

Valorisation et étude de l'activité antifongique et antioxydante d'extraits de trois bois durables de la Côte d'Ivoire

[Valuation and study of the antifungal and antioxidant activity of extracts of three sustainable woods from the Ivory Coast]

D. Thomas¹, N. B. Florence¹, A. Félix¹, B. B. Appolinaire¹, N. J. C. Yao¹, D. K. René¹, A. N. Armand², A. Kouabenan³, T. Fabrice⁴, A. A. Augustin¹, and A. Nadine⁵

¹Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse de l'Environnement et des Energie Nouvelles (LAPISEN), BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Laboratoire de zoologie et d'entomologie agricole, Côte d'Ivoire

³Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny, DFR Agriculture et Ressources Animales, Laboratoire de Phytopathologie et de Biologie Végétale, BP 1313, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

⁴Société de Développement Des Forêts, Abidjan, Côte d'Ivoire

⁵Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Ecologie des forêts de Guyane (ECOFOG), Guyane, France

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Ivory Coast, the rational management of waste from forestry operations (also known as related waste) is one of the State's environmental priorities. It must meet the challenges of the circular economy by proposing various ways of recovery, including the recovery of bioactive molecules from species. Thus, this study aims to evaluate the bioactive potential (antioxidant and antifungal activity) of extracts of three sustainable species from Côte d'Ivoire: *Milicia excelsa* (Iroko), *Mansonia altissima* (Bete), *Nauclea diderrichii* (Badi). The antioxidant activity was determined by ABTS tests and the antifungal activity was evaluated against a brown rot, *Coniophora puteana* in in vitro condition. The Bete extract showed the highest antifungal activity: the concentration 6 mg/mL led to a total inhibition of the mycelium growth, against 8 mL/mg for Iroko and Badi. Regarding antioxidant activity, Badi extract (66.898%) showed the highest percentage of inhibition, followed by Iroko (55,25%) and Bété (52,12%).

KEYWORDS: *Milicia excelsa*, *Mansonia altissima*, *Nauclea diderrichii*, Antioxidant activity, Antifungal activity.

RESUME: En Côte d'Ivoire, la gestion rationnelle des déchets issus de l'exploitation forestière (appelés aussi connexes) constitue une des priorités environnementales de l'Etat. Elle doit répondre aux enjeux de l'économie circulaire en proposant diverses voies de valorisation, notamment la valorisation des molécules bioactives issues d'essences. Ainsi, cette étude a pour objectif d'évaluer le potentiel bioactif (activité antioxydante et antifongique) d'extraits de trois espèces durables de la Côte d'Ivoire: *Milicia excelsa* (Iroko), *Mansonia altissima* (Bété), *Nauclea diderrichii* (Badi). L'activité antioxydante a été déterminée par les tests d'ABTS et l'activité antifongique a été évaluée vis-à-vis de d'une pourriture brune, *Coniophora puteana* en condition in vitro. L'extrait du Bété a montré l'activité antifongique la plus élevée: la concentration 6 mg/mL a conduit à une inhibition totale de la croissance du mycélium, contre 8 mL/mg pour l'Iroko et le Badi. Pour ce qui concerne l'activité antioxydante, l'extrait du Badi (66,898 %) a présenté le plus fort pourcentage d'inhibition, suivi de l'iroko (55,25 %) et du Bété (51,12 %).

MOTS-CLEFS: *Milicia excelsa*, *Mansonia altissima*, *Nauclea diderrichii*, activité antioxydante, activité antifongique.

1 INTRODUCTION

L'exploitation du bois en Côte d'Ivoire, avec un volume de 1,2 millions de m³ et un taux de rendement moyen de 50% [1], génèrent de gros volumes de déchets, appelés aussi connexes. Ces déchets sous valorisés, sont souvent éliminés par incinération. La gestion intelligente de ces déchets constitue des priorités environnementales importantes pour la Côte d'Ivoire [1] et constitue par la même occasion des opportunités de nouvelles activités économiques. De nombreuses approches sont possible: valorisation énergétique, chimique et organique [2]. Répondant aux enjeux de l'économie circulaire, la valorisation des biomolécules (valorisation chimique) suscite beaucoup d'intérêt d'autant que les consommateurs sont à la recherche de produits de consommation plus respectueux de l'environnement et la santé humaine. En effet, elle offre l'opportunité d'intégrer un nouveau maillon dans la chaîne de valeur de la filière bois à travers la valorisation vers divers marchés d'applications à haute valeur ajoutée. Ainsi, dans certains pays, la « filière extractibles » est une voie incontournable de la valorisation de la biomasse forestière: ils peuvent entrer dans la conception d'actifs pour le secteur cosmétique, phytopharmaceutique, préservation du bois, nutraceutique... [3,4]. L'émergence de cette filière s'appuie essentiellement sur la disponibilité de molécules bioactives d'origine naturelle [4] qui se caractérisent chez les espèces tropicales par leur diversité et leur forte teneur [5]. Dans ce contexte, plusieurs travaux scientifiques portant sur l'étude des propriétés biologiques, toxicologiques et chimiques ont montré que les essences ivoiriennes constituent un important réservoir de molécules bioactives à fort potentiel économique [5]. Parmi ces essences nous pouvons citer, *Milicia excelsa* (Iroko), *Mansonia altissima* (Bété), *Nauclea diderrichii* (Badi)... [6,7]. Depuis plusieurs années de nombreux travaux ont été conduits sur la valorisation des extractibles issus de l'Iroko, du Bété, et du Badi à travers l'étude de leurs potentialités bioactives de leurs extraits contre divers bioagresseurs et leur biotolérance [8]. L'essentiel de ces travaux de recherche portent que sur les mélanges complexes de molécules issus des feuilles, des racines et des écorces [6,7]. Pourtant, l'essentiel des connexes issus de l'industrie forestière provient du bois (duramen et l'aubier). Ces extractible peuvent être utilisé pour la préservation du bois. Par ailleurs, plusieurs chercheurs se sont intéressés au potentiel des molécules bioactives, en particulier aux possibilités de transfert de la résistance aux bois non durables. Ils ont démontré que ces extraits peuvent conférer une résistance à des bois non durables et exposés à des conditions environnementales sévères. Dans ce contexte, [9] ont obtenu des résultats très intéressants sur l'efficacité d'extraits issus du duramen et de l'aubier de sept espèces amazoniennes (*Bagassa guianensis*, *Manilkara huberi*, *Sextonia rubra*, *Vouacapoua americana*, *Andira surinamensis*, *Handroanthus surinamensis*, *Handroanthus serratifolius*, et *Qualea rosea*). Ces différents résultats reflètent une bonne activité antioxydante et antifongique des extraits issus de ces essences. Ainsi l'objectif de ce travail a été d'étudier l'activité antioxydante et antifongique d'extrait issu du duramen de *Milicia excelsa* (Iroko), de *Mansonia altissima* (Bété) et de *Nauclea Diderrichii* (Badi) vis-à-vis des champignons lignivores Journal.

2 MÉTHODOLOGIES

2.1 COLLECTE DES ÉCHANTILLONS

L'étude porte sur des extraits hydroalcooliques issus du duramen de trois (3) essences ivoiriennes durables, *Milicia excelsa* (Iroko), *Mansonia altissima* (Bété), *Nauclea diderrichii* (Badi). Les arbres ont été prélevés dans la Forêt classée de Besso située au Sud-Est de la Côte-d'Ivoire (06°14' à 06°30' N, 003°37' à 003°48' W). L'activité antifongique des extraits a été évaluée sur un champignon de pourriture brune, *Coniophora puteana*, (strain BAM 15). Cette souche a été fournis par l'unité de recherche Biwooeb du CIRAD de Montpellier.

2.2 EXPÉRIENCES

2.2.1 PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Après abattage des arbres (3 arbres/ essence), sur chacune des billes prélevées à 1,3 m, des échantillons de bois ont été collectés dans le duramen. Les échantillons ainsi prélevés ont été concassés, avant d'être broyés avec un broyeur Retsch SM100 (Retsch® group, Haan, Germany) et à l'aide d'un tamis de maille 1 mm. Les broyats sont présentés dans la Figure 1. Après le broyage les échantillons ont été placés dans une enceinte climatique réglée en température et humidité relative de l'air respectivement sur 30°C - 85% Hr; 20°C – 65% Hr; 20°C – 30% Hr, pendant 2 semaines puis l'humidité a été déterminé. La mesure de l'humidité moyenne des échantillons a été réalisée en triréplicat pour chacune des essences. Une masse de broyat (M1=15 g), a été placée à l'étuve à 103°C ± 2 °C pendant 24 h afin de déterminer la masse sèche (M2). Ainsi, l'humidité des échantillons a été déterminée selon la formule:

$$H = ((M1 - M2)) / M1 \times 100 \quad (\text{Eqn 1})$$

H = humidité des échantillons en %,

M1= masse humide des échantillons en g,

M2 = une masse sèche des échantillons en g.

L'émergence du concept de la chimie verte a généré un regain d'intérêt pour l'eau en tant que solvant vert. Elle est non toxique, sans danger pour la santé et non inflammable. Elle peut être aussi utilisée avec un co-solvant organique. Ainsi dans cette étude un mélange éthanol-eau (50: 50, v/v) a été utilisé comme solvant d'extraction. Pour ce faire, 25g de broyat de bois (M1) ont été placés dans un ballon de 500 mL, puis 250 mL d'un mélange solvant éthanol-eau (50: 50, v/v, éthanol à 95% et de l'eau distillée) ont été introduits. Le ballon a été porté à une température de 50°C pendant 1h 30 (une agitation manuelle a été appliquée toutes les 15 minutes). Les extraits ont été obtenus après filtration sur filtre whatman (grade 4 CHR) puis évaporés à partir d'un évaporateur rotatif (2L Mini Rotary Verdampfer, Berlin Allemagne) sous pression réduite à température de 40°C. L'extrait sec (M3) obtenu a été conservé à l'abri de la lumière à 5°C. La masse sèche théorique des broyats de bois a été déterminée à partir de l'équation (1) de l'étape précédente et la teneur moyenne en extractibles (T) a été déterminée à partir d'un triréplicat par espèces selon la formule:

$$T = (100 \times M3) / M2 \quad (\text{Eqn. 2})$$

T = teneur en extractibles;

H = humidité des échantillons en %,

M1= masse humide d'échantillon en g,

M2 = masse sèche théorique supposée de l'échantillons en g,

M3 = masse de l'extrait sec obtenu après évaporation.



Fig. 1. Broyat de bois d'iroko (A), de Bété (B) et de Badi (C) de granulométrie 1 mm

2.2.2 COMPOSITION CHIMIQUE DES EXTRAITS

La présence de certains groupements chimiques qui sont connus pour leurs activités biologiques ont été mise évidence en faisant des tests colorimétriques, consistant à faire apparaître une coloration ou des précipités spécifiques aux grandes familles chimiques conformément aux techniques décrites dans les travaux de [10]. Trois répétitions ont été effectués pour chacun des tests et l'interprétation des résultats a été faite comme suit:

- Réaction positive: +
- Réaction négative: -

La mise en évidence des polyphénols a été réalisée selon la méthode décrite par [10]. Ainsi, dans 2 mL d'extrait (5 mg/mL, éthanol-eau) a été ajouté, quelques gouttes de solution alcoolique de chlorure ferrique à 2% pour respectivement chacune des essences étudiées. L'apparition au d'une coloration bleue noirâtre ou verte plus ou moins foncée traduit la présence de composés phénoliques. De même, la mise en évidence des tanins catéchiques a été réalisée selon la méthode décrite par [10]. Dans 5 mL d'extrait (5 mg/mL, éthanol-eau) a été ajouté, 15 mL de réactif de STIASNY (10 mL de formol à 30% additionné de 5 mL d'HCl concentré). Le mélange a été maintenu au bain-marie à 80°C, pendant 30 minutes puis refroidi. L'observation de précipités caractérisent la présence de tanins catéchiques [10]. La solution contenant les tanins catéchiques a été filtrée sur filtre whatman (grade 4 CHR) et le filtra recueilli a été saturé avec de l'acétate de sodium. A ce mélange, 3 gouttes de chlorure ferrique à 2% ont été ajoutées. L'apparition d'une coloration bleu-noir intense indique la présence des tanins galliques [10]. La mise évidence des flavonoïdes a été réalisé dans un tube contenant 3 mL de la solution d'extrait (5 mg g/ mL éthanol-eau), dans laquelle quelques gouttes d'une solution de NaOH 10 % sont ajoutées. Une coloration jaune-orangée caractérise la présence des flavonoïdes. Pour ce qui concerne les saponines, dans un tube à essai contenant 10 mL d'eau distillée est dissout 5 mg g/ mL (éthanol-eau) d'extrait de bois. Le tube est agité vigoureusement pendant 30 à 45 secondes dans le sens de la

longueur puis laissé au repos pendant 15 minutes. La hauteur de la mousse est mesurée. La persistance d'une mousse de plus de 1 cm de hauteur indique la présence de saponines. Aussi, pour la mise évidence des alcaloïdes, 4 mL de chaque solution d'extrait (5 mg/ mL éthanol-eau), est évaporé à sec par chauffage au bain-marie dans une capsule. Le résidu est repris dans 4 mL d'alcool à 60 °C. La solution alcoolique est répartie dans 2 tubes à essais. Dans le premier tube, 2 gouttes de réactif de Bourchardat (réactif iodo-ioduré) sont ajoutées. L'observation d'un précipité de coloration brun-rougeâtre indique la présence des Alcaloïde. Dans l'autre tube, sont ajoutés 2 gouttes de réactif de Dragendorff (solution aqueuse d'iodo-bismuth de potassium). L'apparition d'un précipité ou d'une coloration orangée indique la présence d'alcaloïdes. En fin, pour ce qui concerne les Stérols et polyterpènes, 0,1 g d'extrait sec pour chacune des essences est dissous à chaud dans 1 mL d'anhydride acétique dans une capsule puis repris dans un tube à essai où sont coulés 0,5 mL d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré. L'apparition d'une coloration violette, qui vire au bleu puis au vert, révèle la présence de stérols et triterpènes.

2.2.3 DOSAGE DES COMPOSÉS PHYTOCHIMIQUE DES EXTRAITS

La teneur en polyphénols totaux des extraits a été déterminée selon la méthode de Folin-Ciocalteu, décrite par [11]. Un volume de 2,5 mL de réactif de Folin-Ciocalteu dilué (1/10) a été ajouté à 30 µL d'extrait hydroalcoolique (5 mg/mL). Le mélange a été maintenu pendant 2 min dans l'obscurité, puis il a été ajouté 2 mL de solution de carbonate de sodium (75 g/L). Le mélange a été placé au bain-marie à 50°C durant 15 minutes, puis refroidi rapidement. Les analyses ont été réalisées à partir d'un triréplicat et la teneur moyenne en polyphénols a été exprimée en milligramme d'équivalent acide gallique par gramme d'extrait (mg Eq AG/g). Aussi, la méthode de [12] a été utilisée pour le dosage des flavonoïdes totaux. Dans une fiole de 25 ml, 0,75 mL de nitrite de sodium (NaNO₂) à 5% (m/v) a été ajouté à 2,5 mL d'extrait (5 mg/ mL éthanol-eau). Le mélange a été additionné de 0,75 mL de chlorure d'aluminium (AlCl₃) à 10% (m/v), puis incubé pendant 6 minutes à l'obscurité. Après l'incubation, 5 mL de soude (NaOH 1 N) ont été ajoutés puis le volume a été complété à 25 mL. Le mélange a été agité vigoureusement avant lecture à 510 nm au spectrophotomètre UV-visible. Les essais ont été partir d'un triréplicat. La teneur en flavonoïdes a été exprimée en gramme par litre d'extrait équivalent quercétine (µg Eq quercétine /g).

2.2.4 ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE PAR LA MÉTHODE L'ABTS+

Cette méthode est basée sur la capacité des composés à réduire le radical-cation ABTS⁺ (Acide 2,2'-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique). Le test a été réalisé selon la méthode décrite par [13]. Le radical-cation ABTS⁺ a été produit par réaction de 8 mM ABTS (87,7 mg dans 20 mL d'eau distillée) et 3 mM de persulfate de potassium (0,0162 g dans 20 mL eau distillée) dans un ratio 1: 1 (v/v). Le mélange a été ensuite incubé à l'obscurité à température ambiante durant un temps variant de 12-16 heures. Cette solution d'ABTS⁺ a été diluée avec du méthanol afin d'obtenir une solution dont l'absorbance entre 0,7 ± 0,02 à 734 nm. Ainsi, une prise d'essai de 3,9 mL de cette solution diluée d'ABTS⁺ a été ajoutée à 100 µL du composé à tester. Après agitation, le mélange a été incubé pendant 6 minutes à l'obscurité (T=30±2°C). L'absorbance résiduelle du radical ABTS⁺ a été ensuite mesurée à 734 nm au spectrophotomètre UV-visible et devrait être comprise entre 20% et 80% de l'absorbance du blanc. Les essais ont été réalisés sur les triréplicats et les résultats ont été exprimés en µmol Trolox équivalent par litre d'extrait (µmol TE/L). Une droite d'étalonnage a été réalisée avec les concentrations suivantes de Trolox: 0,375µM; 0,5µM; 0,625µM; 1µM; 1,125µM, 1,375µM et 1,5µM et le taux d'inhibition (%) de l'ABTS⁺ a été exprimé comme suit:

$$(\%)I = \frac{A_0(\text{Absorbance du blanc}) - A(\text{Absorbance de l'extrait})}{A_0(\text{Absorbance du blanc})} \times 100 \quad (\text{Eqn. 3})$$

- Absorbance du contrôle = absorbance ABTS dilué,
- Absorbance de l'extrait = absorbance ABTS dilué + échantillon

Cette droite a permis d'exprimer l'activité antioxydante des différents extraits comme suit:

Concentration ou activité antioxydante

$$\left[\frac{\mu\text{M}\text{éqTrolox}}{\text{L}} \right] = \frac{\%I * Fd}{49.9} \quad (\text{Eqn. 4})$$

Concentration d'extrait avant dilution = 5 mg/ mL.

2.2.5 TEST IN VITRO – SEUIL D'EFFICACITÉ

Un seuil d'efficacité a été déterminé pour chaque extrait sur la pourriture brune, *Coniophora puteana* en conditions in vitro. Pour chacune des essences étudiées, les extraits ont été préparés par dissolution de 3 g d'extraits secs de bois dans 30 mL d'un mélange éthanol-eau (50: 50, v/v) afin d'obtenir une solution mère de concentration 100 mg/mL. Un milieu de culture stérile a été préparé par ajout de 40 g/L de malt et 20g/L d'agar dans 1 L d'eau et le mélange a été agité et stérilisé en autoclave à 120°C pendant 1h. A partir du

milieu de culture, neuf concentrations couvrant une plage de 0,25 mg/mL à 12 mg/mL d'extrait sec ont été préparés et testés. Les volumes de milieu de culture et de solutions d'essais ont été définis en fonction des concentrations cibles (Tableau 1) et 37 mL de la préparation ont été introduits dans des boîtes de pétri de 5,5 cm. Le mélange a été homogénéisé et laissé légèrement ouvert sous la hotte à flux laminaire (pendant 3 heures) afin de laisser l'alcool se dissiper. 24 heures après, les boîtes de pétri contenant les préparations ont été inoculées avec un mycélium *Coniophora puteana*, puis incubées à 22°C et 70% d'humidité relative. Afin de valider l'essai nous nous sommes assurés de l'innocuité de la présence de l'alcool: dans le milieu une solution d'essai a été préparée en remplaçant le volume d'extrait par le même volume du mélange éthanol-eau (50: 50, v/v). De même nous sommes assurés de la virulence de la souche, à travers un témoin négatif consistant à suivre la croissance du mycélium sur un milieu exempt d'extrait et d'alcool. Un contrôle positif a été préparé avec le tébuconazole (connu pour ces propriétés antifongiques), ajouté dans le milieu de culture, comme décrit pour les extraits, afin d'obtenir des concentrations de 20 µg/mL, de 40 µg/mL, de 60 µg/mL, de 80 µg/mL et de 100 µg/mL. L'essai est achevé lorsque la croissance du mycélium couvre toute la surface du milieu de culture pour le témoin négatif. A la fin de l'essai, la concentration minimale d'inhibition (CMI) des extraits a été déterminée comme étant la plus petite concentration qui conduit à une inhibition totale de la croissance du mycélium.

Tableau 1. Volume d'extrait et le volume de milieu de culture, préparé pour chaque concentrations cibles

Concentration en mg/mL	Volume d'extrait en mL	Volume de milieu de culture en mL	Volume total (Extrait + Volume du milieu de culture)
12	4,5	33	37,5mL
10	3,75	33,75	37,5mL
8	3	34,5	37,5mL
6	2,25	35,25	37,5mL
4	1,5	36	37,5mL
2	0,75	36,75	37,5mL
1	0,375	37,125	37,5mL
0,5	0,187	37,31	37,5mL
0,25	0,094	37,41	37,5mL

2.2.6 ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse statistique des résultats a été faite en utilisant le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Une analyse en comparaisons multiples par usage du test de Dunn a été utilisée pour comparer la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux à l'échelle inter essence. Les tests statistiques ont été réalisés au seuil de probabilité de 5% et les données ont été traitées et analysées avec les logiciels Xlstat© 2008.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 TENEUR EN EXTRACTIBLES

L'analyse des rendements obtenus après extraction à partir du mélange éthanol/eau (50: 50) chez le Badi, le Bété et chez l'Iroko indique des taux d'extraits relativement proches. Ces valeurs sont de 7,8 % ± 0,6 de 6,8 % ± 1,1 et de 6,5 % ± 0,9 respectivement pour le Badi, le Bété et l'Iroko. Les données obtenues sont en accord avec celles observées dans la littérature [14]. On note, cependant, qu'il subsiste quelques divergences avec celles obtenues par certains auteurs [15]. En effet, en étudiant la teneur en extractibles issue du duramen de 22 espèces tropicales, [15] ont obtenu des teneurs plus importante (à l'exception du Badi). Les valeurs étaient de 6.58 %, de 8.20 % et de 12.72 % respectivement pour le Badi, le Bété et pour l'iroko dont les teneurs ont quasi doublé. Les différences observées entre les résultats de ces auteurs et ceux de la présente étude, seraient liées à la nature du solvant d'extraction. En effet, ces auteurs ont utilisé le méthanol qui permet d'extraire majoritairement les extractibles. C'est le cas des résultats obtenus sur l'Iroko par [16] qui ont obtenu des teneurs en extractibles de 10 %; de 7,6 % et de 2,1 %, respectivement pour le méthanol, l'acétone et le dichlorométhane. Les disparités seraient liées à l'affinité des molécules aux solvants d'extraction [15]. Outre, la nature du solvant d'extraction, la diversité des sites géographiques, l'âge des arbres échantillonnés, la durée de l'extraction, peuvent induire également des divergences de résultats [9].

3.2 SCREENING PHYTOCHIMIQUE DES EXTRAITS

Les résultats du screening phytochimique des extraits sont consignés dans le tableau 2. Nous notons la présence des alcaloïdes, des polyphénols et des flavonoïdes chez toutes les essences. Nous notons également la présence des tanins catéchiques chez l'Iroko. Par contre, les résultats n'ont révélé aucune présence de quinones, de saponines et de polyterpènes dans le duramen chez les espèces étudiés. Pourtant, certaines études ont mis en évidence la présence des différentes familles préciter chez la Badi, le Bété et l'Iroko [17]. Cette différence résulte des solvant utilisés par les auteurs (l'acétone et du méthanol). Les résultats obtenus par [18] sur le Badi, soutiennent cette idée. En effet, en utilisant différents solvants d'extractions (solvants de différentes polarité), les résultats obtenus par ces auteurs ont révélé que l'extrait obtenu avec le méthanol contenait des saponines, tandis que celui obtenu avec n-hexane ne contenait pas de saponines. Généralement, les saponines, les quinones s'obtiennent avec de l'éthanol pur ou du méthanol pur [19]. Néanmoins, selon la littérature, la plupart des familles de composés identifiés dans cette étude, présentent des activités antifongiques intéressantes [20]. Ces résultats mettent en avant que le mélange eau/éthanol à proportion égale apparait comme un bon choix pour extraire les molécules d'intérêt au regard de leur potentiel biologique.

Tableau 2. Résultat du Screening phytochimique des extraits de bois

Familles chimiques	Iroko		Bété		Badi	
	Aubier	Duramen	Aubier	Duramen	Aubier	Duramen
Alcaloïdes (Dragendorff)	+	+	+	+	+	+
Tanins	Cathéchiques	+	-	-	-	-
	Galliques	-	-	-	-	-
Quinones	-	-	-	-	-	-
Polyterpènes / Stérols	-	-	-	-	-	-
Polyphénols	+	+	+	+	+	+
Flavonoïdes	+	+	+	+	+	+
Saponines	-	-	-	-	-	-

3.3 TENEURS EN PHÉNOLS TOTAUX

La figure 3 présente la teneur en polyphénols totaux exprimée en milligramme équivalent acide gallique par gramme d'extrait (mg Eq AG/g). L'analyse statistique des résultats a révélé que les plus forts taux ont été enregistrés chez l'Iroko ($130,7 \pm 16,8$ mg Eq AG/g), suivi par le Badi ($93,51 \pm 23,3$ mg Eq AG/g) et le Bété ($66,66 \pm 13$ mg Eq AG/g). En comparant ces données à celles issues de la littérature, les résultats divergent considérablement d'un auteur à un autre et pour une même essence. En effet, dans une étude similaire menée sur 22 essences tropicales, [15] ont obtenu des teneurs en polyphénols de 71 mg Eq AG/g et de 320 mg Eq AG/g respectivement pour le Badi et pour l'Iroko (extrait obtenu avec du méthanol). De même [14] en étudiant la teneur en polyphénols de 10 essences congolaises, ont obtenus des teneurs en polyphénols de 164 mg Eq AG/g pour le Badi (extrait obtenu avec un mélange de toluène et de l'éthanol (1/2; V/V)). Ainsi ces différences observées entre ces différents auteurs s'expliquent par la nature du solvant d'extraction. Pour certains auteurs tels que [15], les essences ayant des teneurs en polyphénols totaux supérieurs à 90 mg EAG/g sont considérées comme des essences riches en polyphénols. En partant de cette observation, on pourrait affirmer que le duramen de Badi et d'Iroko sont d'importantes sources de composés phénoliques. La teneur en flavonoïdes exprimée en milligramme équivalent quercétine par gramme d'extrait (mg Eq quercétine /g) est présentée à la figure 4. L'analyse des résultats a montré que la teneur en flavonoïdes totaux obtenue dans le duramen du Bété ($63,33 \pm 12,67$ mg Eq /g) est statiquement plus faible que celle de l'Iroko ($120 \pm 17,2$ mg Eq /g) et du Badi ($108,83 \pm 22,5$ mg Eq /g). La littérature scientifique est abondante sur la teneur en flavonoïdes totaux issus des feuilles, des racines et des écorces des essences étudiées [21], nous disposons de peu de de données pour la teneur en flavonoïdes totaux issus du duramen. Cependant, en comparant avec les valeurs obtenues pour l'écorce de l'Iroko ($732,01 \pm 9,33$ mg Eq /g) et des feuilles du Badi ($102,14 \pm 11,20$ mg Eq /g) [21,22], on remarque que les données obtenues dans la présente étude sont inférieures. Cependant une étude de [23] réalisée chez 5 espèces d'acacia: *A. mangium* ($68,45 \pm 5,05$ mg Eq /g), *A. auriculiformis* ($57,73 \pm 1,27$ mg Eq /g), *A. decurrens* ($18,48 \pm 1,04$ mg Eq /g), *A. leuchoploea* ($16,88 \pm 0,57$ mg Eq /g) et *A. crassicarpa* ($65,24 \pm 4,44$ mg Eq /g) met en avant des teneurs bien plus faible en flavonoïdes. Il en est de même, pour les travaux conduits par [20] et [24] respectivement sur *Dicorynia guianensis* ($55,42$ mg Eq/g) et *Pterocarpus marsupium* ($57,33 \pm 1$ mg Eq /g).

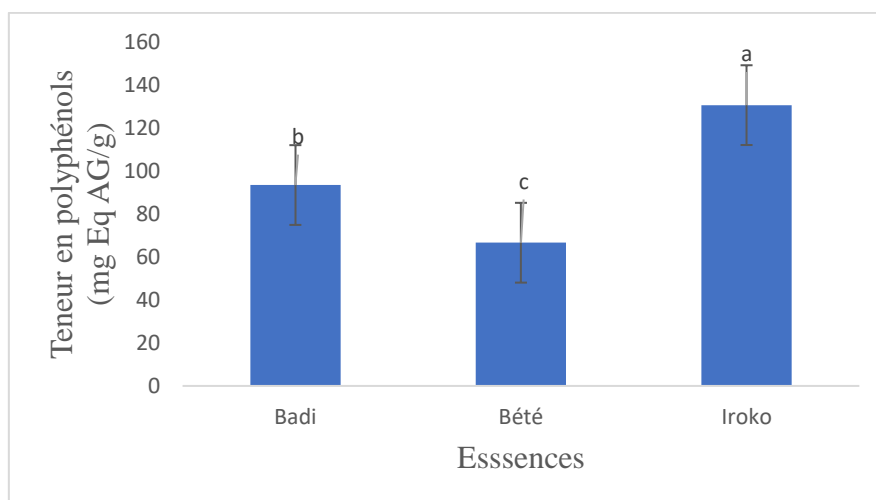


Fig. 2. Teneur en phénols totaux: Badi, Bété, Iroko

Les différentes lettres indiquent une différence significative ($p < 0,05$).

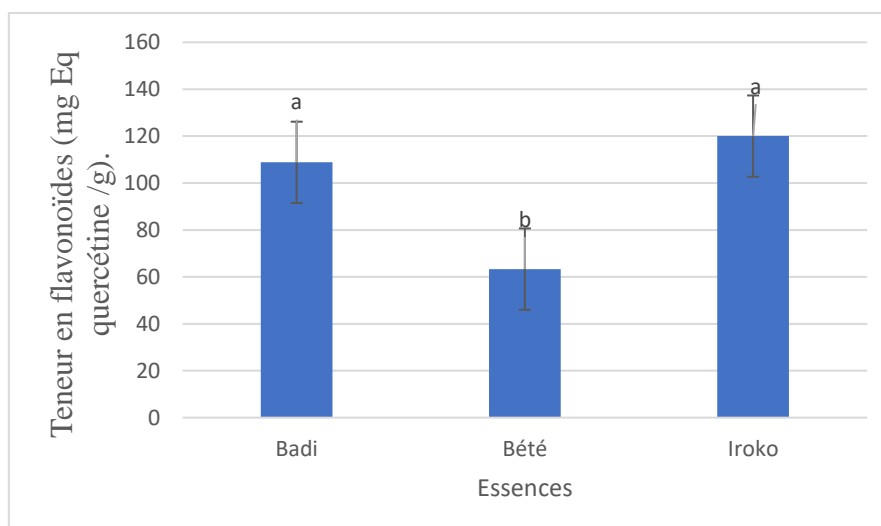


Fig. 3. Teneur en flavonoïdes: Badi, Bété, Iroko

Les différentes lettres indiquent une différence significative ($p < 0,05$).

3.4 ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE

L'évaluation de l'activité antioxydante a été réalisée par le test du ABTS. Les résultats de l'activité antioxydante a été exprimé par le pourcentage d'inhibition. Dans l'ensemble, les résultats obtenus mettent tous en évidence le potentiel antioxydant des extraits issus des différentes essences étudiées: le pourcentage d'inhibition du radical ABTS^{•+} atteint 50% à la concentration 1 mg/ml chez chacune des essences étudiées. L'extrait du Badi (66,898 %) affiche le plus grand pourcentage d'inhibition, suivi de l'Iroko (55,25 %) et du Bété (51,12 %). La forte teneur en polyphénols totaux serait à l'origine de l'activité antioxydante observée chez ces essences, comme le déclare [14]. Cette fortes activité antioxydante constitue une voie prometteuse pour la valorisation des sciéurs issues de ces essences. Des résultats similaires ont été obtenus par [25] sur l'extrait de feuille d'iroko (53,45) de bété (53,3) et des écorces de Badi (54,22 %). Ils ont conclu que les substances antioxydantes naturelles rencontrées chez ces essences rentrent dans l'arsenal thérapeutique en ce qui concerne la lutte contre des nombreuses pathologies.

3.5 EFFICACITÉ ANTIFONGIQUE DES EXTRAITS

Le test de validation de l'essai, met en évidence la parfaite innocuité du solvant utilisé et la virulence du champignon (croissance optimale du champignon sur le milieu témoin négatif et positif, après 8 jours). La concentration minimale inhibitrice obtenue avec le tébuconazole (contrôle positif) est de 60 µg/mL. Les résultats portant sur l'efficacité fongicide des extraits, ont montré que les concentrations 0,25 mg/mL et 0,5 mg/mL ne présentent aucune activité inhibitrice sur la croissance du champignon (croissance identique à celle du témoin négatif) (figure 5). A partir de la concentration 1mg/mL, nous observons une activité fongistatique croissante, jusqu'à une concentration maximale de 6 mg/mL. Toutefois, l'extrait du Bété a montré une activité antifongique plus élevée, la concentration 6 mg/mL a conduit à une inhibition totale de la croissance du mycélium, contre 8 mL/mg pour l'Iroko et le Badi (Figure 4). Plusieurs travaux décrivent l'activité fongicide des bois durables. Ainsi, selon [9], un extrait de bois est considéré comme actif lorsque la concentration maximale inhibitrice est ≤ 1 mg/mL. Cette valeur est aussi une valeur seuil pour envisager de la valorisation. Cependant, certains éléments laissent penser que ce postulat pourrait être erroné. En effet, les faibles activités fongicides (obtenus par certains auteurs) pourraient être dues d'une part aux types de composés extraits par le solvant et d'autre part la méthode utilisée pour l'évaluation de l'activité fongicide (méthode de diffusion sur disque cellulosique, incorporation dans milieu malt-agar...). En milieu liquide, la surface de contact du mycélium avec le biocide est plus grande. Ce qui favorise une toxicité plus marquée [20]. Néanmoins, les résultats obtenus dans la présente étude sont tout à fait comparables à ceux obtenus par [26] sur *Tectona grandis*, CMI = 5,6 mg/mL (ensemencement sur une plaque Elisa suivi du transfert de l'inoculum au centre d'une boîte de Pétri contenant un milieu de culture malt agar). Toujours chez *Tectona grandis* et dans les mêmes conditions d'essai, les résultats obtenus dans cette étude sont plus intéressants que ceux obtenus par [27], CMI = 4%.

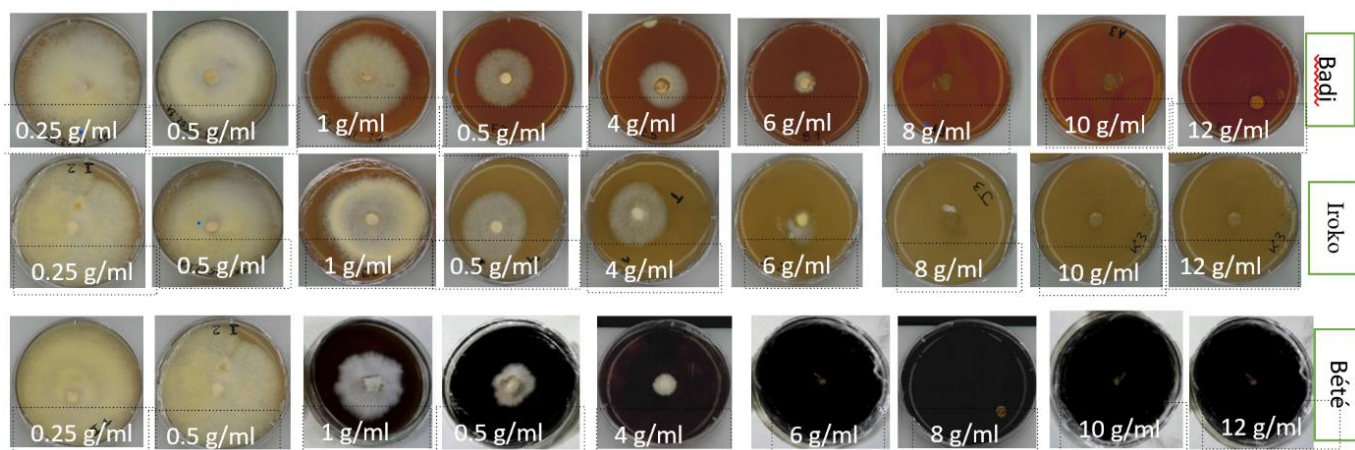


Fig. 4. Boîtes de Pétri inoculées avec *Coniophora puteana* pour chaque concentration d'extrait

4 CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'activité antioxydante et antifongique de 3 extraits de bois durable de la Côte d'Ivoire. Dans l'ensemble, les résultats obtenus mettent tous en évidence le potentiel antioxydant des extraits des arbres étudiés. L'étude révèle une activité fongicide à la concentration 8 mL/mg pour l'Iroko et le Badi, contre 6 mL/mg pour le Bété. Ces premières données mettent en avant le potentiel de valorisation des connexes issues de scieries. En effet les extrait étudiés peuvent entrer dans la conception d'actifs pour le secteur cosmétique, phytopharmaceutique, préservation du bois. Mais des études complémentaires sont nécessaires pour identifier les composés actifs dans l'extrait.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude au gouvernement ivoirien et au gouvernement français qui ont cofinancé ce projet de recherche à travers le Contrat de Désendettement et de Développement (C2D CI-2). Nous remercions la Société de Développement des Forêts (SODEFOR) et l'entreprise Industrie de Promotion du Bois (INPROBOIS) pour avoir fournir le matériel végétal. Nous remercions également l'Ecole Doctorale de l'INP-HB et le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) pour l'encadrement scientifique des recherches doctorales du premier auteur.

REFERENCES

- [1] V. H. Kouakou, A. C. Djohore, et E. Emeruwa, « Influence de la teneur en amidon de manioc sur la qualité d'un biocharbon à base de sciure de bois et d'amidon de manioc », p. 5, 2019.
- [2] D. Bamba et al., « Etudes comparées des méthodes de préparation du charbon actif, suivies d'un test de dépollution d'une eau contaminée au diuron », p. 14, 2009.
- [3] S. Patachia et C. Croitoru, « Biopolymers for wood preservation », in *Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials*, Elsevier, 2016, p. 305-332. doi: 10.1016/B978-0-08-100214-8.00014-2.
- [4] M. Broda, « Natural Compounds for Wood Protection against Fungi—A Review », *Molecules*, vol. 25, no 15, p. 3538, août 2020, doi: 10.3390/molecules25153538.
- [5] A. Tahiri, A. Amissa Adima, A. F. Adje, et N. Amusant, « Effet pesticide et screening des extraits de *Azadirachta indica* (A.) Juss. sur le termite *Macrotermes bellicosus* Rambur », *Bois for. trop.*, vol. 310, no 310, p. 79, déc. 2011, doi: 10.19182/bft2011.310.a20461.
- [6] K. N'Guessan, E. Kouassi Konan, et M. S. Tiébré, « Plantes utilisées dans le traitement des troubles gynéco-obstétriques par les peuples Abbey et Krobou d'Agboville (Côte-d'Ivoire) », *Phytothérapie*, vol. 7, no 5, p. 262-274, oct. 2009, doi: 10.1007/s10298-009-0411-x.
- [7] F. Seguenta, K. Soro, D. Soro, et K. N'Guessan, « Savoir-faire des populations locales des taxons du Jardin Botanique de Bingerville, Côte d'Ivoire », *J. App. Bioscience.*, vol. 68, no 0, p. 5374, oct. 2013, doi: 10.4314/jab.v68i0.95064.
- [8] M. F. Adeoti, B. N. Djyh, A. Joseph, et G. F. Guede, « ÉVALUATION DE LA TOXICITE AIGUË D'EXTRAIT CHLOROFORMIQUE D'ÉCORCES DE *MANSONIA ALTISSIMA* CHEZ LES SOURIS », p. 12, 2013.
- [9] A. M. S. Rodrigues et al., « The wood preservative potential of long-lasting Amazonian wood extracts », *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 75, p. 146-149, nov. 2012, doi: 10.1016/j.ibiod.2012.03.014.
- [10] Y.-A. Bekro, J. A. Mamyrbekova, B. B. Boua, F. T. Bi, et E. E. Ehile, « Étude ethnobotanique et screening phytochimique de *Caesalpinia benthamiana* (Baill.) Herend. et Zarucchi (Caesalpinaceae) », *Sciences & Nature*, vol. 4, no 2, Art. no 2, 2007, doi: 10.4314/scinat.v4i2.42146.
- [11] J. E. Wood, S. T. Senthilmohan, et A. V. Peskin, « Antioxidant activity of procyanidin-containing plant extracts at different pHs », *Food Chemistry*, vol. 77, no 2, p. 155-161, mai 2002, doi: 10.1016/S0308-8146(01)00329-6.
- [12] D. Marinova, F. Ribarova, et M. Atanassova, « TOTAL PHENOLICS AND TOTAL FLAVONOIDS IN BULGARIAN FRUITS AND VEGETABLES », p. 8.
- [13] C. C. Teow, V.-D. Truong, R. F. McFeeters, R. L. Thompson, K. V. Pecota, et G. C. Yencho, « Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours », *Food Chemistry*, vol. 103, no 3, p. 829-838, janv. 2007, doi: 10.1016/j.foodchem.2006.09.033.
- [14] S. Mounquengui et al., « Total phenolic and lignin contents, phytochemical screening, antioxidant and fungal inhibition properties of the heartwood extractives of ten Congo Basin tree species », *Annals of Forest Science*, vol. 73, no 2, p. 287-296, juin 2016, doi: 10.1007/s13595-015-0514-5.
- [15] Z. Huang et al., « Evaluation of biological activities of extracts from 22 African tropical wood species », *J Wood Sci*, vol. 55, no 3, p. 225-229, juin 2009, doi: 10.1007/s10086-008-1024-y.
- [16] C. B. Nagawa, S. Böhmendorfer, et T. Rosenau, « Chemical composition of volatiles extracted from indigenous tree species of Uganda: composition of bark extracts from *Psorospermum febrifugum* and *Milicia excelsa* », *Holzforschung*, vol. 69, no 6, p. 815-821, août 2015, doi: 10.1515/hf-2014-0283.
- [17] F. L. Edoun Ebouel et al., « Phytochemical Screening and Antioxidant Potential of Aqueous Extracts of *Millettia laurenti*, *Lophira alata* and *Milicia excelsa*, Commonly Used in the Cameroonian Pharmacopoeia », *European Journal of Medicinal Plants*, vol. 31, p. 11-23, août 2020, doi: 10.9734/EJMP/2020/v31i1130295.
- [18] T. Edewor, K. N. Olabisi, et O. S. Oluwagbemiga, « Gas chromatography-mass spectrometric analysis of methanolic leaf extracts of *Lannea kerstingii* and *Nauclea diderrichii*, two medicinal plants used for the treatment of gastrointestinal tract infections », vol. 9, p. 179-182, juill. 2016.
- [19] M. Abdulrahman et M. Adamu, « In Vitro Phytochemistry and Antiplasmodial Activity of Leaf Extract and Fractions of *Nauclea diderrichii* », *Earthline Journal of Chemical Sciences*, vol. 2, no 2, Art. no 2, nov. 2019, doi: 10.34198/ejcs.2219.333342.
- [20] J.-B. S. Anouhe et al., « The role of extractives in the natural durability of the heartwood of *Dicorynia guianensis* Amsh: new insights in antioxidant and antifungal properties », *Annals of Forest Science*, vol. 75, no 1, p. 15, févr. 2018, doi: 10.1007/s13595-018-0691-0.
- [21] M. A. Adebayo, O. A. Adedokun, L. A. Akinpelu, et P. O. Okafor, « Evaluation of Anti-Diarrheal Activity of Methanol Root Bark Extract of *Milicia Excelsa* (Welw) C. C Berg (Moraceae) in Rats », *Drug Res (Stuttg)*, vol. 69, no 08, p. 439-444, août 2019, doi: 10.1055/a-0825-6337.
- [22] K. Mesia et al., « Antimalarial activity and toxicity evaluation of a quantified *Nauclea pobeguinii* extract », *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 131, no 1, p. 10-16, août 2010, doi: 10.1016/j.jep.2010.05.008.

- [23] Y. H. Prayogo, W. Syafii, R. K. Sari, I. Batubara, et Danu, « Pharmacological Activity and Phytochemical Profile of Acacia Heartwood Extracts », *Sci. Pharm.*, vol. 89, no 3, p. 37, août 2021, doi: 10.3390/scipharm89030037.
- [24] P. Gupta et al., « Evaluation of effect of alcoholic extract of heartwood of *Pterocarpus marsupium* on in vitro antioxidant, anti-glycation, sorbitol accumulation and inhibition of aldose reductase activity », *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, vol. 7, no 3, p. 307-314, juill. 2017, doi: 10.1016/j.jtcme.2016.11.001.
- [25] W. Liu, C. Di Giorgio, M. Lamidi, R. Elias, E. Ollivier, et M. P. De Méo, « Genotoxic and clastogenic activity of saponins extracted from *Nauclea* bark as assessed by the micronucleus and the comet assays in Chinese Hamster Ovary cells », *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 137, no 1, p. 176-183, sept. 2011, doi: 10.1016/j.jep.2011.05.005.
- [26] F. Niamké et al., « Relationships between biochemical attributes (non-structural carbohydrates and phenolics) and natural durability against fungi in dry teak wood (*Tectona grandis* L. f.) », *Annals of Forest Science*, vol. 68, no 1, p. 201-211, 2011, doi: 10.1007/s13595-011-0021-2.
- [27] V. F. Brocco, J. B. Paes, L. G. da Costa, S. Brazolin, et M. D. C. Arantes, « Potential of teak heartwood extracts as a natural wood preservative », *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, p. 2093-2099, janv. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.11.074.