of fuel and mechanical properties of charred agricultural wastes: Experimental and statistical studies. Energy Reports, 8, 4319–4331. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.03.015>
- Caron P, Châtaigner J-M (2017) A challenge for the planet: The Sustainable Development Goals in debate. Editions Quae. <https://www.torrossa.com/en/resources/an/5064296>
- Chen L, Wen C, Wang W, Liu T, Liu E, Liu H, Li Z (2020) Combustion behaviour of biochars thermally pretreated via torrefaction, slow pyrolysis, or hydrothermal carbonisation and co-fired with pulverised coal. Renewable Energy, 161, 867–877. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.148>
- Chungcharoen, T, Srisang N (2020) Preparation and characterization of fuel briquettes made from dual agricultural waste: Cashew nut shells and areca nuts. Journal of Cleaner Production, 256, 120434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120434>
- FAO (2022) The State of the World's Forests 2022. Forestry solutions for green recovery and inclusive, resilient and sustainable economies. FAO. <http://www.fao.org/documents/card/fr/c/cb4834fr>
- Kyaw KTW, Ota T, Mizoue N (2020) Forest degradation impacts firewood consumption patterns: A case study in the buffer zone of Inlay Lake Biosphere Reserve, Myanmar. Global Ecology and Conservation, 24, e01340. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989420308817>
- Nations Unies (2020) Sustainable Development Goals. New York: Nations Unies.
- Olugbade T, Ojo O, Mohammed T (2019) Influence of binders on combustion properties of biomass briquettes: a recent review. BioEnergy Research, 12(2), 241–259. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09973-w>

Shen, H., Luo, Z., Xiong, R., Liu, X., Zhang, L., Li, Y., Du, W., Chen, Y., Cheng, H., Shen, G., & Tao, S. (2021). A critical review of pollutant emission factors from fuel combustion in home stoves. *Environment International*, 157, 106841. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106841>

Sunnu, A. K., Adu-Poku, K. A., & Ayetor, G. K. (2021). Production and Characterization of Charred Briquettes from Various Agricultural Waste. *Combustion Science and Technology*, 195(5), 1–22. <https://doi.org/10.1080/00102202.2021.1977803>

Wang, C., Zhang, S., Wu, S., Sun, M., & Lyu, J. (2020). Multi-purpose production with valorization of wood vinegar and briquette fuels from wood sawdust by hydrothermal process. *Fuel*, 282, 118775. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118775>

Wu, C., Zhuo, Y., Xu, X., Farajzadeh, E., Dou, J., Yu, J., Shen, Y., & Zhang, Z. (2022). A combined experimental and numerical study of coal briquettes pyrolysis using recycled gas in an industrial scale pyrolyser. *Powder Technology*, 404, 117477. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117477>