

MODÉLISATION PRÉDICTIVE DE LA DÉFORESTATION LIÉE À LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES ALAMBICS D'YLANG-YLANG À NOSY-BE (2024-2035)



PREDICTIVE MODELING OF DEFORESTATION LINKED TO ENERGY CONSUMPTION OF YLANG-YLANG DISTILLERIES IN NOSY-BE (2024-2035)

| Razafimandimby Fabrice ^{1,2*} | Jean Claude Rakotoarisoa ^{1,2} | Rakotoniriana Jimmy Bona Michel ^{1,3} | et | Jean Nirinarison Razafinjaka ^{1,2} |

¹ École Doctorale Thématique Énergies Renouvelables et Environnement | Université d'Antsiranana | Madagascar |

² Laboratoire d'Automatique | École Supérieure Polytechnique | Université d'Antsiranana | Madagascar |

³ Laboratoire des Machines Electriques | École Supérieure Polytechnique | Université d'Antsiranana | Madagascar |

| DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14270463> | Received November 30, 2024 | Accepted November 04, 2024 | Published November 07, 2024 | ID Article | Fabrice-Ref08-6-19ajiras021224 |

RÉSUMÉ

Introduction À Nosy-Be, l'exploitation d'huile essentielle d'ylang-ylang, crucial pour l'économie locale, repose majoritairement sur l'utilisation du bois pour alimenter les alambics, ce qui contribue de manière significative à la déforestation. Ce phénomène s'intensifie avec la croissance démographique, mettant en péril les ressources forestières de l'île. **Objectif** : Cette étude vise à modéliser l'impact de cette consommation sur la déforestation et à explorer des alternatives énergétiques pour réduire les pressions environnementales. L'objectif principal est d'évaluer l'évolution de la déforestation jusqu'en 2035 et d'identifier des solutions durables. **Méthodes** : Deux approches ont été comparées : les réseaux de neurones artificiels et la régression linéaire multiple. Les réseaux de neurones permettent de modéliser les relations complexes entre variables telles que la population, la consommation de bois et l'efficacité des alambics. En revanche, la régression linéaire multiple offre une méthode plus simple et transparente. **Résultats** : Les réseaux de neurones prévoient une consommation annuelle de 46 995 m³ de bois, conduisant à une déforestation de 46,99 km² d'ici 2035. La régression linéaire multiple, quant à elle, estime une déforestation légèrement supérieure de 52,84 km². Cette différence s'explique par la capacité des neurones à mieux capturer les interactions entre les différentes variables. **Conclusion** : Cette étude souligne l'urgence d'adopter des systèmes énergétiques renouvelables, comme les systèmes photovoltaïques, pour réduire la consommation de bois. Une telle transition permettrait non seulement de limiter la déforestation, mais également de soutenir durablement l'économie locale tout en préservant l'environnement.

Mots clés : Régression linéaire, modélisation, consommation, population, énergie renouvelable.

ABSTRACT

Introduction: In Nosy-Be, the production of ylang-ylang essential oil, crucial for the local economy, relies primarily on wood consumption to fuel distillation stills, significantly contributing to deforestation. This phenomenon intensifies with population growth, endangering the island's forest resources. **Objective:** This study aims to model the impact of this consumption on deforestation and explore energy alternatives to reduce environmental pressures. The main objective is to assess the evolution of deforestation until 2035 and identify sustainable solutions. **Methods:** Two approaches were compared: artificial neural networks and multiple linear regression. Neural networks allow the modeling of complex between variables such as population, wood consumption, and still efficiency. In contrast, multiple linear regression offers a simpler and more transparent method. **Results:** Neural networks predict an annual wood consumption of 46,995 m³, leading to deforestation of 46.99 km² by 2035. Multiple linear regression estimates a slightly higher deforestation of 52.84 km². This difference is explained by the neural networks' ability to better capture interactions between different variables. **Conclusion:** This study emphasizes the urgency of adopting renewable energy systems, such as photovoltaic systems, to reduce wood consumption. Such a transition would not only limit deforestation but also sustainably support the local economy while preserving the environment.

Keywords: Linear regression, modeling, consumption, population, renewable energy.

1. INTRODUCTION

La production d'huile essentielle d'ylang-ylang une place centrale dans l'économie de Nosy-Be, une île renommée pour la qualité de ses huiles essentielles. Cette activité est essentielle non seulement pour le revenu des producteurs locaux, mais aussi pour le secteur de la parfumerie internationale, qui recherche des produits de haute qualité. Cependant, elle repose encore sur des pratiques traditionnelles nécessitant une utilisation intensive de bois comme source d'énergie pour les alambics, contribuant de manière significative à la déforestation. Cette consommation de bois, bien qu'efficace pour l'extraction de l'huile, entraîne une perte substantielle de couverture forestière [1].

Le problème de la déforestation est accentué par la croissance démographique d'île. Avec une population en expansion, la demande pour l'huile essentielle d'ylang-ylang augmente, accentuant la pression sur les ressources

forestières. Chaque année, des milliers de mètres cubes de bois sont nécessaires pour alimenter les alambics, menaçant ainsi les écosystèmes forestiers. Les forêts de Nosy-Be, en plus de leur importance économique, jouent un rôle clé dans la régulation climatique locale et la préservation de la biodiversité.

Face à cette situation, cette étude modélise l'impact de l'utilisation des alambics sur la déforestation en tenant compte de variables telles que la consommation de bois, la croissance démographique et le rendement des alambics... En utilisant à la fois les réseaux de neurones et la régression linéaire multiple, nous avons comparé les résultats pour prédire l'évolution de la déforestation. Les réseaux de neurones, avec leur capacité à capturer les relations complexes entre les variables, ont estimé une déforestation de 46,99 km² d'ici 2035, tandis que la régression linéaire multiple a prédit une déforestation de 52,84 km². Bien que ces deux méthodes aient fourni des résultats proches, les réseaux de neurones semblent mieux adaptés aux dynamiques non linéaires et aux interactions complexes de cette étude. Ces analyses renforcent l'urgence d'adopter des alternatives énergétiques telles que les systèmes photovoltaïques, de promouvoir le reboisement et de réaliser des études économiques sur les alambics afin de limiter la déforestation tout en soutenant l'économie locale.

2. MATERIELS AND MÉTHODES

Deux techniques ont été employées pour prédire la déforestation à Nosy-Be d'ici 2035 : les réseaux de neurones artificiels (RNA) et la régression linéaire multiple. Les RNA ont permis de capturer les relations non linéaires entre la croissance démographique et la consommation de bois, tandis que la régression linéaire a modélisé les corrélations historiques. Les données ont été analysées à l'aide d'un logiciel de traitement avancé, et les simulations ont fourni des prévisions de déforestation allant de 46,99 km² à 52,84 km² selon la méthode utilisée.

2.1 Paramètres d'entrées pour la modélisation de la production d'huile d'ylang-ylang:

Les paramètres utilisés dans cet article sur la production d'huile essentielle d'ylang-ylang à Nosy-Be, tels que la consommation de bois, les émissions de Co₂, et les caractéristiques des alambics, sont issus d'autres recherches [2], tandis que la population de l'île, estimée à 109 000 habitants avec un taux de croissance annuel moyen de 2,5 % depuis les années 2000, est basée sur des données spécifiques à cet article.

2.2 Méthodologie des réseaux de neurones :

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont largement utilisés dans divers domaines pour leur capacité à modéliser des systèmes complexes non linéaires [3,4,5,6,7]. Leur capacité à apprendre à partir de données en fait des outils efficaces pour les prévisions environnementales [8]. Le modèle proposé est un réseau de neurones à propagation avant (*feedforward neural network*), conçu pour prendre en compte les données démographiques, ainsi que la consommation de bois liée aux alambics traditionnels. Les données d'entrée (variables explicatives) incluent la population, la capacité des alambics, et la consommation de bois par session de distillation. La sortie principale (variable cible) du réseau est la consommation totale de bois, qui sert ensuite à estimer la déforestation.

Formellement, le modèle RNA peut être représenté par une fonction approximative :

$$\hat{Y}(t) = f(W, X(t)) \quad (1)$$

Où

- $\hat{Y}(t)$ est la consommation de bois prédit à l'année t,
- W représente les poids et biais du réseau de neurones, ajustés au cours de l'entraînement,
- $X(t)$ est le vecteur des variables d'entrée à l'année t,
- f est la fonction d'activation non linéaire appliquée aux neurones du réseau.

L'architecture de la couche d'entrée correspond aux variables démographiques et environnement, une couche cachée avec N_{NN} neurones, et une couche de sortie avec une seule cible : la consommation annuelle de bois. La fonction d'activation choisie pour les neurones de la couche cachée est la fonction sigmoïde tangente :

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2)$$

Pour le chouchement de sortie, la fonction d'activation est linéaire :

$$f(x) = x \quad (3)$$

La couche de sortie utilise une fonction d'activation linéaire pour produire une estimation continue de la consommation de bois.

Pour entraîner le modèle RNA, les données historiques de population et de consommation de bois de Nosy-Be ont été utilisées comme ensemble d'entraînement. Les poids du réseau sont ajustés grâce à l'algorithme de rétropropagation de l'erreur (*backpropagation*), optimisé par l'algorithme de Levenberg-Marquardt, un gradient descendant modifié. L'objectif est de minimiser l'erreur quadratique moyenne (MSE) entre les valeurs prédites et les valeurs observées, formulées comme suit [9]:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (4)$$

Où N est le nombre de données d'entraînement, Y_i est la consommation réelle de bois, et \hat{Y}_i est la consommation prédite par le réseau.

L'entraînement s'effectue en plusieurs itérations, appelées époques, et se poursuit jusqu'à ce que la performance du modèle atteigne un seuil d'erreur minimal prédéfini (par exemple, $MSE < 10^{-6}$) ou jusqu'à ce que le nombre maximum d'époques soit atteint. La normalisation des données d'entrée et de sortie a été utilisée pour améliorer la stabilité et la convergence de l'entraînement.

L'algorithme de rétropropagation ajuste les poids du réseau pour minimiser l'erreur MSE. Il utilise la dérivée de la fonction d'activation et l'erreur pour mettre à jour les poids et biais :

$$W_{new} = W_{old} - \eta \frac{\partial MSE}{\partial W} \quad (5)$$

Où :

η : le taux d'apprentissage.

$\partial MSE / \partial W$: le gradient de l'erreur par rapport aux poids. $\partial MSE / \partial W$

Pour prédire la population future, on utilise la formule suivante :

$$P(t) = P_0 * (1 + r)^t \quad (6)$$

Où :

- P_0 : est la population
- r : est le taux de croissance
- t : est le nombre d'années

Pour les calculs d'espace, on utilise ces formules pour estimer l'espace occupé par le volume de bois

$$Espace_{empilé} = \frac{V_{bois}}{Hauteur_{empilé}} \quad (7)$$

Où la hauteur d'empilement est de 0.5, 1 ou 2 mètres

2.3 La Régression linéaire multiple

La régression linéaire multiple est une méthode statistique utilisée pour modéliser la relation entre variables dépendantes Y et plusieurs variables explicatives ou indépendantes X_1, X_2, \dots, X_n . Elle permet d'expliquer et de prédire la valeur de Y en fonction des valeurs de ces explicatives [10]. L'équation générale de la régression linéaire multiple est la suivante :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \epsilon \quad (8)$$

- Y : La variable dépendante à modéliser (la surface déforestation).
- X_1, X_2, \dots, X_n : Les variables explicatives, qui représentent des facteurs influençant Y, tels que les variables climatiques, économiques, ou autres.
- β_0 : L'ordonnée à l'origine, représentant la valeur de Y lorsque toutes les variables explicatives sont nulles.
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: les coefficients associés aux explicatives, indiquant de combien Y varie en fonction de chaque variable X_i .
- ϵ : Le terme d'erreur aléatoire, capturant les influences non prises en compte par les variables explicatives.

3. RÉSULTAT ET DISCUSSION

Les résultats obtenus à partir des deux méthodes de prédiction de la déforestation à Nosy-Be révèlent une différence notable dans l'estimation de l'impact environnemental des alambics. Les réseaux de neurones prédisent une déforestation de 46.99 km² d'ici 2035, tandis que la régression linéaire multiple donne une estimation légèrement plus élevée, à 52.84 km². Cette variation s'explique par les caractéristiques de chaque méthode : le réseau de neurones, en capturant des relations non linéaires complexes, semble mieux adapter à des phénomènes environnementaux multifacteurs. La régression linéaire multiple, bien qu'efficace pour modéliser des simples, risque de sous-estimer ou surévaluer certaines tendances.

Ainsi, bien que les deux méthodes fournissent des résultats utiles, l'utilisation des réseaux de neurones semble plus appropriée pour modéliser l'évolution future de la déforestation dans ce contexte. Cette méthode offre une meilleure précision en prenant en compte les interactions complexes entre la croissance démographique, la consommation de

bois et les performances des alambics. Cela met en lumière l'ampleur du problème environnemental posé par l'utilisation des alambics à bois et souligne l'urgence de transitionner vers des solutions énergie renouvelable, tels que les systèmes photovoltaïques (PV), afin de réduire l'impact sur les forêts locales.

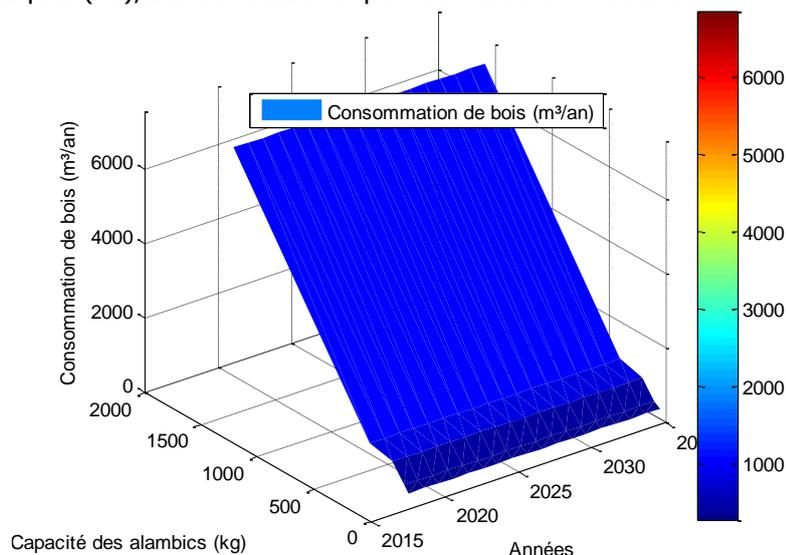


Figure 1 : Consommation de bois selon la capacité des alambics et la croissance démographique.

La fig. 1 présentée offre un aperçu de la manière dont la consommation annuelle de bois varie en fonction de la capacité des alambics et de l'évolution démographique à Nosy-Be. IL révèle comment l'expansion démographique influence la demande en bois pour la distillation d'ylang-ylang. En particulier, les alambics de plus grande capacité, comme ceux de 1600kg, nécessitent une quantité de bois beaucoup plus élevée par rapport aux modèles plus petits de 50kg. La croissance continue de la population, avec un taux de 2,5% par an, accentue la demande en bois, ce qui exerce une pression accrue sur les ressources forestières locales et augmente les besoins énergétiques. Cette dynamique contribue à une exploitation plus intensive des forêts, menant à une déforestation significative. Les prévisions soulignent donc la nécessité de trouver des solutions pour réduire cette consommation, telles que des technologies de distillation plus efficaces ou des sources d'énergie renouvelables comme les panneaux solaires. Une telle approche aidera à atténuer les effets néfastes sur l'environnement et à préserver les écosystèmes forestiers tout en répondant aux besoins énergétiques de l'île.

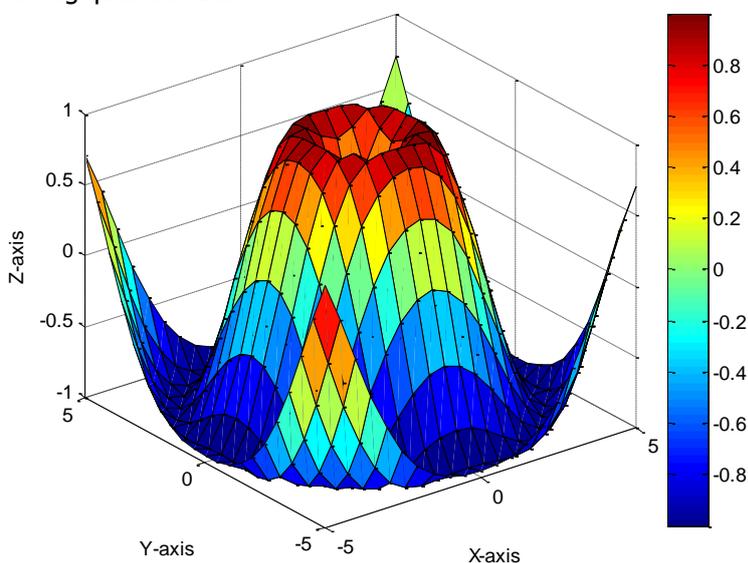


Figure 2 : Impact des variables sur la déforestation (une perspective visuelle).

La fig. 2 illustre la relation complexe entre les variables X, Y et Z, permettant d'observer visuellement les variations et tendances essentielles pour notre étude. La surface représentée met en évidence les zones de forte et faible intensité, facilitant l'identification des interactions entre les variables et enrichissant les discussions sur la durabilité et la gestion des ressources. Parallèlement, les coefficients de régression révèlent l'impact des variables sur la déforestation liée à la production d'huile d'ylang-ylang. Le coefficient nul indique qu'il n'y a pas d'interception, tandis que les coefficients

de 0.0002 et 0.0001 montrent qu'une augmentation de ces variables entraîne une hausse proportionnelle de la déforestation. Enfin le coefficient de 2.9747 souligne l'importance de surveiller ces facteurs pour assurer une gestion durable des ressources forestière, rendant cette analyse quantitative essentielle pour formuler des stratégies de conservation efficaces et atténuer les impacts environnementaux.

5. CONCLUSION

L'analyse des impacts environnementaux liés à l'utilisation des alambics sur l'île de Nosy-Be révèle des résultats préoccupants. En projetant une population locale de 165 856 habitants d'ici 2035, la demande croissante en huile essentielle d'ylang-ylang nécessitera une utilisation continue, voire accrue, des alambics. Actuellement, on a fait l'étude sur cinq alambics en activité consomment annuellement 46 995 m³ de bois, ce qui se traduit par une déforestation de 46,99 km² par an. Ce chiffre alarmant menace la couverture forestière de Nosy-Be, indispensable à la régulation climatique, à la préservation de la biodiversité et aux moyens de subsistance des populations locales. Une déforestation à cette échelle risque de causer une dégradation irréversible de l'environnement, impactant la faune, la flore endémique et l'économie de l'île.

Face à cette situation critique, il devient urgent de chercher des solutions alternatives pour limiter cette déforestation. En utilisant des méthodes de modélisation avancées comme les réseaux de neurones et la régression linéaire multiple, nous avons prédit que la déforestation pourrait atteindre 52, 84 km² d'ici 2035, selon la régression linéaire, contre 46, 99 km² selon les réseaux de neurones. Ces résultats soulignent l'importance d'explorer diverses approches pour une évaluation précise de l'impact environnemental. L'adoption de systèmes photovoltaïques pourrait réduire drastiquement la consommation de bois des alambics, préservant ainsi les ressources forestières de l'île. En parallèle, des initiatives de reboisement sont essentielles pour restaurer les écosystèmes forestiers et renforcer la résilience environnementale. Cette transition énergétique vers des sources d'énergie renouvelable, couplée à des efforts de reboisement, offrirait une voie durable tout en maintenant la production d'huile essentielle, vitale pour l'économie locale. Pour garantir une transition réussie, il est indispensable de mettre en place des politiques d'incitation, un soutien financier adapté et de sensibiliser les acteurs locaux à l'importance de pratiques plus durables avant que l'équilibre écologique de Nosy-Be ne soit irréversiblement.

6. RÉFÉRENCES

1. Abdelkafi I, Feki R, Bazin D. La prévision de l'inflation par la méthode des réseaux de neurones : Le cas de la Tunisie. *Éthique et économique/Ethics and Economics*. 2012;9(1).
2. Ameur Zaimeche O, Zeddouri A, Heddam S, Kechiched R, Belksier MS. Modélisation et reconstitution des facies non carottés à l'aide des méthodes à base des réseaux de neurones artificiels et cluster analysis, cas du réservoir trias argileux gréseux inférieur, champ de Sif Fatima, bassin de Berkine, sud de l'Algérie. 2014. Présenté dans le cadre d'une conférence.
3. Djeriri Y. Les Réseaux de Neurones artificiels. 2017. Consulté à l'adresse : <https://www.researchgate.net/publication/319939107>.
4. Karidioula D, Akmel DC, Assidjo NE, Trokourey A. Modélisation du séchage solaire de fèves de cacao par le Réseau de Neurones Artificiel. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1), 195–202. DOI: [10.4314/ijbcs.v12i1.15](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.15).
5. Lek S, Dimopoulos I, Derraz M, El Ghachtoul Y. Modélisation de la relation pluie-débit à l'aide des réseaux de neurones artificiels. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*. 1996;9(3):319–331. <https://doi.org/10.7202/705255ar>.
6. Mathlouthi H, Abderrahim K, Ltaïef M, Telmoudi S. Identification des systèmes non linéaires: approche multimodèle neuronale. In *Proceedings of the Conference on Command and Control of Industrial Processes*, 127. École Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Gabès, Tunisie.
7. Pave A. Modélisation des écosystèmes forestiers: enjeux, problèmes et approches. *Revue d'Écologie*. 1995;50(3):193-7.
8. Randriamiharisoa PR. Manuel rapide et utile pour producteurs d'huiles essentielles ; Université d'Antananarivo, École Supérieure des Sciences Agronomiques. 1995.
9. Razafimandimby F, Rakotoarisoa JC, Rakotoniriana JBM, Razafinjaka N. Environmental and energy optimization of still in Nosy-Be: transition to sustainable photovoltaic systems. *Int J Multidiscip Curr Educ Res. International Journal of Multidisciplinary and Current Educational Research*, 6(4), 232-240.
10. Su Y, Wang X, Zhang C, Zuo M. Multiple Regression: Methodology and Applications. *Highlights in Science, Engineering and Technology AMMSAC*. 2023; 49: 542.



How to cite this article: **Razafimandimby Fabrice , Jean Claude Rakotoarisoa , Rakotoniriana Jimmy Bona Michel , Jean nirinarison razafinjaka**. MODÉLISATION PRÉDICTIONNELLE DE LA DÉFORESTATION LIÉE À LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES ALAMBICS D'YLANG-YLANG À NOSY-BE (2024-2035). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2024; 19(6): 29-33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14270463>

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>