

RÉSUMÉ DE THÈSE /
ACADEMIC THESIS ABSTRACT / RESUMEN DE TESIS ACADÉMICAÉconomie du secteur de la biomasse
lignocellulosique durable et logistique
des biocarburants en Malaisie

Chu Lee ONG

RÉSUMÉ

La biomasse lignocellulosique est une ressource renouvelable et non comestible qui peut être utilisée pour produire des biocarburants de manière durable et contribuer ainsi à atténuer le changement climatique tout en participant à la sécurité énergétique. Les pays tropicaux comme la Malaisie sont censés disposer d'abondantes ressources en biomasse, mais les paysages agricoles fragmentés, communs en Asie du Sud-Est, posent des problèmes pour la production de biocarburants qui découlent en grande partie des opérations logistiques et ont un impact négatif sur les économies d'échelle et la viabilité des bioraffineries. Cette thèse vise à comprendre les coûts et les approvisionnements associés au transport de la biomasse, à évaluer les impacts de la fragmentation du paysage pour les bioraffineries et à identifier les emplacements optimaux pour celles-ci. Dix sources de biomasse (résidus agroforestiers de récoltes et de scieries) ont été considérées, en tenant compte des différents facteurs logistiques, scénarios d'approvisionnement et impacts du paysage fragmenté. L'étude a commencé par une simulation du transport de la biomasse à travers la Malaisie péninsulaire, en utilisant le logiciel GRASS GIS pour estimer les approvisionnements et leurs coûts. Quatre-vingt-neuf lieux ont été désignés comme sites potentiels dans chaque district. Le transport de la biomasse représente une proportion importante des dépenses opérationnelles. Les dépenses d'investissement pour les différentes voies de conversion et les coûts des bioraffineries ont été dérivés d'estimations en ordres de grandeur et les approvisionnements ont été simulés. L'étude a identifié quatre sites optimaux pour différents types de biomasse, en présentant le détail des coûts et des approvisionnements. Les deux types de biomasse les plus compétitifs sont la paille de riz et la fibre de palme pressée (FPP). Les coûts pour la FPP varient de 130,6 à 206,3 USD/tonne, donnant 0,47 à 0,97 million de tonnes de biocarburant FPP fermenté par an, et pour la paille de riz de 123,2 à 207,8 USD/tonne, donnant 0,49 à 0,56 million de tonnes de biocarburant fermenté par an. En tonnes d'équivalent pétrole (tep), les deux représentent ensemble 5 à 7 % de la consommation annuelle de pétrole de la Malaisie. Ces résultats suggèrent, de manière assez contre-intuitive, qu'une abondance de biomasse n'entraîne pas nécessairement une baisse des coûts des biocarburants, car des facteurs tels que la fragmentation spatiale et la teneur en eau amplifient les coûts de transport. Notre analyse souligne la nécessité d'une planification stratégique, avec de plus gros camions pour le transport, le séchage de la matière première en amont et la création de centres de consolidation locaux pour gérer efficacement la biomasse. Elle souligne la nécessité d'une approche plus globale et stratégique permettant de comprendre les spécificités des zones d'approvisionnement et de réaliser ainsi le potentiel de la Malaisie en matière de production durable de biocarburants.

Mots-clés : biocarburant, biomasse, bioraffinerie, matière première, paysage fragmenté, lignocellulose, résidus, coûts du transport, déchets, Malaisie.

Economics of sustainable lignocellulose biomass
and biofuel logistics in Malaysia

ABSTRACT

Lignocellulose biomass is an inedible and renewable resource that can be used to produce biofuels sustainably and thus help to mitigate climate change while helping to ensure energy security. Tropical countries like Malaysia are assumed to have abundant biomass resources, but the fragmented farming landscapes common in Southeast Asia raise challenges for biofuel production, which largely stem from logistics operations and have an adverse impact on economies of scale and the viability of biorefineries. This thesis seeks to understand the costs and supplies associated with biomass transport, assess the impacts of landscape fragmentation on biorefineries, and identify optimum biorefinery locations. Ten sources of biomass (agroforestry residues from fields, sawmills, and processing plants) were considered, taking into account various logistical factors, supply scenarios, and impacts of landscape fragmentation. The study began with a simulation of biomass transport across Peninsular Malaysia, using GRASS GIS software to estimate costs and supplies. Eighty-nine points within each district were designated as potential locations. Biomass transport was recorded as a major cost component in operational expenditures. The capital expenditures for various conversion pathways and biorefinery operations were estimated across relevant orders of magnitude, with the biofuel supplies also being simulated. The study identified four optimum locations for various types of biomass, presenting detailed cost and supply structures. The two most competitive biomass types are rice straw and pressed palm fibre (PPF). Costs ranged a) from 130.6 to 206.3 USD/tonne, yielding 0.47 to 0.97 million tonnes of PPF fermented biofuel per year, and b) 123.2 to 207.8 USD/tonne for rice straw, yielding 0.49 to 0.56 million tonnes of fermented biofuel per year. In tonnes of oil equivalent (toe), both together amounted to 5–7% of Malaysia's annual petroleum consumption. Surprisingly, the findings suggest that an abundance of biomass does not necessarily result in lower biofuel costs, because factors such as spatial fragmentation and moisture content amplify transport costs. Our analysis emphasises the need for strategic planning, including the use of larger trucks, early moisture removal, and the establishment of local consolidation centres to manage biomass effectively. It highlights the need for a more holistic and strategic approach in order to understand supply zone specifics with a view to unlocking Malaysia's potential for sustainable biofuel production.

Keywords: biofuel, biomass, biorefinery, feedstock, landscape fragmentation, lignocellulose, residues, transport costs, waste, Malaysia.

Economía del sector de la biomasa
lignocelulósica sostenible y logística de los
biocombustibles en Malasia

RESUMEN

La biomasa lignocelulósica es un recurso renovable e incomedible que puede utilizarse para producir biocombustibles de manera sostenible, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático y a la seguridad energética. Aunque los países tropicales como Malasia se supone que tienen abundantes recursos de biomasa, los paisajes agrícolas fragmentados comunes en el sudeste asiático suponen un reto para la producción de biocombustible, a causa de las operaciones logísticas, que afectan a las economías de escala y a la viabilidad de las biorrefinerías. Esta tesis pretende comprender los costes y suministros asociados con el transporte de la biomasa, identificar la ubicación óptima de las biorrefinerías y evaluar los efectos de la fragmentación del paisaje en las biorrefinerías. Se consideraron diez fuentes de biomasa provenientes de residuos agroforestales de campos y molinos, teniendo en cuenta varios factores logísticos, escenarios de suministro y efectos de fragmentación de paisaje. Se comenzó con la simulación de transporte de biomasa a través de la Malasia peninsular, utilizando el software GRASS GIS para estimar costes y suministros. Se designaron 89 puntos en cada distrito como ubicaciones potenciales. Los costes de transporte de biomasa son uno de los componentes principales de los costes operacionales. Se simularon, con estimaciones en órdenes de magnitud, las inversiones de capital para diferentes vías de conversión, los costes de las biorrefinerías y los suministros. El estudio identifica cuatro ubicaciones óptimas para diferentes biomases, y presenta en detalle su coste y sus estructuras de suministro. Las dos biomases más competitivas son la paja de arroz y la fibra de palma prensada (PPF). Con costes que van de 130,6 a 206,3 USD/tonelada, la PPF produciría de 0,47 a 0,97 millones de toneladas de biocombustible fermentado al año. Y la paja de arroz, con costes de 123,2 a 207,8 USD/tonelada, produciría de 0,49 a 0,56 millones de toneladas de biocombustible fermentado al año. En toneladas de petróleo equivalente los dos juntos representarían el 5–7 % del consumo de petróleo anual en Malasia. Sorprendentemente, los resultados sugieren que la abundancia de biomasa no genera necesariamente costes más bajos de biocombustible, ya que factores como la fragmentación espacial y la proporción de humedad amplifican los costes de transporte. El análisis enfatiza la necesidad de una planificación estratégica que incluya la utilización de camiones mayores, un secado previo y el establecimiento de centros de consolidación local para gestionar la biomasa de manera efectiva. Destaca la necesidad de enfoques más holísticos y estratégicos que permitan comprender las especificidades de las zonas de suministro y desbloquear el potencial malayo de biocombustibles sostenibles.

Palabras clave: biocombustible, biomasa, biorrefinería, materia prima, fragmentación del paisaje, lignocelulosa, residuos, costes de transporte, desechos, Malasia.



Doi: <https://doi.org/10.19182/bft2024.359.a37446>

Droit d'auteur © 2024, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad
Date de publication : 29 février 2024



Licence Creative Commons :
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

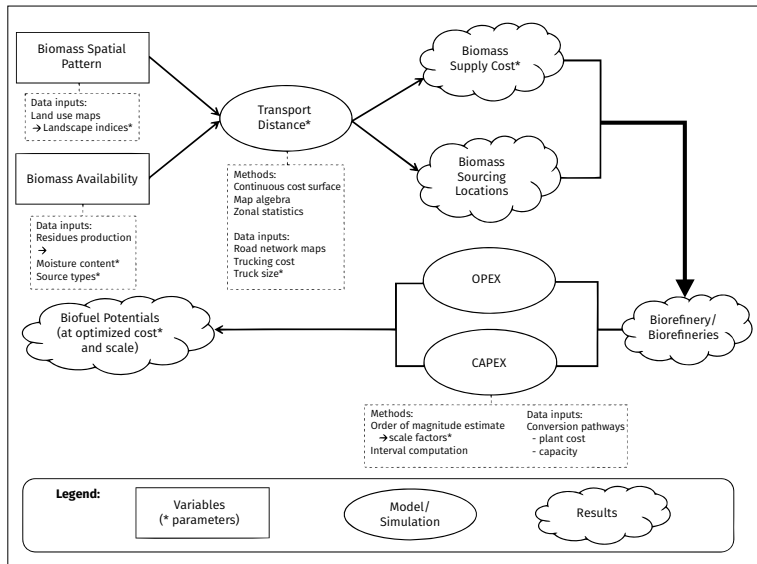


Figure 1. Illustration schématique du cadre utilisé pour dériver les deux parties du résultat. Pour la première partie, les outils du logiciel GRASS GIS ont permis de simuler les coûts d'approvisionnement en biomasse et d'identifier les lieux de collecte les plus économiques pour chaque type de biomasse. Cela a permis d'obtenir des scénarios pour les bioraffineries et les dépenses d'exploitation et, combiné avec une estimation des coûts de la transformation chimique, de calculer le potentiel en biocarburants de la Malaisie péninsulaire. Parallèlement, des variables clés et des variables calculées (désignées par →) ont permis d'effectuer des analyses de régression et des analyses de scénarios pour quantifier l'importance et l'impact des différents paramètres afin d'identifier la dynamique de l'économie de la biomasse et des bioraffineries dans le contexte de fragmentation spatiale caractérisant la Malaisie.

Figure 1. Schematic diagram illustrating the framework applied to derive the two parts of the result. The first part uses tools in GRASS GIS software to simulate biomass supply costs and identify the least-cost locations for each type of biomass. This produces biorefinery scenarios and operating expenditures and is combined with the chemical plant cost estimation to derive biofuel potential in Peninsular Malaysia. In parallel, key variables and computed variables (denoted by →) were used to perform regression analyses and scenario analyses in order to quantify the significance and impacts of the parameters and to identify the dynamics of biomass and biorefinery economics in the context of spatial fragmentation in Malaysia.

Figura 1. El diagrama esquemático ilustra el marco utilizado para obtener los dos partes del resultado. La primera parte utiliza herramientas del software GRASS GIS para simular los costes de suministro de biomasa e identifica las ubicaciones de menor coste para cada tipo de biomasa. Se han generado escenarios de biorrefinerías y gastos operativos, que se combinan con estimaciones de costes de plantas químicas para calcular el potencial en biocombustible de la Malasia peninsular. Paralelamente, se utilizaron variables clave y variables calculadas (indicadas con →) para realizar análisis de regresiones y análisis de escenarios. Esto sirve para cuantificar la importancia y los impactos de los parámetros y para descubrir dinámicas en la economía de la biomasa y de las biorrefinerías en el contexto de fragmentación espacial de Malasia.

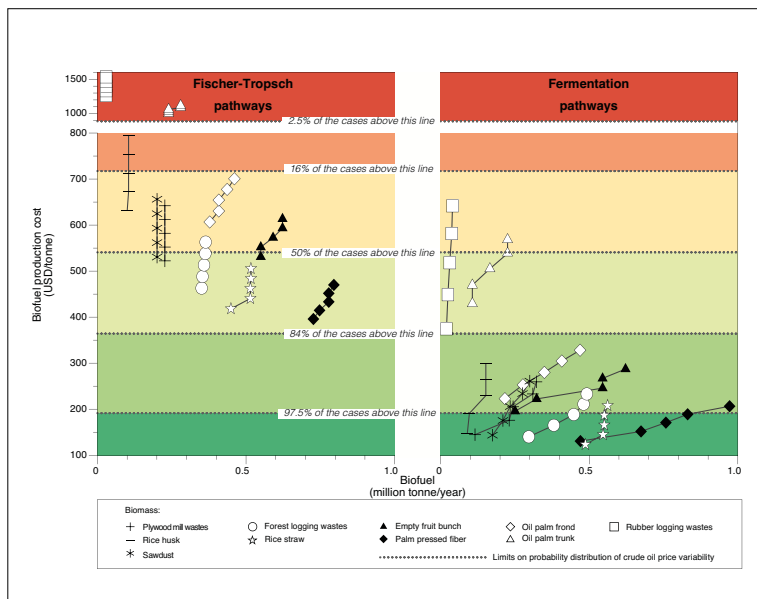


Figure 2. Comparison entre, d'une part, les coûts de production de biocarburants à des échelles optimisées, par les voies de conversion Fischer-Tropsch et de fermentation, avec des livraisons par camion de 26 tonnes à partir de diverses sources de matières premières lignocellulosiques en Malaisie péninsulaire vers des emplacements optimisés, et d'autre part la variabilité des prix du pétrole brut pendant la période allant d'août 2005 à juillet 2020. Deux types de matières premières, la paille de riz et les fibres pressées de palmier, se sont révélés être les biocarburants les plus compétitifs par la voie de la fermentation, dont les coûts sont inférieurs à 97,5 % de la variabilité des prix du pétrole brut.

Figure 2. Comparison between biofuel production costs at optimised scales, via Fischer-Tropsch and fermentation conversion pathways and with 26-tonne truck supplies to optimised locations from various sources of lignocellulose feedstock in Peninsular Malaysia, and the variability of crude oil prices during August 2005 to July 2020. Two types of feedstock, rice straw and palm-pressed fibre, emerged as the most competitive biofuels via the fermentation pathway, where costs are below 97.5% of the variability of crude oil prices.

Figura 2. Se comparan con la variabilidad de precios de crudo desde agosto de 2005 hasta julio de 2020, los costes de producción de biocombustible mediante vías de conversión de Fischer-Tropsch y de fermentación a escalas optimizadas, con suministros de diferentes materias primas lignocelulósicas en camiones de 26 toneladas a ubicaciones optimizadas en la Malasia peninsular. Dos materias primas, la paja de arroz y la fibra de palma prensada, mediante la vía de fermentación, son los biocombustibles que resultan más competitivos, con costes inferiores al 97,5 % de la variabilidad en los precios del crudo.

Graduate and academic degree: PhD in Bioresource Management

University: Institute of Tropical Forestry & Forest Products (INTROP), Universiti Putra Malaysia, Malaysia.

Date of defence: 23rd March 2023.

Management and Supervision: Jean-Marc RODA (Cirad - Direction Générale Délégée à la Recherche et à la Stratégie / Adjunct professor - INTROP - Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia).

Co-supervision: Paridah Md. TAHIR (INTROP-Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia), Marcel DJAMA (ITAFoS-Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia), Rashila binti RAMLI (IKMAS - Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia).

Composition of the jury

President: Nitty Hirawaty binti KAMARULZAMAN (Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia).

Examiners: Meriem FOURNIER (Centre INRAE Nancy Grand Est, France), Shaufique Fahmi bin Ahmad SIDDIQUE (IKP - Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia), Abdul Rahim bin Abdul SAMAD (ITAFoS - Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia).

Language used for writing: English.

Funding: Aerospace Malaysia Innovation Centre (AMIC).

Access to manuscript: <https://hal.science/tel-04299963>

Contact: Institute of Tropical Forestry & Forest Products (INTROP), Universiti Putra Malaysia, 43400 UPM Serdang, Malaysia. candice.ocl@gmail.com

References

- Chen B. J. T., Ong C. L., Babin J., 2017. Cost analysis and GIS-modelling for the production of biofuel from lignocellulosic biomass in biorefineries in Peninsular Malaysia. *ASM Science* (10), Special Issue 2017(1) ICT-Bio, 1-7. <https://www.akademisains.gov.my/asmsj/article/cost-analysis-and-gis-modelling-for-the-production-of-biofuel-from-lignocellulosic-biomass-in-biorefineries-in-peninsular-malaysia-2/>
- Ong C. L., Babin J., Chen J. T., Liew K. E., Roda J. M., 2016. Designing model for biomass transport cost of biofuel refinery in Malaysia. *In: Proceeding of the Burapha University International Conferences*, 610-621.
- Ong C. L., Deprés G., Hollebecq J. E., Shaiffudin Hishamudin M. O., Kamaruddin N., Anugerah A. R., Amir Mustafa A. N., Roda J. M., 2020. Quantifying the effect of landscape structure on transport costs for biorefinery of agricultural and forestry wastes in Malaysia. *GCB Bioenergy*, 12 (11): 910-922. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12740>
- Ong C. L., Roda J.-M., 2020. Data for: Biomass Supply Cost in Peninsular Malaysia - Transportation distances, truck capacity, available biomass quantity, and biomass transport cost in Ringgit Malaysia (MYR) per fresh tonne for Kuala Lumpur, Malaysia and least-cost locations of 10 categories of biomass. CIRAD Dataverse, V1. <https://doi.org/10.18167/DVN1/IQO4L6>