

ISSN: 2028-991X

Revue Marocaine des
**Sciences Agronomiques
et Vétérinaires**

Volume 11 (3) - Septembre 2023



Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II,
BP: 6202, Madinate Al Irfane, Rabat 10112, Maroc

www.iav.ac.ma

Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. B.P. 6202, Madinat Al Irfane, Rabat - 10112, Maroc

Dépôt légal: 2011 PE 0060 / ISSN: 2028-991X / e-ISSN: 2550-4401

www.agrimaroc.org

Comité de la Revue

Secrétaire Général du Département de l'Agriculture, Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts

Directeur de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

Directeur de la Recherche Scientifique et de la Formation Doctorale, IAV Hassan II

COMITÉ ÉDITORIAL

Éditeur de la revue

Prof. Ahmed BAMOUH, Éditeur en chef, IAV Hassan II,

Éditeurs de rubriques

• Coordinateur du Comité Éditorial, BAMOUH A., Production Végétale • BARTALI E., Ingénierie Agricole • ABDENBI E., Toxicologie Vétérinaire • EL OTMANI M., Horticulture • CHTAINA N., Phytopathologie • BOUCHRITI N., Hygiène Alimentaire • ETTARID M., Ingénierie Topographique • ARABA A., Production Animale • HOSSAINI-HILALI J., Physiologie Animale • KARIB H., Hygiène Alimentaire • OUASSAT M., Anatomie Animale • ALALI S., Pathologie des Ruminants •

ÉVALUATEURS SCIENTIFIQUES

• ABDENBI E. (Toxicologie Vétérinaire) • ACHAÂBAN M.R. (Anatomie Comparée) • AIT EL MEKKI A. (Agro-économie) • AIT HOUSSA A. (Agronomie) • AIT LBACHA H. (Chirurgie des Ruminants) • ABOUSALIM A. (Horticulture) • AFECHTAL M. (Virologie Végétale) • ALAMI IDRISSE N. (Zoologie Agricole) • ALAOUI N. (Agronomie) • ALAOUI L. (Alimentation et Nutrition) • ALALI S. (Pathologies des ruminants) • ARABA A. (Production Animale) • BAALI E.H. (Énergie Agricole) • BAMOUH A. (Agronomie) • BENABDELLAH M. (Agro-économie) • BENAZZI S. (Histologie et Anatomie pathologique vétérinaires) • BENGOUMI M. (Sciences Camelines) • BELQADI L. (Génétique Végétale) • BERDAY N. (Aquaculture) • BERRADA J. (Microbiologie et immunologie animales) • BIROUK A. (Génétique Végétale) • BOUHACHE M. (Malherbologie) • BOUHALOUA M. (Foresterie) • BOUCHRITIN. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • BOUKHLIQ R. (Reproduction Animale) • BOUHIDA M. (Virologie Agricole) • BOUNFOUR M. (Pathologie Végétale) • BOURARACHE-H. (Machinisme Agricole) • BOUSLIKHANE M. (Épidémiologie Vétérinaire) • BOUZOUBAAK. (Pathologie Aviaire) • CAMUS C. (Virologie, Biologie Moléculaire) • CHAIBIA. (Technologie Alimentaire) • CHIKHAOUI M. (Sciences du Sol) • CHENTOUF M. (Reproduction Animale) • CHLYEH G. (Zoologie Agricole) • CHTAINA N. (Pathologie Végétale) • CHAIBI A. (Microbiologie Alimentaire) • DAHANI S. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • DAHCHOUR A. (Chimie Agricole) • DERQAOUI L. (Reproduction Animale) • DOUKKALI R. (Agro-économie) • DOUIRA A. (Pathologie Végétale) • DRISSI TOUZANI C. (Pathologie Aviaire) • DUCATEZ M. (Virologie animale) • EL ALLALI K. (Neurobiologie Animale) • EL AMIRI B. (Reproduction Animale) • EL AYACHI M. (Ingénierie Topographique) • EL BERBRI I. (Microbiologie et Immunologie Animales) • EL HAMMOURI B. (Biochimie Environnementale) • EL HOUADFI M. (Pathologie Aviaire) • EL HRAIKIA. (Pharmacologie et Toxicologie Vétérinaires) • ESSARIOUIA. (Pathologie Végétale) • ESSIARI M. (Oléiculture) • ETTARID M. (Ingénierie Topographique) • EZZAHOUANI A. (Viticulture) • FASSI-FIHRI O. (Microbiologie et Immunologie Animales) • FAYE B. (Sciences Camelines) • FELLAHI S. (Pathologie Aviaire) • FILALI-MALTOUF A. (Biologie Moléculaire) • GHAOUTI L. (Génétique Végétale) • GUEROUALI A. (Sciences Vétérinaires) • HALIS O. (Toxicologie Animale) • HAMDANI M. (Chimie Environnementale) • HAMMANI A. (Génie Rural) • HARROUNI C. (Espaces Verts) • HERZENNI A. (Sociologie Rurale) • HORMATALLAH A. (Pesticides) • HMIMINA M. (Zoologie Agricole) • HOUMY K. (Machinisme Agricole) • HOSSAINI-HILALI J. (Physiologie Animale) • ISMAILI ALAOUI M. (Technologie Alimentaire) • JANATI IDRISSE D. (Technologie Alimentaire) • KADIRI A. (Microbiologie et Immunologie Animales) • KARIB H. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • KHAYI S. (Biologie Moléculaire, Biotechnologie) • KHALLAYOUNE K. (Parasitologie Animale) • KHEYYALI D. (Aquaculture) • KICHOU F. (Histologie et Anatomie Pathologique Vétérinaires) • KUPER M. (Ressources en Eau) • LAHLALI R. (Pathologie Végétale) • LAMRINI M. (Halieutique) • MAHMOU A. (Arboriculture Fruitière) • MAAZOUZ A. (Sciences Vétérinaires) • MAZIH A. (Zoologie Agricole) • MOUAHID M. (Pathologie aviaire) • MOUNIR M. (Sciences Alimentaires) • M'SADAK Y. (Agro-équipements) • NAIMI M. (Sciences du Sol) • NASSIK S. (Pathologie Aviaire) • OUASSAT M. (Anatomie Comparée) • OUCHBANI T. (Biochimie et Industrie Agro-alimentaire) • OUKESSOU M. (Physiologie et Thérapeutique Animales) • RAHMANI M. (Technologie Alimentaire) • RAHMATALLAH N. (Pathologie Aviaire) • ROUCHDI M. (Ingénierie Géodésique) • SAIDI B. (Technologie Alimentaire) • SAHRAOUI N. (Pathologie Aviaire) • SEBARI I. (Ingénierie Topographique) • SEMLALI E-H. (Ingénierie Topographique) • SGHIRI A. (Reproduction Animale) • SKIDMORE J.A. (Reproduction Cameline) • SRAIRI M-T. (Production Animale) • TANJIA. (Malherbologie) • TIBARY A. (Reproduction Animale) • TRIQUI R. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • ZAHAR M. (Technologie Alimentaire) • ZOUAGUI Z. (Pathologies des Ruminants) •

Sommaire

NUTRITION ET TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE

Suivi en temps réel de la fermentation panaire de quatre levains liquides à base de farine de blé tendre, de blé dur complet, de baobab et de Millet

Anas RAFFAK, Youssef CHAFAI, Allal HAMOUDA, Majid MOUNIR..... 259

Qualité du kéfir camelin issu du système d'élevage extensif en Tunisie

Samira ARROUM, Amel SBOUI, Imen FGUIRI, Naziha AYEB, Mohamed HAMMADI, Touhami KHORCHANI..... 269

RESSOURCES NATURELLES ET FORESTERIE

Analyse fréquentielle du développement des ravins dans le semi-aride tunisien

Khaoula KHEMIRI, Sihem JEBARI278

Enquête ethnobotanique sur l'utilisation traditionnelle du Lierre grimpant (*Hedera helix*) au Nord-Ouest de la Tunisie

Houcem SAMMARI, Saber JEDIDI, Houcine SELMI, Foued ALOUI, Hichem SEBAL.....289

Importance socio-économique du baobab (*Adansonia digitata*) au Togo

A. B. KEBENZIKATO, W. ATAKPAMA, M. SAMAROU, K. WALA, K. BATAWILA, K. AKPAGANA294

Étude phytochimique et évaluation de l'activité anti-radicalaire, anti-inflammatoire, anti-drépanocytaire et cytotoxique des feuilles de *Lippia multiflora* Moldenke (Verbenaceae)

C. A. MASENGO, K. NGBOLUA, S. L. OMEONGA, N. P. NZUZI, G. B. ILUMBE, P. T. MPIANA.....303

Connaissances et perspectives de recherche sur *Detarium senegalense*, une espèce vulnérable en Afrique

P. TREKPO, G. H. A. HOUENON, G. HOUNSOU-DINDIN, A. NATTA, A. C. ADOMOU, K. KOKOU.....313

Effets de la pulvérisation foliaire de la jacinthe d'eau (*Pontederia crassipes*) au chlorure de sodium sur la communauté des macroinvertébrés benthiques

H. AKODOGBO, C. F. ABIMBOLA, N. C. GUEZO, K. S. ABAHI, E. D. FIOGBE.....321

PRODUCTION ET SANTÉ ANIMALES

Transmission des trypanosomoses animales africaines (TAA) et prévalence trypanosomienne dans les cheptels en zone soudanaise de Côte d'Ivoire

David KOMONO, Loukou YAO, François KOUAME, Biégo GRAGNON..... 326

Production de lait de chèvre et la consommation de fromage au Sénégal

Ibrahima NIANG, Mor Awa NDIAYE, Astou DIOP, Nicolas AYEISSOU 335

Influence de l'état physiologique des chèvres et de saison sur la prévalence et la charge parasitaire gastro-intestinale au Bénin

G. AKAKPO, P. K. CHALLATON, G. C. AKOUEDEGNI, G. G. ALLOWANOU, Z. K. KARIMOU, S. M. HOUNZANGBÉ.....340

Qualité physique et nutritionnelle du lait des vaches Borgou nourries avec des pierres à lécher mise au point au Bénin
G. M. AGBO, F. DOKUI, S. L. DEDOME, C. F. A. SALIFOU, S. SEIBOUTOLEBA, F. P. TCHOBO 346

Performances de production des élevages laitiers périurbains et urbains de la commune de Fada N’Gourma au Burkina Faso

Souleymane OUEDRAOGO, Etienne SODRE, K. I. SAVADOGO, Lassina SANOU, V. M. CBOUGOUMA 351

PÊCHE ET HALIEUTIQUE

Exposition de la faune ichthyenne et autres animaux aquatiques aux polluants organiques, chimiques et biologiques dans le lac Nokoué au Sud du Bénin: Synthèse documentaire

Prudencio AGBOHESSI, Léa GUEDEGBA, Rodrigue PELEBE, Ibrahim IMOROU TOKO 360

INGÉNIERIE TOPOGRAPHIQUE ET PAYSAGE

Sélection de végétaux adaptés aux terrasses des bâtiments en fonction de leur croissance

Naoual RAOUJ, My Cherif HARROUNI, Lahoussaine BAAMAL, Noureddine BENAODA TLEMÇANI 373

Suivi en temps réel de la fermentation panaière de quatre levains liquides à base des farines du blé tendre, du blé dur complet, du baobab et du Millet

Anas RAFFAK^{*1}, Youssef CHAFAI², Allal HAMOUDA³, Majid MOUNIR¹

(Reçu le 02/07/2023; Accepté le 17/08/2023)

Résumé

La fermentation aux levains liquides peut contribuer à la création d'une grande variété de produits de boulangerie qui se distinguent par leur saveur, leur texture et leurs bienfaits pour la santé. Le présent travail a pour objectif d'évaluer le potentiel fermentaire de quatre levains liquides préparés au laboratoire, en suivant en temps réel les principaux paramètres de panification, à l'aide d'un dispositif de plusieurs capteurs. Les résultats obtenus montrent que la durée moyenne de panification a varié de 640 à 852 min, avec un volume spécifique moyen allant de 2,40 à 3,98 cm³/g, une Acidité Totale Titrable (ATT) finale allant de 3,92 à 7,31 ml de NaOH 0,1N/10 g et un pH final allant de 3,31 à 3,89, une production moyenne de CO₂ dégagé de 0,51 à 1,01 L/kg de pâte, tandis que la production moyenne de l'éthanol dégagé a varié de 4,94 à 10,6 L/kg de pâte. Le levain liquide L9 préparé à la farine complète de blé présente la meilleure performance fermentaire de la pâte. Les panigrammes individuels et verticaux ont été utilisés pour la comparaison visuelle entre ces levains afin d'en choisir celui qui paraît le mieux adapté à la panification du pain.

Mot clés: levain, rhéologie, panification, fermentation, levure, bactérie lactique

Real-time monitoring of the bread fermentation of four liquid sourdoughs based on soft wheat, durum wholemeal, baobab and millet flours

Abstract

Fermentation with liquid sourdoughs can make a real contribution to the creation of a wide variety of bakery products distinguished by their flavor, texture and health benefits. The aim of the present study was to evaluate the fermentation potential of four liquid sourdoughs prepared in the laboratory, by monitoring the main bread-making parameters in real time, using a device with sensors. The results showed that the average bread-making time varied from 640 to 852 min, with an average specific volume ranging from 2.40 to 3.98 cm³/g, a final Total Titrable Acidity (TTA) ranging from 3.92 to 7.31 ml 0.1N NaOH/10 g and a final pH ranging from 3.31 to 3.89, an average production of CO₂ from 0.51 to 1.01 L/kg of dough, while the average production of ethanol released varied from 4.94 to 10.6 L/kg of dough. L9 liquid sourdough prepared with wholewheat showed the best dough fermentation performance. Individual and vertical panigrams were used for visual comparison between these sourdoughs, in order to select the one most suitable for bread-making.

Keywords: sourdough, rheology, bread-making, fermentation, yeast

INTRODUCTION

Les levains liquides, dits de type II, sont généralement préparés en milieu industriel dans des bioréacteurs ou dans des cuves à des températures supérieures à 30 °C, pendant de longues durées (15 à 24 heures) et dont l'objectif est d'accélérer le processus de fermentation de la pâte (De Vuyst et Neysens, 2005; Decock et Cappelle, 2005).

Le choix d'un levain liquide par rapport au levain frais de type I pour la panification, présente plusieurs avantages technologiques et analytiques tels qu'une reproductibilité plus facile du levain, un ferment naturel prêt à l'emploi sans recours aux rafraîchissements, un contrôle facile des paramètres de fermentation, une durée de conservation plus longue (plusieurs semaines) et une plus grande aptitude à être appliqué sans modification des formules actuelles de pain. Le levain liquide peut aussi contribuer à la création d'une grande variété de produits de boulangerie qui se dis-

tinguent par leur saveur, leur texture et leurs bienfaits pour la santé (Carnevali *et al.*, 2007; De Vuyst *et al.*, 2014a).

L'objectif de la présente étude est d'évaluer le pouvoir fermentaire de plusieurs levains liquides préparés au laboratoire en utilisant un dispositif équipé de plusieurs capteurs. Cela a permis le suivi en temps réel de la cinétique des principaux paramètres de fermentation panaière, notamment la levée de la pâte, le dégagement du CO₂, de l'éthanol, la perte de masse, la baisse du pH et l'augmentation de l'Acidité Totale Titrable (ATT).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Matière première

Quatre levains liquides ont été préparés au laboratoire et stockés au réfrigérateur à 4°C. Leurs compositions sont données dans le tableau 1.

Tableau 1: Composition des quatre levains liquides préparés au laboratoire

Code du levain liquide	% Eau	% Farine de blé tendre	% Farine de blé dur complète	% Farine de Baobab	% Farine de Millet	% Raisins
L4	80 - 86	13 - 19	-	-	-	1,2
L9	80 - 86	-	13 - 19	-	-	1,2
L10	80 - 86	1,5 - 2,5	-	13 - 15	-	1,2
L11	80 - 86	1,5 - 2,5	-	-	13 - 15	1,2

¹ Département des Sciences Alimentaires et Nutritionnelles, Filière des Industries Agricoles et Alimentaires, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

² Département des Génie des Procédés, Filière des Industries Agricoles et Alimentaires, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

³ Département de Statistique et Informatique Appliquées, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

Dispositif de surveillance de la fermentation

Une étuve équipée de plusieurs capteurs a été utilisée pour le suivi en ligne des paramètres de fermentation, tels que la levée de la pâte (cm), la libération de CO₂ et d'éthanol (ppmv), le pH et la perte de masse (g). Les données recueillies ont été stockées dans une base de données à l'aide d'un programme informatique (Chafai *et al.*, 2023).

Volume du CO₂ et d'éthanol

Sur la base des valeurs des concentrations volumiques mesurées par les capteurs de CO₂ et d'éthanol, leurs productions respectives ont été calculées à l'aide de la formule suivante (Zhang *et al.*, 2007):

$$\text{Volume de gaz (ml)} = \text{concentration de gaz (ppmv)} \text{ du capteur} * \text{volume étuve (m}^3\text{)}$$

Acidité totale titrable (ATT)

10 g de pâte mélangée à 90 ml d'eau distillée et à 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine ont été ajoutées au mélange. L'ATT est exprimée en ml de NaOH 0.1N/10 g de pâte.

Préparation de la pâte de panification

La composition utilisée pour la panification de 220 g de pâte est donnée dans le tableau 2, avec un taux de levure boulangère < 0,2% pour préserver la dénomination pain au levain selon la législation française (article 4 du Décret n°93-1074 du 13 septembre 1993). Un échantillon de 220g de pâte qui a été préparé sans ajout de levain liquide est utilisée à titre de témoin.

Levée de la pâte (cm)

Elle a été mesurée directement par le dispositif pour calculer la capacité de la pâte à lever (Dough Rising Capacity (DRC)), avec une petite modification qui consiste à remplacer le volume par la hauteur de la pâte (Bhatt et Gupta, 2015). Le récipient en verre contenant la pâte est de forme cylindrique avec un diamètre intérieur de 14 cm:

$$\text{DRC} = (\text{hauteur finale} - \text{hauteur initiale}) * (100) / \text{hauteur initiale}$$

Rendement de la pâte du levain (DY) en (%)

Il est calculé au moment de la préparation du levain et a permis de définir sa consistance (Decock et Cappelle, 2005). Le DY est défini comme suit:

$$\text{DY (\%)} = (\text{quantité de farine} + \text{quantité d'eau}) * (100) / (\text{quantité de farine})$$

Température et durée de fermentation

La température de fermentation a été fixée à 30°C pour l'ensemble des tests (Vrancken *et al.*, 2011). La durée maximale de la fermentation est fixée à 1200 min.

Traitement statistique

Les différentes mesures ont été effectuées avec trois répétitions. Les différences entre les moyennes théoriques des traitements ont été testées à l'aide des ANOVA1 suivies du test de Tukey pour ressortir les éventuels groupes homogènes de moyennes. Tous les tests ont été réalisés à un niveau de signification de 5%. Une analyse en composantes principales (ACP) a été ajoutée pour étudier les corrélations entre les paramètres de panification et visualiser les éventuelles ressemblances entre les pâtes. Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel ExcelStat V2016.02.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractérisation des levains liquides

Les paramètres biochimiques ATT, pH et DY permettent de caractériser les levains et connaître leurs performances fermentaires (Arora *et al.*, 2021). Les valeurs moyennes ± écarts-types de ces trois paramètres ainsi que celles de l'humidité obtenues pour les quatre levains liquides sont présentées au tableau 3.

Rendement et consistance des levains liquides

Le rendement de la pâte est un facteur qui détermine la qualité et les propriétés de manipulation des levains (Barber *et al.*, 1992). Les levains élaborés au laboratoire ont un rendement moyen similaire de 618,7% et par conséquent une consistance liquide, donc ils sont de type II.

Tableau 2: Composition des pâtes correspondant aux quatre levains étudiés (échantillons de 220 g)

Code pâte	Code Levain	% Eau	% Farine du blé tendre	% Sel de table	% Levure boulangère poudre (SC)	% Apport levain
P4	L4	30-35	60-65	1,1	0,1	9
P9	L9	30-35	60-65	1,1	0,1	9
P10	L10	30-35	60-65	1,1	0,1	9
P11	L11	30-35	60-65	1,1	0,1	9
Témoin	Sans	30-38	60-65	1,1	0,1	0

Tableau 3: Valeurs moyennes (± écarts-types) des principaux paramètres des quatre levains liquides

Code levain	DY %	Humidité %	ATT	pH
L4	619,30 ± 0,68 ^a	86,30 ± 0,08 ^b	8,63 ± 0,39 ^a	2,95 ± 0,01 ^a
L9	619,00 ± 1,28 ^a	86,67 ± 0,69 ^b	12,72 ± 0,79 ^c	3,29 ± 0,01 ^d
L10	619,50 ± 0,81 ^a	86,36 ± 0,53 ^b	7,65 ± 0,17 ^a	3,13 ± 0,015 ^b
L11	618,30 ± 0,46 ^a	84,45 ± 0,94 ^a	11,11 ± 0,01 ^b	3,17 ± 0,01 ^c

Les valeurs d'une même colonne ayant au moins une lettre en commun ne sont pas significativement différentes au niveau de probabilité de 5 % selon le test de Tukey.

Les levains liquides favorisent l'activité des bactéries lactiques, tandis que les levains fermes favorisent davantage les levures (Di Cagno *et al.*, 2014; Minervini *et al.*, 2014).

Humidité des levains liquides

L'hydratation est importante pour l'écologie microbienne et la fonction métabolique du levain (De Vuyst *et al.*, 2014b). La composition des levains a un effet significatif sur leur humidité qui varie de 83,6 à 87,1%. Le levain L11 présente la plus faible humidité avec une valeur moyenne de 84,4 %, alors que les autres levains ont une humidité similaire avec une moyenne de 86,4 % bien qu'ils aient un DY similaire. Ceci s'explique par la différence de capacité d'absorption de l'eau par les différentes farines (Gobbetti *et al.*, 1995; Lund *et al.*, 1989).

Acidité totale titrable des levains liquides

L'acidité totale titrable donne des informations indirectes sur les acides lactique et acétique; sa détermination directe est également assez courante (Arora *et al.*, 2021). La composition des levains a un effet significatif sur leur acidité. L'ATT des levains a varié de 7,46 à 13,4 qui est incluse dans l'intervalle le plus courant (4 à 25) avec une valeur médiane de 11 rapporté par Arora *et al.*, (2021). Cette différence de valeur des ATT, s'explique par la production des acides biogènes par les bactéries qui sont initialement existantes dans les levains (Waters *et al.*, 2012).

Le pH des levains liquides

Dans le levain, les bactéries lactiques utilisent en priorité le glucose pour produire de l'acide lactique qui joue un rôle d'acidification rapide de la pâte (Corsetti et Settanni, 2007; Eiteman et Ramalingam, 2015).

La composition des levains a un effet significatif sur leur pH, avec une valeur allant de 2,94 à 3,29, ceci s'explique par la nature du procédé et des cultures utilisées (Arendt *et al.*, 2007).

Le levain L9 présente une ATT moyenne de 12,72 la plus élevée, or que son pH a été le plus élevée 3,29 par rapport aux autres levains, ceci pourrait être expliqué par sa faible teneur en acide lactique qui est un acide plus fort que l'acide acétique (Roussel *et al.*, 2020). Les différences de pH, entre les levains, ne traduisent pas nécessairement des variations de concentrations d'acides biogènes (Roussel *et al.*, 2020).

Tests de performance de la fermentation panaire

Le pouvoir de panification d'un levain est mesuré par sa capacité de gonfler la pâte, de produire du CO₂ et de l'éthanol, d'augmenter l'ATT et de baisser le pH final de la pâte (Rizzello *et al.*, 2010).

Caractérisations physiques de la pâte

Levée de la pâte

Les levures sont les principales espèces responsables de la levée de la pâte (Corsetti et Settanni, 2007). La figure 1 montre les courbes de la levée de la pâte lors de la panification.

Il ressort que la levée de la pâte se fait selon une courbe qui peut être décomposée grosso modo en quatre phases passives. Une phase I d'induction, la phase II qui correspond au gonflement rapide de la pâte, la phase III où le volume de la pâte se stabilise, et la phase IV qui marque une baisse du volume, tantôt faible (cas des pâtes L4, L10 et L11), tantôt très forte (cas de la pâte L9). Le dégonflement s'explique par l'éclatement du réseau de la pâte et par conséquent le dégagement d'une partie de CO₂ vers l'extérieur, on dit que la pâte est arrivée à son point de porosité.

La pâte P9 se dégonfle rapidement pour atteindre une hauteur inférieure à 1,5 cm. On peut déduire que si le levain L9 permet d'obtenir une bonne levée, il ne permet pas de garder son volume final stable pour longtemps, par conséquent il faut rapidement arrêter sa fermentation afin d'éviter l'éclatement du réseau.

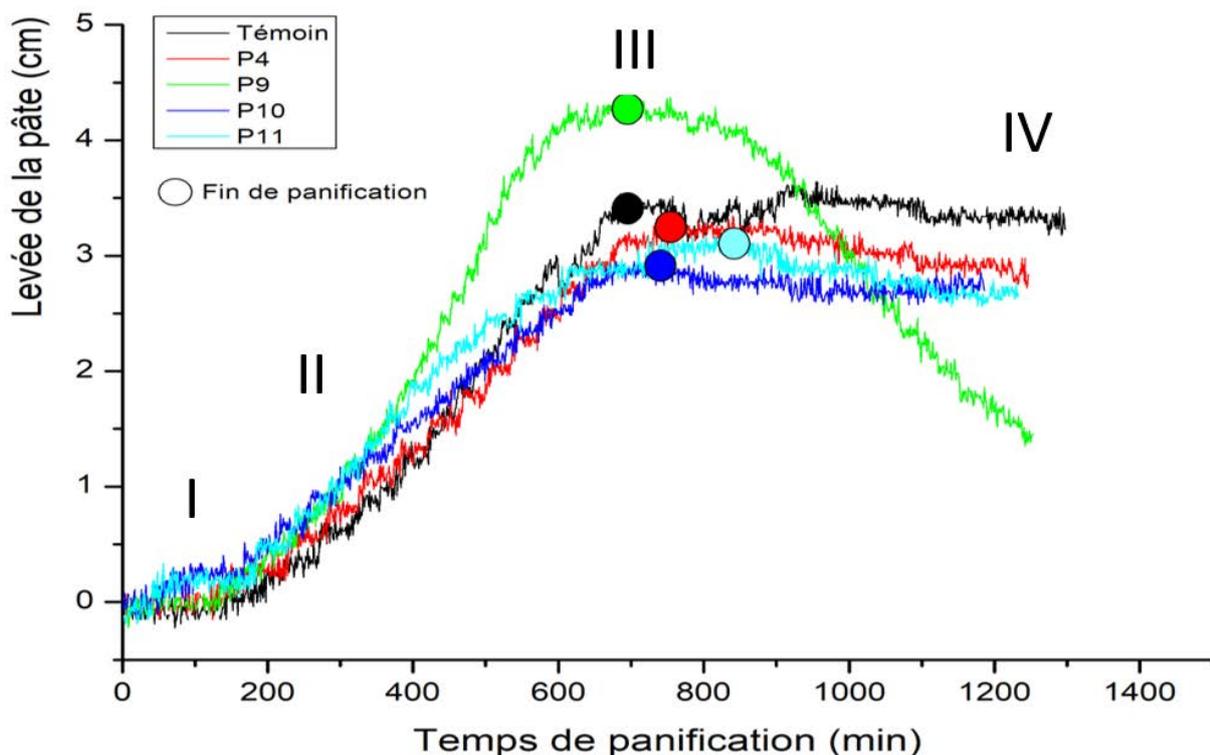


Figure 1: Levée de la pâte lors de la panification

Les valeurs des principaux paramètres physiques de la pâte à la fin de la panification qui correspond au début de l'aplatissement de ces courbes, sont présentées au tableau 4.

Le type de levain n'a pas d'effet significatif sur la levée de la pâte (tableau 4). La levée moyenne de la pâte était de 3,53 cm, avec un DRC moyen d'environ 352,6 %. On déduit que tous les levains liquides testés et le témoin peuvent produire une pâte panifiable.

Durée de la panification

Le type de levain a un effet significatif sur la durée de panification qui a varié de 640 à 852 min. Cette durée est considérée comme une période de fermentation longue (Decock et Cappelle, 2005). Ce qui permet aux bactéries à croissance rapide de créer davantage d'acides organiques, et par conséquent inhiber l'activité fermentaire des espèces moins tolérantes aux acides biogènes (Narendranath *et al.*, 2001).

Les pâtes P9, P10 et la pâte témoin nécessitent moins de temps pour la panification avec une durée moyenne de 690 min en comparaison aux autres pâtes.

Volume spécifique

Le type de levains a un effet significatif sur le volume spécifique de la pâte avec des valeurs allant de 2,24 à 3,98 cm³/g. La pâte P9 présente le plus grand volume spécifique (3,68 ± 0,42 cm³/g), suivi de P4 (2,87 ± 0,18 cm³/g). Alors que les pâtes témoin, P10 et P11 présentent un volume spécifique plus faible avec une valeur moyenne de (2,48 ± 0,14 cm³/g).

Le volume spécifique plus élevé enregistré pour les pâtes P9 pourrait être dû à une rétention accrue de CO₂ en raison de l'acidification de la pâte qui augmente la capacité du gluten à retenir les gaz, or une acidité très élevée inhibe l'activité des levures productrices du CO₂, d'où la nécessité de maîtriser cette acidité (Gobbetti *et al.*, 1995; Narendranath *et al.*, 2001).

Perte de masse

Le type de levain liquide n'a pas d'effet significatif sur la perte de masse de la pâte lors de la panification, avec une perte moyenne de (2,26 %) de la masse initiale de la pâte.

Bien que toutes les pâtes aient un taux de perte massique similaire, elles ont des volumes spécifiques différents, ceci s'explique par la différence de leurs textures responsables de la rétention des gaz produits ainsi que par leurs élasticités.

Caractérisations biochimiques de la pâte

Production de CO₂

Dans les pains au levain, le CO₂ est produit à la fois par les levures et les bactéries lactiques mais la contribution de chaque espèce au volume global de gaz diffère selon le type de culture et la technologie de la panification appliquée (Hammes et Gänzle, 1998). Le dioxyde de carbone permet de modifier la rhéologie de la pâte (Reed, 2012).

La figure 2 montre les courbes de dégagement de CO₂ lors de la panification. Le dégagement du CO₂ produit lors de la panification passe par quatre phases similaires à celles de la levée de la pâte (Figure 1), à savoir une période d'induction (I), suivie d'une augmentation rapide de dégagement de CO₂ (II), une zone de plateau (III), et la dernière phase (IV) marquée par une baisse de la concentration du CO₂ pour certaines pâtes. Ce qui confirme que la phase II est la principale étape de gonflement de la pâte.

Les courbes des figures 1 et 2, ont permis de déterminer les quantités et la vitesse du CO₂ dégagées à la fin de la panification (Tableau 5).

Le type de levain n'a pas d'effet significatif sur la quantité du CO₂ dégagée à la fin de la panification, qui est en moyenne de 0,69 L/kg de pâte avec une vitesse moyenne de 5,64 ml/100 g de pâte/h. Bien que les pâtes dégagent des quantités similaires de CO₂, leurs volumes spécifiques sont différents. Le dégagement du CO₂ continue après la fin de la panification (Figure 2) mais n'a pas d'influence sur le volume de la pâte (Figure 1). Ceci s'explique par la porosité du réseau de la pâte qui perd sa capacité à retenir les gaz. On en éduit que la capacité d'une pâte à retenir les gaz produits joue un rôle important dans la levée de la pâte, donc le critère de production du CO₂ en grande quantité n'est pas suffisant à lui seul pour prédire la levée de la pâte.

Tableau 4: Valeurs moyennes (± écarts-types) des principales caractéristiques physiques des pâtes lorsque leur volume se stabilise (phase III)

Code pâtes	Levée de la pâte (cm)	DRC (%)	Durée de panification (min)	Volume Spécifique (cm ³ /g)	Perte de masse (%)
Témoin	3,54 ± 0,91 ^a	354,0 ± 90,5 ^a	686,5 ± 21,9 ^a	2,50 ± 0,15 ^a	2,23 ± 0,21 ^a
P4	3,34 ± 0,22 ^a	334,5 ± 21,9 ^a	724,0 ± 32,5 ^{ab}	2,87 ± 0,18 ^{ab}	2,10 ± 0,08 ^a
P9	4,43 ± 0,30 ^a	443,0 ± 29,7 ^a	692,5 ± 9,2 ^a	3,68 ± 0,42 ^b	2,28 ± 0,01 ^a
P10	3,09 ± 0,27 ^a	309,0 ± 26,9 ^a	691,5 ± 72,8 ^a	2,39 ± 0,20 ^a	2,21 ± 0,19 ^a
P11	3,22 ± 0,28 ^a	322,5 ± 27,6 ^a	848,5 ± 4,95 ^b	2,55 ± 0,08 ^a	2,50 ± 0,09 ^a

Les valeurs d'une même colonne ayant au moins une lettre en commun ne sont pas significativement différentes au niveau de probabilité de 5 % selon le test de Tukey.

Tableau 5: Valeurs moyennes (± écart-type) du CO₂ dégagé à la fin de la panification

Code pâtes	CO ₂ dégagé (L/kg de pâte)	Vitesse CO ₂ dégagée (ml/100 g de pâte/h)
Témoin	0,67 ± 0,08 ^a	5,70 ± 0,47 ^a
P4	0,57 ± 0,09 ^a	4,61 ± 0,50 ^a
P9	0,88 ± 0,17 ^a	7,51 ± 1,56 ^a
P10	0,68 ± 0,01 ^a	5,82 ± 0,50 ^a
P11	0,66 ± 0,15 ^a	4,58 ± 1,04 ^a

Les valeurs d'une même colonne ayant au moins une lettre en commun ne sont pas significativement différentes au niveau de probabilité de 5 %.

La figure 3 présente la levée de la pâte en fonction du CO₂ dégagé lors de la panification.

La figure 3 montre un lien étroit entre la levée de la pâte et le CO₂ dégagé lors de la panification. Toutefois, pour une même quantité de CO₂ dégagée, les levées n'ont pas la même hauteur pour les différentes pâtes, notamment pendant les phases (II) et (III); ce qui s'explique par l'effet des levains sur leur élasticité et leur capacité de retenir les gaz.

Production d'éthanol

L'éthanol est principalement produit par les levures et en moindre quantité par certaines bactéries lactiques (Hagman *et al.*, 2013). L'éthanol avec le CO₂ modifie la rhéologie de la pâte (Reed, 2012). Van Kerrebroeck *et al.* (2015) ont montré qu'il y a une bonne corrélation entre la mesure de l'éthanol déterminée par SIFT-MS ou par d'autres techniques tels que HPLC.

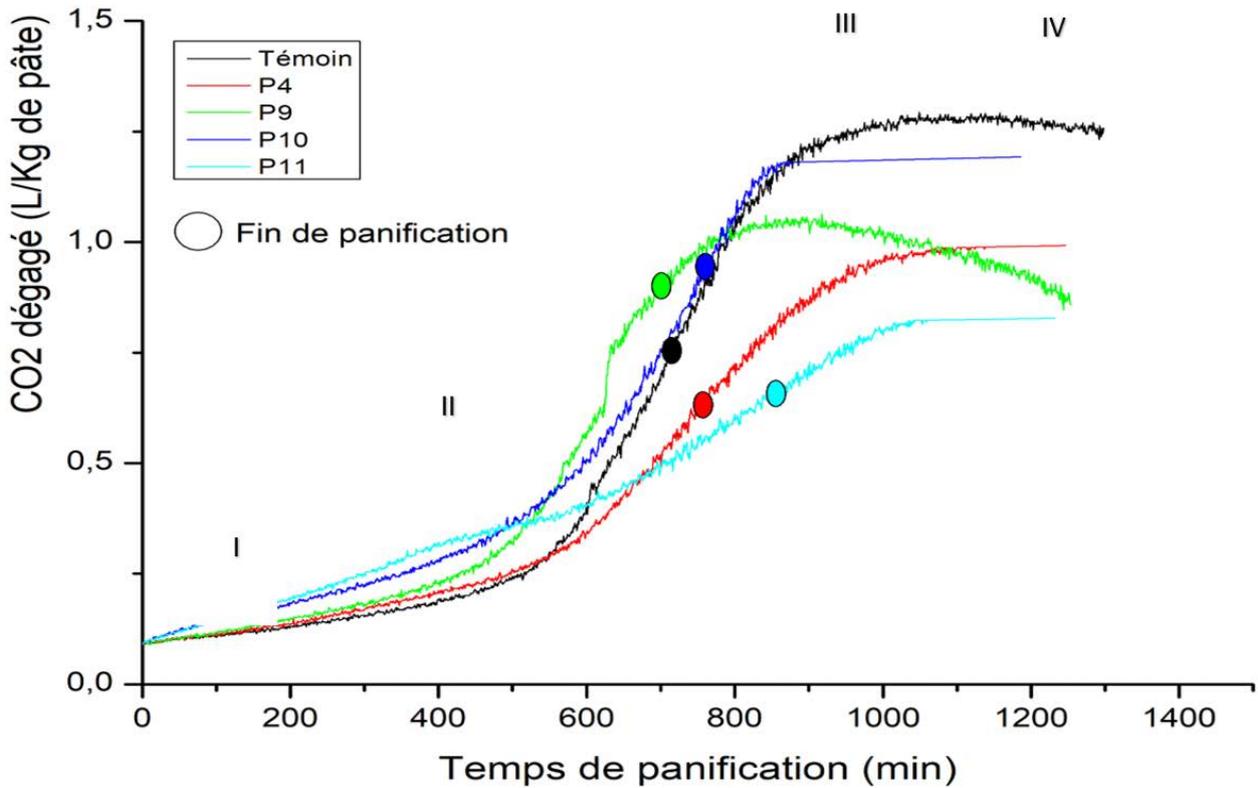


Figure 2: Courbes de dégagement du CO₂ (L/Kg de pâte) lors de la panification

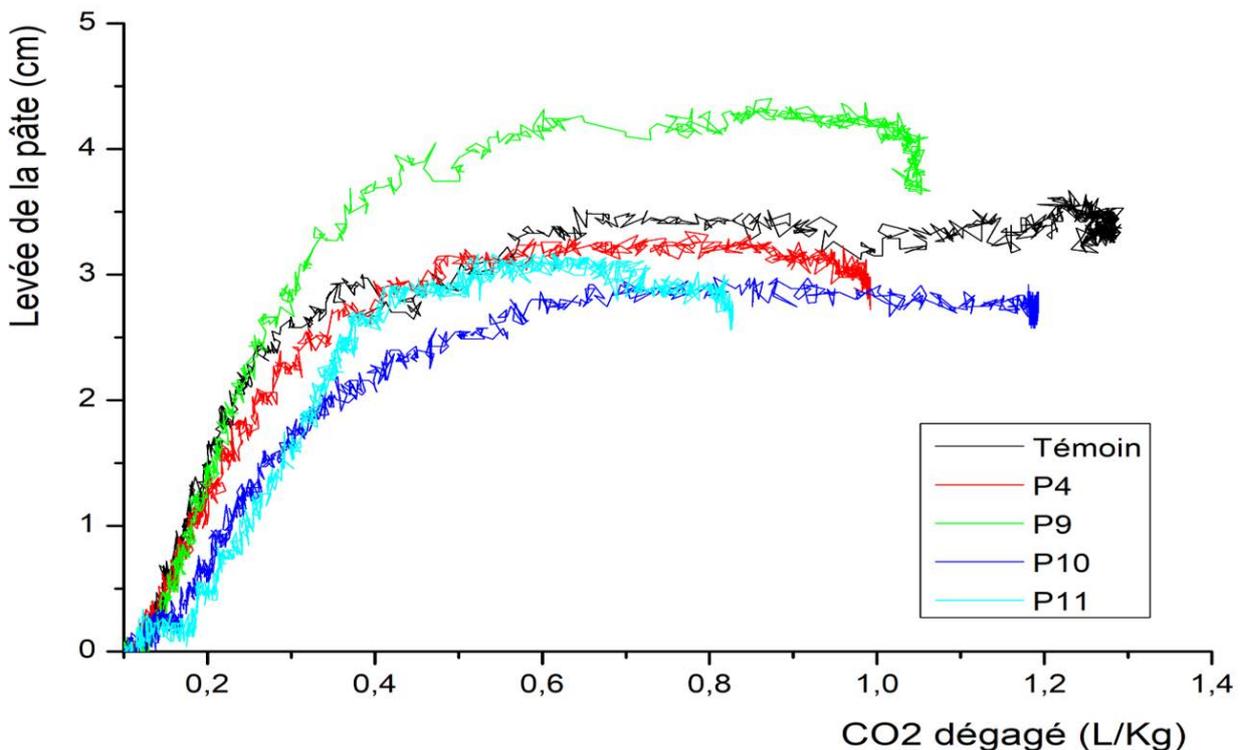


Figure 3: Levée de la pâte en fonction du CO₂ dégagé lors de la panification

La figure 4 présente les volumes d'éthanol dégagés lors de la panification des pâtes. Les courbes des figures 1 et 4 ont permis de déterminer les quantités et les vitesses de l'éthanol dégagé à la fin de la panification (Tableau 6).

Le type de levain n'a pas d'effet significatif sur le volume et sur la vitesse d'éthanol dégagé à la fin de la panification, avec une production moyenne de 6,86 L/kg de pâte et une vitesse moyenne de 55,6 ml/100 g/h.

Le CO₂ dégagé est d'environ 10 fois plus faible que l'éthanol dégagé, ce qui confirme que l'éthanol n'a pas d'effet très significatif sur la levée de la pâte et que le CO₂ reste le principal gaz responsable du gonflement de la pâte (Lund et al., 1989). On peut expliquer ceci par l'état gazeux du CO₂ (Pression de vapeur saturante = 56,4 atm à 20 °C) alors que l'éthanol est sous forme liquide dans la pâte (Pression de vapeur saturante = 0,05 atm à 20 °C).

On constate aussi que la production de l'éthanol continue après la fin de la panification (Figure 4), avec une légère augmentation de la pente de dégagement pour l'ensemble

des pâtes. Ceci s'explique par l'éclatement du réseau de la pâte qui perd sa capacité à retenir l'éthanol produit. Ce constat est confirmé par la baisse du volume de la pâte suite à son dégonflement (Figure 1).

Selon Pétel et al., (2017), l'éthanol influe sur la saveur du pain, donc on peut déduire que les pâtes issues de ces levains liquides pourraient avoir une saveur intéressante.

On peut prédire aussi que ces levains liquides contiennent des souches de levures ayant une capacité à résister à des concentrations élevées en éthanol, car l'augmentation de la concentration en alcool au cours de la fermentation auto-freine progressivement l'activité des levures (Aplevicz et al., 2013).

Selon Mamhoud et al. (2016) l'éthanol inhibe les moisissures du pain, et par conséquent ces levains liquides peuvent produire des pains conservables, car avec des concentrations d'éthanol comprises entre 0,2 et 12 %, il augmente la durée de conservation du pain (Barber et al., 1992).

La figure 5 montre la levée de la pâte en fonction de l'éthanol dégagé lors de la panification.

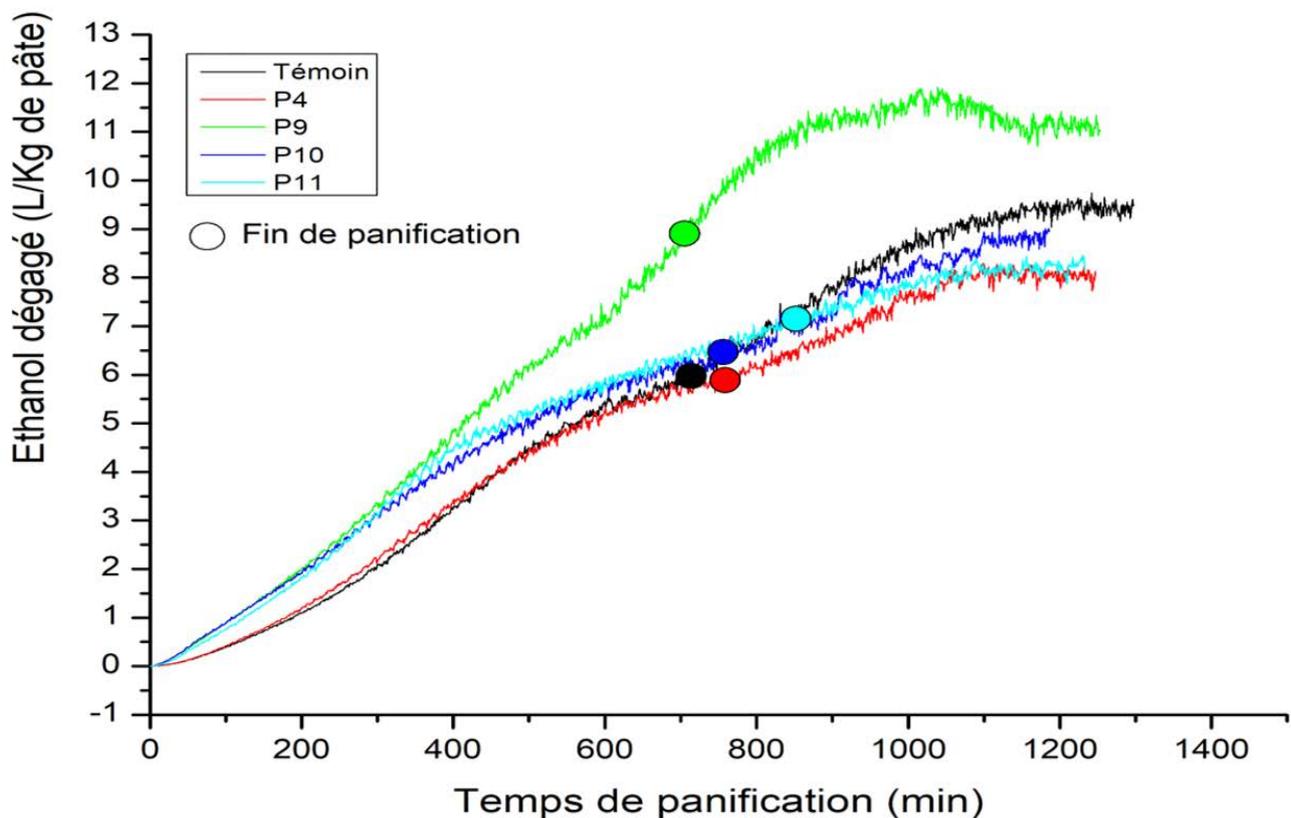


Figure 4: Courbes d'éthanol dégagé (L/kg de pâte) lors de la fermentation panairre

Tableau 6: Valeurs moyennes (\pm écart-type) de l'éthanol dégagé à la fin de la panification

Code pâtes	Éthanol dégagé (L/kg de pâte)	Vitesse d'éthanol dégagé (ml/100g de pâte/h)
Témoïn	6,07 \pm 0,38 ^a	51,8 \pm 1,46 ^a
P4	5,81 \pm 1,22 ^a	47,4 \pm 12,1 ^a
P9	8,92 \pm 2,33 ^a	75,4 \pm 18,7 ^a
P10	6,19 \pm 0,77 ^a	53,2 \pm 12,2 ^a
P11	7,29 \pm 1,00 ^a	50,3 \pm 6,80 ^a

Les valeurs d'une même colonne ayant au moins une lettre en commun ne sont pas significativement différentes au niveau de probabilité de 5 %.

On constate qu'il y a une corrélation étroite entre la levée de la pâte et l'éthanol dégagé, comme cité dans les travaux de Adriana *et al.* (2020).

La levée de la pâte en fonction de dégagement de l'éthanol est similaire pour l'ensemble des pâtes pendant les phases I et II puis elle est légèrement différente dans les phases III et IV, ce qui confirme que l'éthanol a peu d'effet sur le gonflement de la pâte en comparaison à celui du CO₂.

Suivi du pH

La baisse du pH est observée dans la pâte en raison de la production des acides biogènes, notamment l'acide lactique et acétique par les microorganismes, ainsi que par le dioxyde

de carbone produit par les levures. Ce pouvoir acidifiant est la propriété métabolique principale qu'on recherche chez les bactéries lactiques (Blandino *et al.*, 2013).

La figure 6 présente la baisse du pH des pâtes lors de la panification. Les figures 1 et 6 permettent de déterminer les valeurs du pH à la fin de la panification (Tableau 7).

Le type de levain a un effet significatif sur le pH initial des pâtes et sur sa diminution mais sans effet significatif sur leur pH final (Tableau 7). Ceci s'explique par la longue durée de la panification qui permet aux bactéries lactiques et acétiques de produire des acides biogènes en quantité suffisante pour baisser le pH des pâtes.

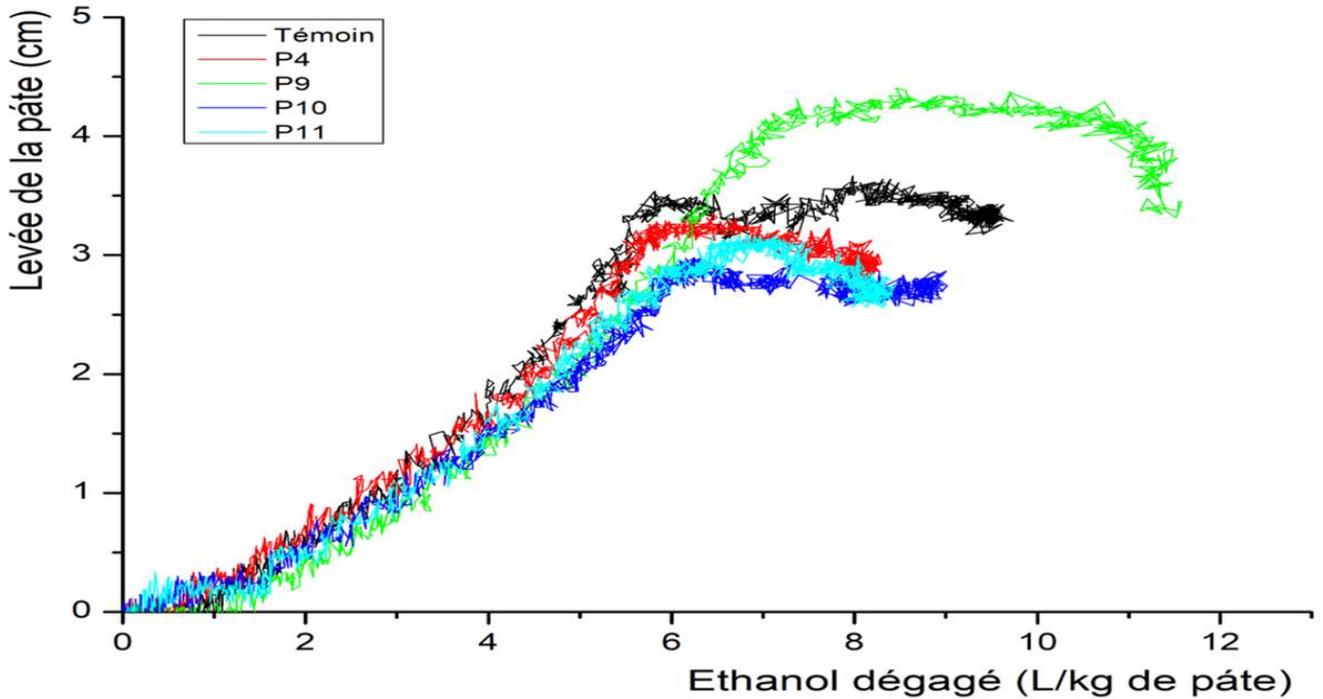


Figure 5: Levée de la pâte en fonction de l'éthanol dégagé

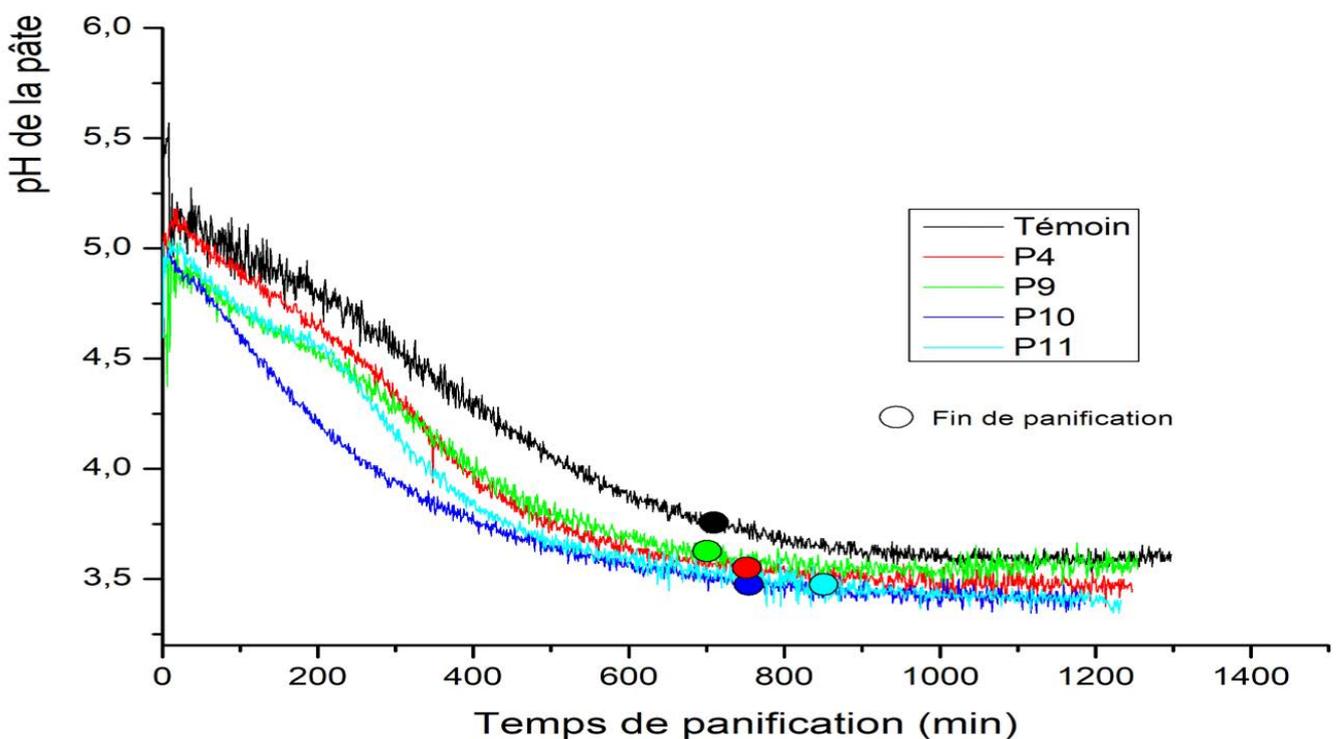


Figure 6: Suivi de la cinétique du pH de la pâte lors de la fermentation panaire

Le pH initial des pâtes varie de 4,89 à 5,61, alors que le pH final des pâtes est en moyenne de $(3,57 \pm 0,17)$ avec une diminution allant de 1,17 à 2,03.

On constate aussi que le pH de la pâte faite aux levains liquides atteint rapidement une valeur inférieure à 4,5 et ceci en moins de 300 min, ce qui donne plus de temps à la flore microbienne pour la dégradation de l'acide phytique. La pâte témoin nécessite plus de temps pour atteindre cette valeur avant la fin de panification. La valeur de pH de 4,6 est considérée optimale pour la dégradation de l'acide phytique et par conséquent une bonne biodisponibilité des oligo-éléments, car il fournit les conditions optimales pour l'activation des phytases végétales endogènes et des phytases microbiennes (Castro-Alba *et al.*, 2019).

Le pH acide des pâtes obtenues permet aussi de réduire le rassissement du pain et par conséquent contribuer à sa conservation. Cependant, il faut chercher un pH final à d'un niveau optimal afin de conserver des caractéristiques organoleptiques acceptables (Arendt *et al.*, 2007; Schlemmer *et al.*, 2009).

La diminution du pH était plus forte dans le témoin (1,86), ceci peut être expliqué par la forte activité microbienne des bactéries endogènes initiales de la farine qui sont peu

compétitionnées par la levure boulangère incorporée dans le témoin à faible taux (0,1%) (Tableau 2).

Suivi de l'ATT

Le tableau 8 présente l'acidité totale titrable de la pâte mesurée lors de la panification aux levains. Le type de levain a un effet significatif sur l'ATT initiale, l'ATT finale ainsi que sur son augmentation.

L'ATT initiale des pâtes varie de 1,96 à 2,54, alors que l'ATT finale varie de 3,92 à 7,31, avec une augmentation allant de 1,67 à 4,85. Les pâtes P10 et Témoin présentent la plus faible ATT finale avec une valeur allant de 3,88 à 4,99, alors que P4 et P9 ont une ATT finale variant de 5,81 à 6,19, tandis que P11 présente la plus grande valeur de l'ATT finale avec une moyenne de 7,29. Tous ces levains ont permis d'avoir une ATT finale inférieure à 8, ce qui permettra de produire un pain avec des caractéristiques organoleptiques très acceptables d'où le grand intérêt d'utiliser ces levains liquides pour la panification.

Corrélations entre les paramètres de panification

La figure 7 présente la projection des paramètres obtenus à la fin de la fermentation (a) et des pâtes (b) sur le plan principal (87,4%) d'une analyse en composantes principales (ACP).

Tableau 7: Valeurs moyennes (\pm écart-type) du pH de la pâte à la fin de la panification

Code pâtes	pH de la pâte		Diminution
	Initiale	Finale	
Témoin	$5,59 \pm 0,02^c$	$3,73 \pm 0,22^a$	$1,86 \pm 0,24^b$
P4	$5,05 \pm 0,01^b$	$3,54 \pm 0,10^a$	$1,51 \pm 0,08^{ab}$
P9	$4,89 \pm 0,01^a$	$3,68 \pm 0,06^a$	$1,21 \pm 0,06^a$
P10	$4,90 \pm 0,02^a$	$3,53 \pm 0,16^a$	$1,37 \pm 0,18^{ab}$
P11	$4,99 \pm 0,05^{ab}$	$3,37 \pm 0,09^a$	$1,62 \pm 0,04^{ab}$

Les valeurs d'une même colonne ayant au moins une lettre en commun ne sont pas significativement différentes au niveau de probabilité de 5 %.

Tableau 8: Valeurs moyennes (\pm écart-type) de l'ATT de la pâte

Code pâtes	ATT de la pâte (ml de NaOH 0,1N / 10 g de pâte)		
	Initiale	Finale	Augmentation
Témoin	$2,10 \pm 0,20^c$	$4,03 \pm 0,15^a$	$1,92 \pm 0,36^a$
P4	$2,14 \pm 0,64^c$	$6,00 \pm 0,19^b$	$3,86 \pm 0,13^{bc}$
P9	$2,50 \pm 0,04^a$	$5,98 \pm 0,07^b$	$3,48 \pm 0,03^b$
P10	$2,32 \pm 0,05^b$	$4,53 \pm 0,47^a$	$2,20 \pm 0,52^a$
P11	$2,48 \pm 0,08^a$	$7,29 \pm 0,03^c$	$4,81 \pm 0,06^c$

Les valeurs d'une même colonne ayant au moins une lettre en commun ne sont pas significativement différentes au niveau de probabilité de 5 %.

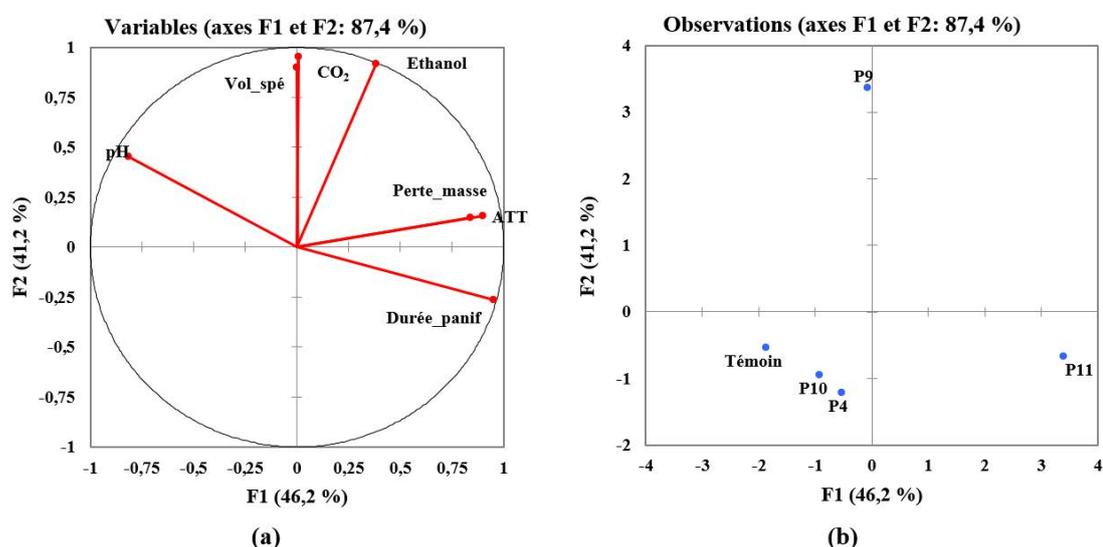


Figure 7: Projection des paramètres de la performance panaire (a) et des pâtes (b) sur le plan principal d'une analyse en composantes principales

Le premier axe du cercle des corrélations, qui explique 46,2% de la variabilité, montre que la durée de la panification est fortement corrélée positivement à l'ATT et à la perte de masse et ces trois paramètres sont corrélés négativement au pH. Les pâtes P11 présentent les valeurs les plus élevées de la durée de panification et les plus faibles pour le pH. Le deuxième axe, qui explique 41,2%, montre que le volume spécifique est fortement corrélé positivement à la quantité de CO₂ et à l'éthanol dégagé. Les valeurs les plus élevées de ce groupe de paramètres sont obtenues pour les pâtes P9, qui semblent présenter des performances largement meilleures.

Panigramme individuel du levain liquide L9

D'après les tests de panification, il paraît que le levain liquide L9 présente une performance fermentaire globalement meilleure que celle des autres levains. Son panigramme individuel

(figures 8) permet de lire directement les principaux paramètres de panification sur le même graphique.

Ce genre de graphe, qui permet de suivre la cinétique de quatre paramètres de fermentation et de connaître leurs valeurs à la fin de la panification, constitue une empreinte visuelle permettant de lire les performances fermentaires d'un levain et les comparer à d'autres levains.

Panigramme vertical

Le panigramme vertical (Figure 9) constitue une autre façon de comparer la performance fermentaire, mais de plusieurs levains à la fois. Ce graphe peut être utilisé comme un outil facile pour cartographier les principaux paramètres de fermentation, sous forme d'empreinte visuelle et numérique qui pourrait faciliter la comparaison de plusieurs levains dans des travaux ultérieurs.

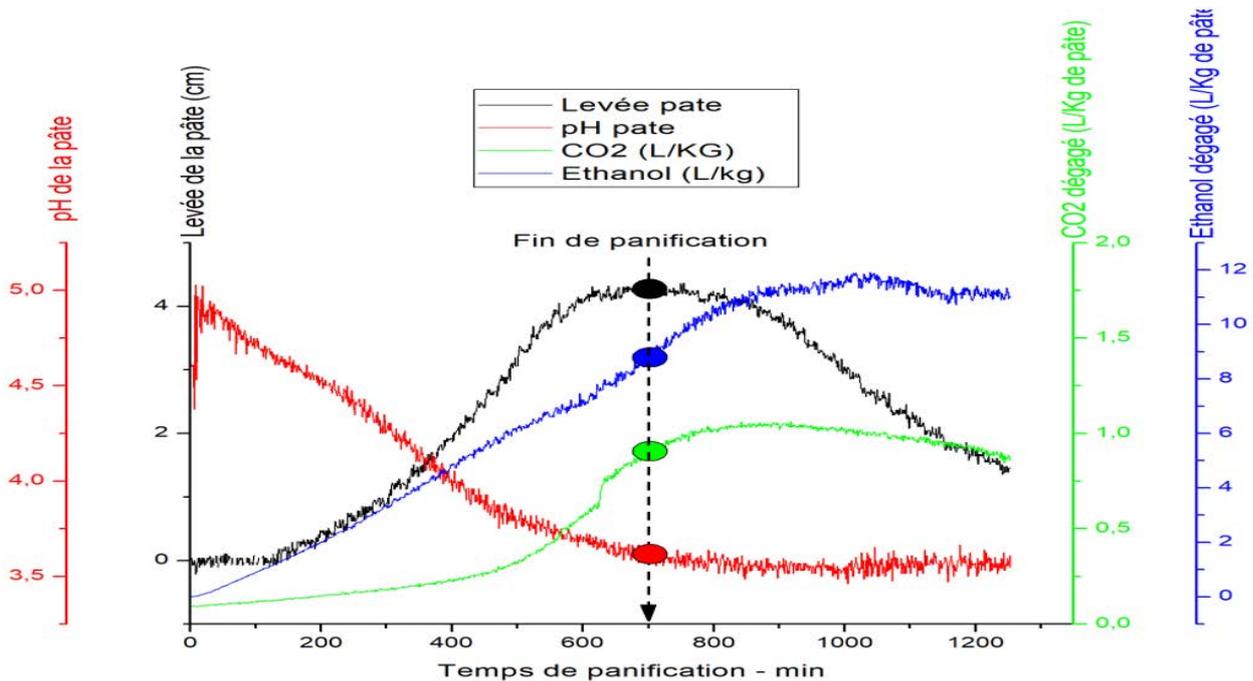


Figure 8: Panigramme individuel du levain liquide L9 lors de la panification

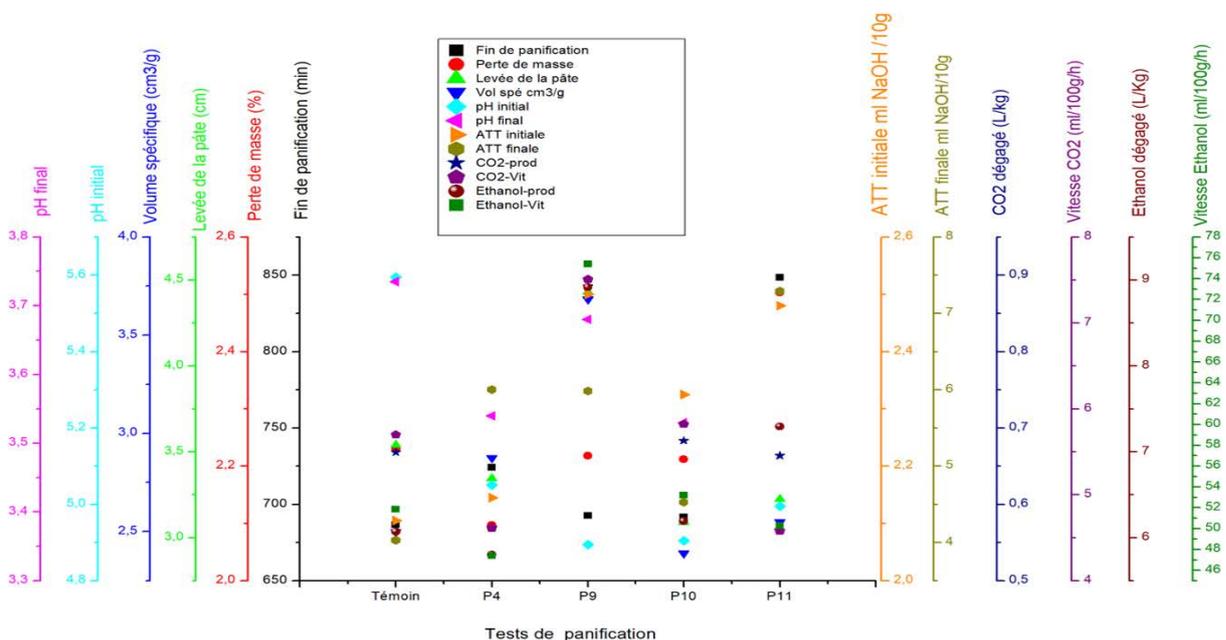


Figure 9: Paramètres de panification des levains liquides comparés au témoin

CONCLUSION

La surveillance en temps réel des principaux paramètres de panification, a permis de tracer les panigrammes individuels et verticaux de plusieurs pâtes aux levains liquides. Cet outil graphique assimilé à une empreinte digitale a permis la comparaison visuelle entre les différents types de levains et de retenir celui qui paraît être le plus adapté à nos besoins de panification. L'utilisation du levain liquide L9 à base de la farine de blé dur complète pour la panification du pain a plusieurs avantages par rapport au témoin, notamment en termes de temps de panification réduit, un volume spécifique important et une acidité finale du pain très appréciés. L'utilisation d'un levain liquide présente d'autres avantages par rapport au levain frais, il donne une qualité constante du pain, une longue durée de conservation et permet d'éviter les rafraîchissements périodiques.

D'autres études devraient se concentrer sur le panigramme idéal du levain liquide pour chaque type de produits de boulangeries, ainsi que d'intégrer d'autres critères organoleptiques et microbiologiques dans le panigramme individuel et vertical.

RÉFÉRENCES

- Abd-El-A1A.T.H., Phaff H. J. (1968). Exo-p-glucanases in Yeast. *Biochemical Journal*, 109: 347-360.
- Adriana I., Gheorghe V., Gheorghe M., Paula T. (2020). Evaluation of carbon dioxide released by bread dough during proving stage. *E3S Web of Conferences*, 180; 03012.
- Aplevicz K., Silva T.Da, Canella M., Ogliari P., Sant'anna E. (2013). Influence fermentation time of sourdough through the application of linear regression analysis. *Sodebrás*: 15-18.
- Arendt E.K., Ryan L.A.M., Dal Bello F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, 24: 165-174.
- Arora K., Ameer H., Polo A., Di Cagno R., Rizzello C.G., Gobbetti M. (2021). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends in Food Science et Technology*, 108: 71-83.
- Barber B., Ortolá C., Barber S., Fernandez,F. (1992). Storage of packaged white bread. *Zeitschrift Für Lebensmittel-Untersuchung Und Forschung*, 194: 442-449.
- Bhatt S.M., Gupta R.K. (2015). Bread (composite flour) formulation and study of its nutritive, phytochemical and functional properties. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 4: 254-268.
- Blandino M., Sovrani V., Marinaccio F., Reyneri A., Rolle L., Giacosa S., Locatelli M., Bordiga M., Travaglia F., Coisson J.D., Arlorio M. (2013). Nutritional and technological quality of bread enriched with an intermediated pearled wheat fraction. *Food Chemistry*, 141: 2549-2557.
- Carnevali P., Ciati R., Leporati A., Paese M. (2007). Liquid sourdough fermentation: Industrial application perspectives. *Food Microbiology*, 24: 150-154.
- Castro-Alba V., Lazarte C.E., Perez-Rea D., Carlsson N., Almgren A., Bergenstahl B., Granfeldt Y. (2019). Fermentation of pseudocereals quinoa, canihua and amaranth to improve mineral accessibility through degradation of phytate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99: 5239-5248.
- Chafai Y., Raffak A., El-Aalaoui M., Sbaghi M., Djerrari A., Zahar M. (2023). Valorization of prickly pear peels et seed press-cake in traditional sourdoughs and evaluation of their bread-making capacities. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, e9744-e9744.
- Corsetti A., Settanni L. (2007). Lactobacilli in sourdough fermentation. *Food Research International*, 40: 539-558.
- De Vuyst L., Neysens P. (2005). The sourdough microflora: Biodiversity and metabolic interactions. *Trends in Food Science et Technology*, 16: 43-56.
- De Vuyst L., Van Kerrebroeck S., Harth H., Huys G., Daniel H.-M., Weckx S. (2014b). Microbial ecology of sourdough fermentations: Diverse or uniform? *Food Microbiology*, 37: 11-29.
- Decock P., Cappelle S. (2005). Bread technology and sourdough technology. *Trends in Food Science et Technology*, 16: 113-120.
- Di Cagno R., Pontonio E., Buchin S., De Angelis M., Lattanzi A., Valerio F., Gobbetti M., Calasso M. (2014). Diversity of the Lactic Acid Bacterium and Yeast Microbiota in the Switch from Firm- to Liquid-Sourdough Fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 80: 3161-3172.
- Eiteman M.A., Ramalingam S. (2015). Microbial production of lactic acid. *Biotechnology letters*, 37: 955-972.
- Gobbetti M., Corsetti A., Rossi J. (1995). Interaction between lactic acid bacteria and yeasts in sour-dough using a rheofermentometer. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 11: 625-630.
- Gurbuz O., Gocmen D., Ozmen N., Dagdelen F. (2010). Effects of yeast, fermentation time, and preservation methods on Tarhana. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 40: 263-275.
- Hagman A., Säll T., Compagno C., Piskur J. (2013). Yeast "Make-Accumulate-Consume" Life Strategy Evolved as a Multi-Step Process That Predates the Whole Genome Duplication. *PLoS ONE*, 8: e68734.
- Hammes W.P., Gänzle M.G. (1998). Sourdough breads and related products. In B.J.B. Wood (Ed.), *Microbiology of Fermented Foods* (p. 199-216). Springer US.
- Lund B., Hansen A., Lewis M.J. (1989). The influence of dough yield on acidification and production of volatiles in sourdoughs. *Lebensmittel-Wissenschaft+ Technologie*, 22: 150-153.
- Mamhoud A., Nionelli L., Bouzaine T., Hamdi M., Gobbetti M., Rizzello C.G. (2016). Selection of lactic acid bacteria isolated from Tunisian cereals and exploitation of the use as starters for sourdough fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 225: 9-19.
- Minervini F., De Angelis M., Di Cagno R., Gobbetti M. (2014). Ecological parameters influencing microbial diversity and stability of traditional sourdough. *International Journal of Food Microbiology*, 171: 136-146.
- Narendranath N.V., Thomas K.C., Ingledew W.M. (2001). Effects of acetic acid and lactic acid on the growth of *Saccharomyces cerevisiae* in a minimal medium. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 26: 171-177.
- Pétel C., Onno B., Prost C. (2017). Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review. *Trends in Food Science et Technology*, 59:105-123.
- Reed G. (2012). Yeast technology. Springer Science et Business Media.
- Rizzello C.G., Nionelli L., Coda R., Di Cagno R., Gobbetti M. (2010). Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread. *European Food Research and Technology*, 230: 645-654.
- Roussel P., Onno B., Michel E., Sicard D. (2020). La panification au levain naturel. Éditions Quae.
- Schlemmer U., Frølich W., Prieto R.M., Grases F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition et Food Research*, 53: S330-S375.
- Van Kerrebroeck S., Vercammen J., Wuyts R., De Vuyst L. (2015). Selected Ion Flow Tube–Mass Spectrometry for Online Monitoring of Submerged Fermentations: A Case Study of Sourdough Fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63: 829-835.
- Vrancken G., Rimaux T., Weckx S., Leroy F., De Vuyst L. (2011). Influence of temperature and backslopping time on the microbiota of a Type I propagated laboratory wheat sourdough fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 77: 2716-2726.
- Waters D.M., Jacob F., Titze J., Arendt E.K., Zannini E. (2012). Fibre, protein and mineral fortification of wheat bread through milled and fermented brewer's spent grain enrichment. *European Food Research and Technology*, 235:767-778.
- Zhang L., Lucas T., Doursat C., Flick D., Wagner M. (2007). Effects of crust constraints on bread expansion and CO₂ release. *Journal of Food Engineering*, 80:1302-1311.

Qualité du kéfir camelin issu du système d'élevage extensif en Tunisie

Samira ARROUM^{1,2}, Amel SBOUI², Imen FGUIRI², Naziha AYEB^{2,3}, Mohamed HAMMADI², Touhami KHORCHANI²

(Reçu le 30/05/2023; Accepté le 17/07/2023)

Résumé

L'objectif de ce travail est de transformer le lait de chamelle élevée dans un système extensif en Kéfir. La pasteurisation (63°C pendant 30 min) du lait, l'incubation avec trois doses des grains de kéfir (2, 5 et 10%) et à différents temps d'incubations (18; 20 et 24 h) ont été évalués lors de la transformation. Les caractéristiques physico-chimiques des laits, grains du kéfir, kéfirs camelins et la composition chimique de l'alimentation des chameles rencontrée sur parcours ont été mesurées. Les résultats ont montré que le lait camelin se caractérise par une valeur neutre du pH (6,9 ± 0,11) et une teneur en matière sèche importante (114 ± 0,11 g/l). Les grains des kéfirs ont un pH acide (3,9) et leur teneur en matières grasses est négligeable (0,02 g/kg). La composition chimique des espèces pastorales a montré que la teneur en NDF a été de 33,9 à 81,1% et la teneur en ADF a été de 22,5% à 61,7%. La dose des grains du kéfir (2,5 et 10 %) a eu un effet significatif sur le pH, l'acidité et la viscosité du kéfir obtenu pour les différents temps d'incubation (18, 20 et 24 h). Par conséquent, le lait camelin a une aptitude à la transformation au kéfir conforme aux normes législatives.

Mots clés: Lait camelin, grains de kéfir, plantes pastorales et les caractéristiques chimiques

Quality of kefir from camel raised in an the extensive system in Tunisia

Abstract

The aim of this study is to transform milk of camel, raised in an extensive system, into kefir. The pasteurization (63°C for 30 min) of the milk, the incubation with three rates of kefir grains (2,5 and 10%) and different incubation times (18; 20 and 24 h) were evaluated during the transformation. The physicochemical characteristics of milk, kefir grains, camel kefirs and the chemical composition of the diet of the camels were measured. The results showed that camel milk is characterized by a neutral pH value (6.9 ± 0.11) and a high dry matter (DM) content of 114.2 ± 0.11 g/l. Kefir grains have an acid pH (3.9) and their fat content is very low (0.02 g/kg). The chemical composition of pastoral species showed an NDF content of 33.9 to 81.1% and an ADF content of 22.5% to 61.7%. Varying the rate of kefir grains from 2,5 to 10% had a significant effect on the pH, acidity and viscosity of the kefir obtained for the different incubation times (18, 20 and 24 h). Consequently, camel milk was suitable for transformation into kefir in accordance with legislative standards.

Keywords: Camel milk, kefir grains, pastoral plants and chemical characteristics

INTRODUCTION

L'élevage camelin est une tradition ancestrale en Tunisie. Généralement, il est mieux adapté dans le système d'élevage extensif. Le dromadaire broute ses besoins alimentaires du parcours couvert d'une végétation rejetée par les autres ruminants (Longo *et al.*, 2007). Il est capable de procurer du lait de très bonne qualité nutritionnelle en valorisant le maigre pâturage des régions difficiles, contrairement aux autres animaux laitiers (Boudjenah, 2012). Le lait de chamelle est extrêmement important pour les habitants des régions arides. Il occupe une place stratégique dans l'alimentation quotidienne des nomades grâce à sa composition équilibrée en nutriment de base (protéines, glucides et lipides). Actuellement, il est apprécié pour ses propriétés anti-infectieuses (Jrad *et al.*, 2013) et anti-diabétiques (Sboui *et al.*, 2009).

De nos jours, les besoins en lait camelin sont de plus en plus importants, du fait que ce produit recèle suffisamment de nutriments essentiels (El Hatmi *et al.*, 2000), peut être consommé à l'état frais, pasteurisé ou fermenté (Fguiri *et al.*, 2016) pour prolonger sa durée de conservation. Parmi les produits fermentés, on cite le kéfir, d'origine caucasienne, qui reçoit sa particularité et son goût spécifique d'une association de bactéries lactiques et de levures (Arslan, 2015). Ce produit possède les qualités nutritionnelles des autres

laits fermentés dont une meilleure digestibilité suite à la fermentation et adéquat aux individus intolérants au lactose (Zourari *et al.*, 1988). La boisson au kéfir se répand maintenant dans le monde entier, de plus en plus demandé par les consommateurs en raison de ses propriétés potentiellement associées à la santé (Leite *et al.*, 2015; Kesenkaset *et al.*, 2017; Hamida *et al.*, 2021; Arroum *et al.*, 2022).

Le kéfir peut être préparé en utilisant différent type du lait. L'utilisation du lait de chamelle reste limitée, malgré ses propriétés nutritionnelles et thérapeutiques. Ceci étant dû à sa disponibilité et à la faible aptitude à la transformation du lait camelin (Ramet, 2004). Le type de lait utilisé, le mode d'élevage, les grains de kéfir et les conditions de fermentation (dose, durée et température) doivent être surveillés pendant la production, car des modifications de ces variables peuvent affecter la composition chimique du kéfir (Beghedadi et Bouzrara, 2022).

C'est dans ce cadre que nous avons abordé ce travail de recherche qui a pour objectif la caractérisation d'un lait fermenté de type kéfir à base du lait camelin issu du système extensif à différent condition de fermentation. Cette étude se focalise également sur la caractérisation des plantes pastorales broutées par les chameles laitières ainsi que la qualité du leur Kéfir saharien produit à différents doses de grains de kéfir et différents temps d'incubation.

¹ Institut Supérieur Agronomique de Chott-Meriem, Université Sousse, Tunisie

² Laboratoire d'élevage et de faune sauvage, Institut des Régions Arides, Médenine, Tunisie

³ Centre Régional des Recherches Agricoles Sidi Bouzid, Tunisie

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude a été réalisée au Sud-Est Tunisien dans le Laboratoire d'Élevage et de la Faune Sauvage à l'Institut des Régions Arides (IRA) de Médenine.

Matériel biologique

Les grains de kéfir

Les grains de Kéfir sous forme de chou-fleur ont été collectés de chez des utilisateurs privés. Avant chaque utilisation, ils ont été lavés à l'eau distillée, tamisés (2, 5 et 10%) et par la suite inoculés au lait de chamelle provenant du système d'élevage extensif (18, 20 et 24 heures) à une température de 25°C.

Collecte du lait et des aliments

L'échantillonnage du lait de chamelle (*Camelus dromedarius*) et de leur alimentation correspondante ont été collectés sur une période de 5 mois (février jusqu'à juin 2020) et sont issus du système d'élevage extensifs du gouvernorat de Médenine (Sidi Makhloof, Gataayet Chih et Halg Ejmel) où pâturent les chamelles laitières. A partir du parcours étudié, 17 espèces pastorales ont été collectés des trois sites mentionnés, en trois répétitions. Le lait a été collecté dans la même période de la collecte des plantes pastorales. Il s'agit d'un mélange provenant de la traite totale de dix chamelles portantes, saines, multipares et en mi-lactation. Le prélèvement est répété trois fois pour chaque site.

L'alimentation des chamelles repose sur les apports du parcours. Donc, il est utile de mener une étude des plantes palatables par les chamelles sur le parcours utilisé dont le but de reconnaître le type de plante consommé par les chamelles durant cette période. La composition floristique des espèces collectées et leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1: Nomenclature des quelques plantes consommées par les troupeaux des camélidés sur parcours

Espèces	Cycle de vie	Famille
<i>Suaeda mollis</i>	a	Chenopodiaceae
<i>Reaumaria vermicullata</i>	p	Tamaricacées
<i>Launaea glomerata</i>	a	Astéracées
<i>Retama raetam</i>	p	Fabaceae
<i>Stipa tenacissima</i>	P	Poaceae
<i>Limoniastrum gynianum</i>	p	Plumbaginaceae
<i>Atriplex halimus</i>	p	Chénopodiacées
<i>Traganum nudatum</i>	p	Amaranthacées
<i>Nitraria retusa</i>	p	Nitrariaceae
<i>Tamarix gallica</i>	p	Tamaricaceae
<i>Salsola tetrandra</i>	p	Amaranthacées
<i>Aeluropus littoradis</i>	p	Poaceae
<i>Zygophyllum album</i>	p	Zygophyllaceae
<i>Frankinia thymofolia</i>	p	Frankeniaceae
<i>Astragalus armatus</i>	p	Fabacées
<i>Deverra tortuosa</i>	p	Apiaceae
<i>Halocnemum strobilacum</i>	p	Amaranthaceae

a: annuelle, p: pérenne

Analyses chimiques des aliments

Les espèces pastorales ont été divisées en deux fractions: la première est destinée à la détermination de la matière sèche (MS) par séchage dans une étuve à 105°C pendant 24 heures (AOAC, 1990) et la deuxième est séchée dans une étuve ventilée à 60°C et broyée en utilisant un broyeur électrique muni d'un tamis de 1 mm de diamètre.

Les poudres issues du broyage ont été utilisées pour déterminer la composition chimique des espèces végétales broyées par les chamelles dans le système extensif (% MS): Matière minérale (MM), Matière azotée totale (MAT), les résidus des fibres aux détergents neutres (NDF), les fibres aux détergents acides (ADF) et lignine insolubles dans les détergents acides (ADL)

La composition chimique des échantillons a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre infrarouge (SPIR) dont la base des données des plantes pastorales du Sud Tunisien est étalonnée par Ben Rejeb (2021). C'est une technique analytique basée sur l'absorption des rayonnements par la matière organique avec des longueurs d'onde entre 800 et 2500 nm.

Le résultat du scan infrarouge est un spectre, qui est une série de mesures d'absorption de la lumière aux différentes longueurs d'onde du proche infrarouge. La SPIR est une technique rapide, peu coûteuse et très utilisée pour caractériser les matières premières et les produits finis (Bastianelli et al., 2015).

Protocole de fabrication de kéfir

Après la collecte des échantillons des laits, ils sont stockés à 4°C et transformés en Kéfir selon ce processus (Figure 1). Le kéfir a été préparé selon le protocole traditionnel de Otlis et Cagindi (2003).

Détermination des caractéristiques physico-chimiques de lait camelin, du Kéfir et des Grains du Kéfir

pH et acidité titrable

Les valeurs de pH du lait frais, du kéfir et du Grain du Kéfir ont été mesurées à l'aide d'un pH-mètre (Jenway 3510). L'acidité titrable est déterminée selon les méthodes normalisées par un dosage avec du NaOH (0,1 N) en présence de phénol phtaléine (AFNOR, 1993). Elle est exprimée en degré Dornic par la formule suivante: Acidité (°D) = n * 9 Avec «n» la valeur indiquée sur la burette graduée pour le lait et le Kéfir.

Densité et la Viscosité

La détermination de la densité du lait de chamelle a été effectuée à l'aide d'un thermo-lactodensimètre à 20 °C. La viscosité a été mesurée à l'aide d'un viscosimètre numérique (Brookfield DV-E) de précision ± 1% de la gamme à l'aide du mobile S₅ pour les kéfirs et S₁ pour les laits. La vitesse de tours est 100 rpm.

Extrait sec total (MS)

La teneur en matière sèche d'un échantillon est calculée après pesée de l'échantillon humide et de son résidu sec après passage à l'étuve à 100 ± 1°C pendant 24 h (AFNOR, 1993).

Taux en cendres (MM)

Le taux en cendres est déterminé par incinération des matières sèches pendant 4 h à 550°C (AFNOR, 1993).

Matière grasse (MG)

Méthode Gerber

Les teneurs en matières grasses du lait ont été déterminées par la méthode Neusal (Wang et Farah, 1998). Cette méthode repose sur la lecture directe sur un butyromètre de la quantité de matière grasse contenue dans 9,7 ml d'échantillon après dissolution des protéines par 12 ml de solution Neusal.

Méthode de Soxhlet

Cette méthode (ISO 1443, 2010) détermine la quantité de la matière grasse (MG) chez les grains du Kéfir en présence de l'acide chlorhydrique. A l'ébullition, on ajoute de l'eau distillée à ce mélange. Après filtration de ce dernier par un papier filtre (contenant une couche de matière grasse), on le met dans une étuve à une température de 105°C pendant une heure et on l'insère dans la cartouche d'extraction qui sera fermée par un coton imbibé dans le n-hexane. Le ballon d'extraction a été chauffé sur une plaque pendant 4 h jusqu'à ce que la matière grasse passe du papier filtre au ballon d'extraction. A la fin de cycle d'extraction, le solvant (n-hexane) a été évaporé sous vide dans un évaporateur rotatif à 40°C. Puis, le ballon d'extraction a été séché pendant une heure dans l'étuve à 105°C. Après dessiccation on pèse le ballon. Le

taux de matière grasse est calculé selon la formule suivante:

$$(m_2 - m_1) * 100 / m_0$$

Avec: m_0 = masse de prise d'essai en gramme, m_1 = masse de ballon d'extraction vide et m_2 = masse de ballon d'extraction après dessiccation.

Matière protéine (MAT)

Les teneurs en protéine du lait et du Kéfir ont été déterminées par la méthode de Bradford à l'aide de spectrométrie (Bradford, 1976). C'est une méthode d'analyse quantitative de la protéine. On mesure la teneur en protéine en g/l à une longueur d'onde ($\lambda=595$ nm).

Lactose

Deux millilitres de (lait et Kéfir) ont été ajoutés à 1,5 ml d'eau distillée et ont été incubé à 60 °C pendant 10 minutes. Ensuite, 0,25 ml de solution de Carrez I (ferrocyanure de potassium aqueux 500 mM), 0,25 ml de Carrez II (acétate de zinc aqueux 500 mM) et 1 ml d'acétonitrile ont été ajoutés. Le contenu a été doucement mélangé puis maintenu au repos pendant 1 h à température ambiante. Le précipité ainsi obtenu a été éliminé par centrifugation (10 000 g, 8 min, 20 °C). Le surnageant résultant contenant les sucres extraits a ensuite été filtré à travers une membrane en nylon

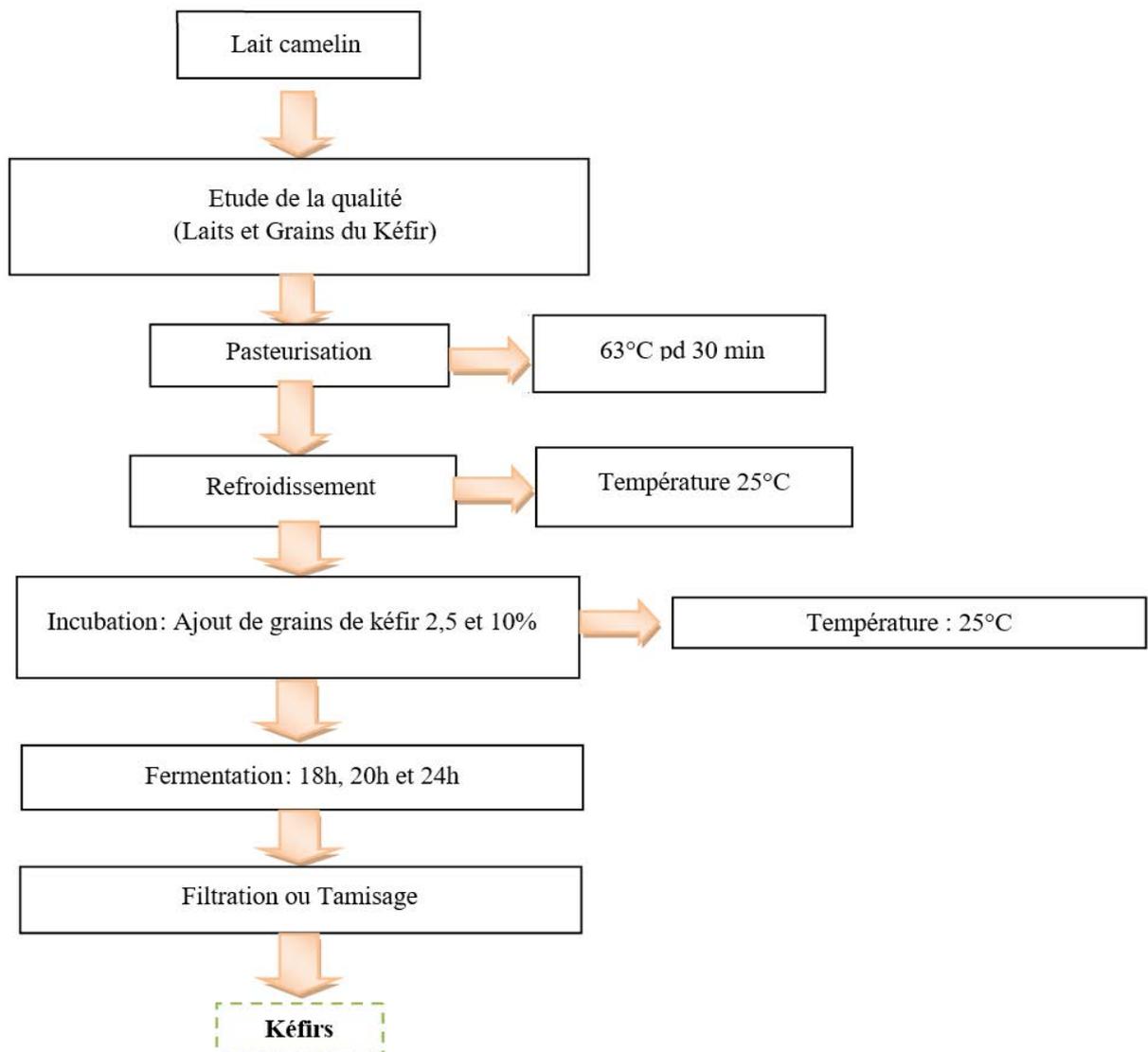


Figure 1: Processus général de préparation du Kéfir

de 0,45 μm . Un échantillon (20 μl) de cet extrait clarifié final ont été injectés dans le système HPLC pour analyse (Rajan *et al.*, 2009).

Analyse statistique

Les analyses statistiques des données ont été réalisées par le logiciel SPSS (11.5), la composition chimique des Kéfirs ont été traité par une analyse de la variance ANOVA ($\alpha = 0,05$) à un seul facteur à 3 niveaux (effet de la dose; 2; 5 et 10%). La différence entre les moyennes a été déterminée avec le test Duncan ($P < 0,05$).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Composition chimique de la végétation des parcours

Les résultats de la composition chimique des différentes plantes broutées par les dromadaires sur parcours dans les systèmes extensifs sont présentés dans le tableau 2.

Matière sèche

La teneur en MS a été variée d'une plante à une autre. Elle a été oscillée de $16,9 \pm 0,83$ pour *Zygophyllum album* à $67,8 \pm 11,6$ pour *Aeluropus littoralis*. Ces valeurs sont similaires à celles trouvées par Ben Rejeb *et al.*, (2020) pour *Zygophyllum album* (17,9 %). L'existence de plantes riches en eau sont d'une importance majeure pour le dromadaire sur le parcours désertique (Ben Arfa *et al.*, 2004).

Matière minérale

Retama raetam et *Stipa tenacissima* sont caractérisées par la teneur la plus faible de MM, elles sont de $3,92 \pm 1,79$ et $2,3 \pm 0,9$ respectivement par rapport à *Halocnemum strobilacum* (30,1) et *Frankinia thymofolia* ($30,6 \pm 11,2$), valeurs les plus élevés parmi les plantes pastorales étudiées. Ces valeurs sont similaires à celles trouvées par Ben Rejeb *et al.*, (2020) respectivement pour *Frankinia thymofolia* et *Halocnemum strobilacum* (30,2 g/l et 30,9 g/l). En effet, la composition minérale d'un fourrage résulte de l'action

combinée de plusieurs facteurs; la phase végétative de la plante, les conditions de l'environnement et les modes d'exploitation (Bouchet et Gueguen, 1981; Jarrige *et al.*, 1995; Chehema, 2005; Chehema et Youcef, 2009).

Matière azotée totale

Pour la MAT, on remarque que toutes les espèces ont des valeurs faibles surtout *Aeluropus littoralis* et *Frankinia thymofolia* qui ont respectivement $3,4 \pm 1,31$ et $4,84 \pm 1,94$. *Stipa tenacissima* présente une faible teneur en MAT ($5,27 \pm 0,2$) qui est proche à celle trouvée par Ben Rejeb *et al.*, (2020) qui ont confirmé que les moyennes des matières azotées des espèces pastorales varie entre 8,5 et 14,1%. Les faibles teneurs en MAT peuvent être attribuées à la stratégie d'adaptation des plantes sahariennes à la sécheresse. Andrieu et Weiss (1981) admettent que la variation en MAT est liée à la composition morphologique (rapport feuilles/tiges).

Teneur en fibres des plantes pastorales

Les-résidus des fibres aux détergents neutres (NDF)

La teneur en NDF dans la majorité des plantes est élevée, surtout chez le *Stipa tenacissima* (81,1%), *Aeluropus littoralis* (72,2%) et *Astragalus armatus* (64,7%).

En effet, la différence des valeurs entre les aliments analysés est due aux facteurs climatiques qui agissent sur la teneur et la composition des parois par l'intermédiaire de la composition morphologique, ainsi les températures élevées stimulent la lignification rapide des tissus de soutien. Assoumaya (2007), a rapporté que les variations de la composition chimique sont liées à l'environnement climatique et édaphique.

Les fibres insolubles dans les détergents acides (ADF)

Pour les fibres ADF, on note que le *Stipa tenacissima* est fortement fibreux de valeur égale à 61,7 %, valeur proche à celle trouvée par Genin *et al.*, (2006) qui a été de 49 %. En effet, pour les fibres ADF, elles sont généralement reliées

Tableau 2: Composition des espèces végétales broutées par les chameles dans le système extensif

Plantes	MS	MM	MAT	NDF	ADF	ADL
<i>Suaeda mollis</i>	$53,2 \pm 5,31$	$18,6 \pm 2,13$	$7,88 \pm 0,03$	$60,5 \pm 0,68$	$45,8 \pm 6,55$	$15,2 \pm 1,30$
<i>Reaumaria vermiculata</i>	$44,6 \pm 0,66$	$18,0 \pm 1,22$	$9,87 \pm 2,00$	$40,0 \pm 2,40$	$23,6 \pm 0,40$	$11,2 \pm 3,90$
<i>Launaea glomerata</i>	$20,8 \pm 4,39$	$17,1 \pm 0,30$	$8,62 \pm 6,00$	$57,0 \pm 3,50$	$40,8 \pm 2,90$	$9,24 \pm 3,00$
<i>Retama raetam</i>	$43,2 \pm 6,44$	$3,92 \pm 1,79$	$10,6 \pm 4,50$	$62,5 \pm 4,24$	$47,8 \pm 4,08$	$16,9 \pm 1,30$
<i>Stipa tenacissima</i>	$59,2 \pm 7,94$	$2,31 \pm 0,90$	$5,27 \pm 0,20$	$81,1 \pm 1,20$	$61,7 \pm 1,05$	$13,4 \pm 0,03$
<i>Limoniastrum gynianum</i>	$40,0 \pm 5,69$	$29,6 \pm 3,50$	$8,73 \pm 1,24$	$48,1 \pm 3,20$	$31,4 \pm 3,02$	$18,3 \pm 1,62$
<i>Halocnemum strobilacum</i>	$18,8 \pm 5,11$	$30,1 \pm 3,00$	$6,92 \pm 1,20$	$48,1 \pm 2,20$	$29,1 \pm 1,50$	$10,3 \pm 0,50$
<i>Atriplex halimus</i>	$45,2 \pm 7,33$	$17,4 \pm 8,90$	$9,31 \pm 2,65$	$57,7 \pm 8,74$	$37,6 \pm 8,10$	$12,5 \pm 2,90$
<i>Traganum nudatum</i>	$38,7 \pm 8,67$	$24,6 \pm 4,50$	$9,07 \pm 2,00$	$49,1 \pm 3,20$	$28,9 \pm 0,36$	$6,59 \pm 3,00$
<i>Nitraria retusa</i>	$51,0 \pm 10,3$	$26,8 \pm 2,30$	$19,8 \pm 4,20$	$38,5 \pm 1,20$	$22,5 \pm 1,00$	$8,9 \pm 5,70$
<i>Tamarix gallica</i>	$36,5 \pm 7,22$	$16,7 \pm 2,47$	$13,8 \pm 4,60$	$45,0 \pm 1,51$	$25,1 \pm 0,90$	$14,0 \pm 1,70$
<i>Salsola tetrandra</i>	$27,1 \pm 7,33$	$27,7 \pm 3,43$	$8,81 \pm 2,11$	$43,0 \pm 4,40$	$25,1 \pm 3,75$	$6,58 \pm 1,74$
<i>Aeluropus littoralis</i>	$67,8 \pm 11,6$	$5,14 \pm 3,24$	$3,40 \pm 1,31$	$72,2 \pm 5,31$	$53,1 \pm 5,73$	$13,5 \pm 2,36$
<i>Zygophyllum album</i>	$16,9 \pm 0,83$	$27,3 \pm 4,82$	$10,3 \pm 1,20$	$33,9 \pm 5,73$	$19,7 \pm 1,10$	$4,94 \pm 2,65$
<i>Frankinia thymofolia</i>	$49,1 \pm 12,5$	$30,6 \pm 11,2$	$4,84 \pm 1,94$	$41,7 \pm 1,60$	$26,9 \pm 2,72$	$12,1 \pm 0,40$
<i>Astragalus armatus</i>	$63,8 \pm 7,61$	$9,48 \pm 1,38$	$9,39 \pm 2,58$	$64,7 \pm 5,46$	$49,4 \pm 5,46$	$13,3 \pm 3,02$
<i>Deverra tortuosa</i>	$34,9 \pm 11,1$	$9,73 \pm 1,30$	$8,01 \pm 2,30$	$61,5 \pm 4,00$	$43,4 \pm 0,70$	$11,4 \pm 2,00$

(MS: Matière sèche par rapport à la matière brute, MM: Matière minérale, MAT: Matière azotée totale (% MS), NDF: Les résidus des fibres aux détergents neutres, ADF: Les fibres insolubles dans les détergents acides; ADL: Lignine insolubles dans les détergents acides (% MS). (n = 9 pour chaque plante)

à la digestibilité et à la valeur énergétique du fourrage. Plus il y a de fibres ADF dans le fourrage, plus la digestibilité et le contenu énergétique sont faibles (Arab *et al.*, 2009).

Les valeurs des fibres ADF et NDF sont les premiers facteurs qui influent sur la digestibilité, plus leur valeur a été diminuée plus la valeur de digestibilité est grande.

Lignine insolubles dans les détergents acides (ADL)

Les teneurs en ADL sont généralement importants dans les différentes plantes récoltées. *Retama raetam* possède la valeur la plus élevée 16,9 % alors que *Zygophyllum album* possède la valeur la plus faible 4,94 %. Ozenda (1991) rapporte que les plantes sahariennes forment des cuticules épaisses pour diminuer leur vitesse d'évaporation. Denium et Driven (1975), Jarrige (1981) et Demarquilly (1982) soulignent également que l'augmentation de la température stimule la lignification des tissus de soutien.

Caractéristiques physico-chimiques du lait de chamelle et des Grains du Kéfir

Les caractéristiques physiques du lait de la chamelle et des Grains du Kéfir utilisés au cours de ce travail sont présentés dans le tableau 3.

Caractéristiques physico-chimiques du lait de chamelle

La valeur moyenne du pH du lait de chamelle (6,87) diffère à celle déterminée par Fguiri *et al.*, (2022) qui ont trouvé des valeurs de 6,29 pour le lait camelin extensif. Le lait de chamelle présente une acidité de 17,4 °D, valeur proche à celle trouvée (17,5) par Fguiri *et al.*, (2022). L'acidité s'explique par l'alimentation et la richesse des laits en vitamine C (Haddadin *et al.*, 2007). Les dromadaires dans le parcours broutent des espèces pastorales halophytes salées riches en Vit C (Merchaoui *et al.*, 2018). La viscosité du lait camelin a été de 2,56 Cp, par contre, Fguiri *et al.*, (2022) a mentionné que la viscosité du lait camelin extensif a été de 4,62 Cp. Ces variations peuvent être due à la variabilité de leurs teneurs en matière sèche totale ainsi que leurs teneurs en protéine (Jumah *et al.*, 2001). La densité du lait camelin est de 1,024. Ce résultat est similaire à celui trouvé par Sboui *et al.*, (2009) avec $d=1,027$.

Le taux de la MG du lait camelin (Tableau 3) est proche de celui trouvé par Arroum *et al.*, (2015) qui est de l'ordre de 42,9 g/l pour les chamelles élevées dans le système extensif. Fguiri *et al.*, (2022) a trouvé que le système extensif présente le lait camelin le plus gras.

Le lait camelin se caractérise par une MS importante de 114,2 g/l, elle a été proche à celle trouvée par Fguiri *et al.*, (2022) qui est 116,3 g/l. Selon Zhang *et al.*, (2005), la matière sèche dépend de la quantité d'eau abreuée par le dromadaire qui est limitée dans le parcours. Par conséquent, l'existence de plantes riches en eau est d'une importance majeure pour le dromadaire sur le parcours désertique (Ben Arfa *et al.*, 2004) en citant *Zygophyllum album*, *Launaea glomerata*, *Halocnemum strobilacum*, *Salsola tetrandra* et *Deverra tortuosa* déterminés dans cette étude (Tableau 2).

La teneur en MM du lait des chamelles élevées en système extensif est de 8,92 g/l. Sa variabilité peut être due aux divers facteurs comme la nature de l'élevage, l'alimentation et les procédés d'analyse (Mehaia *et al.* 1995). Dans cette étude la teneur en MM est liée à l'ingestion des chamelles d'espèces végétales halophytes (*Frankinia thymifolia*, *Halocnemum strobilacum*, *Limoniastrum gynianum*, *Zygophyllum album*, *Nitraria retusa* et *Straganum nudatum*) dont le contenu de la cendre peut atteindre 30% de la matière sèche (khorchani, 1995).

La teneur en protéine chez le lait camelin issu du système d'élevage extensif est de 37,8 g/l, valeur proche de 43,6 g/l trouvés par Fguiri *et al.*, (2022).

Les résultats figurant dans le tableau 3 montrent que la teneur moyenne en lactose des échantillons du lait de chamelle analysés est égale à 41,3 g/l. Cette teneur est comparable à celle retrouvée par Sboui *et al.*, (2016) pour les échantillons du lait camelin (42,8 g/l).

Caractéristiques physico-chimiques des grains de kéfir

Les grains des Kéfir ont présenté des pH acide (3,9). Garrote *et al.*, (2001). ont trouvé un pH de 3,5 et 4,0. La teneur en matières grasses des grains de kéfir est négligeable (0,02 g/kg). Ces résultats sont en accord avec ceux de Piechocka *et al.*, (1977) qui ont montré une valeur de MG allant de 0,06% et 2% du poids du grain. La teneur en protéines a été de 44,5 g/kg. La teneur en MS et MM ont été de 122,8 et 7,9 g/kg, respectivement. La biomasse du grain de kéfir contient 86,3% d'humidité naturelle et 13,7% de MS, qui comprend 4,5% de protéines, 1,2% de cendres et 0,03 % de MG (Liutkevičius *et al.*, 2004).

Tableau 3: Caractéristiques physico-chimiques du lait de chamelle et des grains du kéfir

Paramètres (n=5)	Lait de chamelle	Grain de Kéfir
pH	6,87 ± 0,11	3,9 ± 0,5
Acidité (°D)	17,4 ± 0,34	135 ± 1,12
Viscosité (cP)	2,56 ± 0,22	-
Densité	1,02 ± 0,03	-
MG (g /l)	41,7 ± 3,18	0,02 ± 0,01
MS (g /l)	114,2 ± 0,11	122,8 ± 0,02
MM (g /l)	8,92 ± 0,61	7,90 ± 0,81
MP (g /l)	37,8 ± 0,66	44,5 ± 0,10
Lactose (g/l)	41,3 ± 0,21	

MG: Matière grasse, MS: Matière sèche, MM: Matière minérale et MP: Matière protéique

Caractérisation des kéfirs camelins à différentes doses et à 18 heures d'incubation

Cette étude a démontré que la dose a eu un effet significatif sur le pH, l'acidité et la viscosité du kéfir camelin saharien à 18 heures d'incubation.

En effet, en augmentant la dose d'inoculation des grains du Kéfir, les kéfirs camelins préparés après 18 heures de fermentation montrent une évolution de l'acidité et la viscosité, par contre le pH diminue. L'acidité du Kéfir issu du lait camelin augmente de 83,1 pour une dose de 2% jusqu'à 106,2 pour une dose de 10%. Cette variabilité est expliquée par le rôle des micro-organismes des grains du Kéfir dans cette transformation. Le lait camelin a une aptitude à la transformation au kéfir conforme aux normes législatives (Codex Stan 243-2003). Une légère diminution non significative de la teneur en MG a été observée en augmentant la dose de 2 à 10%. Ainsi, une augmentation légère de la teneur en matière protéique a été observée. Cette diminution de la teneur en MG après la fermentation des laits est expliquée par la production de la lipase par les micro-organismes présents dans le kéfir et qui participent à l'hydrolyse de MG (Arslan, 2015). Satir et Guzel-Seydim

(2016) ont démontré que les conditions d'alimentation ont une influence significative sur la teneur en MG et la matière protéique du Kéfir caprin. Cette teneur a été de 5,7% chez le Kéfir caprin en mode extensif.

Après la période de fermentation, le kéfir présente une réduction de 30 % de la teneur en lactose par rapport au lait non fermenté, ce qui procure un plus grand confort aux personnes intolérantes au lactose. Cette diminution est liée aux enzymes libérées par les micro-organismes lysés qui peuvent faciliter la digestion du lactose dans l'intestin (Ahmed *et al.*, 2013).

Caractérisation des Kéfirs camelins à différentes doses et à 20 heures d'incubation

Les résultats des analyses statistiques ont montré que la dose a un effet significatif sur le pH, l'acidité et la viscosité de kéfir produit. De même, on note que plus on augmente la dose en grains de kéfir, plus le pH de kéfir devient faible, par contre l'acidité et la viscosité augmentent pour les Kéfirs incubés pendant 20 Heures.

Après la fermentation, le pH du kéfir diminue par rapport au pH initial du lait (Arroum *et al.*, 2018).

Caractérisation des Kéfirs camelins à 18 heures

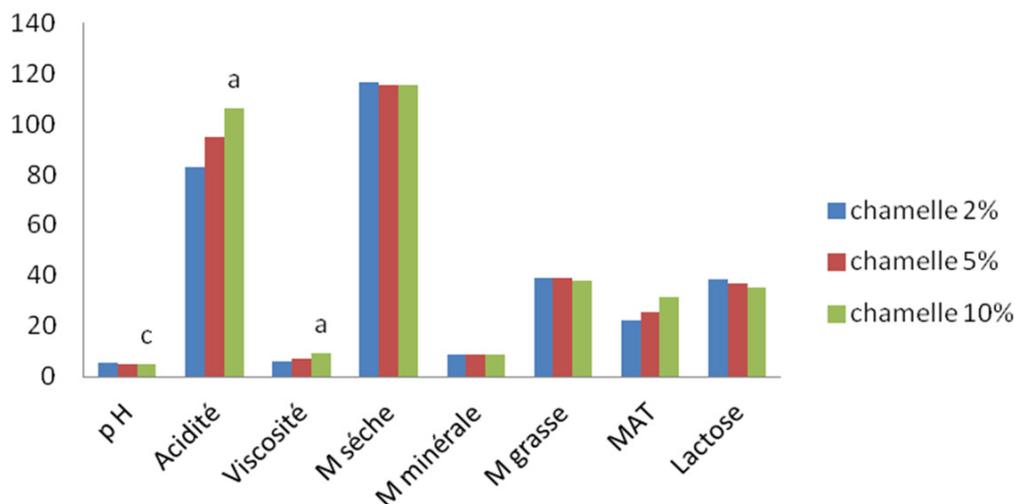


Figure 2: Caractérisation physico-chimiques des Kéfirs camelins obtenus à 18 Heures d'incubation

Caractérisation des Kéfirs camelins 20 h

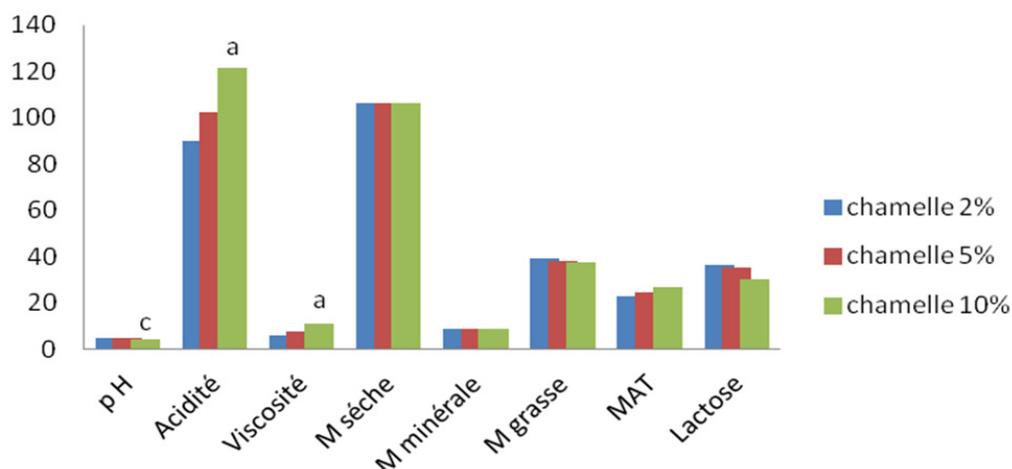


Figure 3: Caractérisation des Kéfirs camelins à différentes doses à 20 heures

(M sèche: Matière sèche, M minérale: Matière minérale, M grasse: Matière grasse; MAT: Matière azotée totale; Ces résultats sont obtenus avec une répétition n=5)

En passant d'une dose de 2% à une dose de 10%, la viscosité a augmenté d'environ 5 points, de 6,24 à 11,3. Cette augmentation affectera les caractéristiques organoleptiques des kéfirs. Pour les Kéfirs préparés après un temps d'incubation de 20 Heures, il a été enregistré qu'en augmentant la dose des grains, la teneur en MM est restée stable pour tous les types des kéfirs obtenus.

Après la période de fermentation, le kéfir présente une réduction de la teneur en lactose. Hertzler et Clancy (2003) ont montré que la consommation de kéfir pouvait améliorer la digestion et la tolérance au lactose chez les adultes en bonne santé.

Caractérisation des Kéfirs camelins à différentes doses et à 24 heures d'incubation

La dose a eu un effet significatif sur le pH, l'acidité et la viscosité de kéfir produit après 24 h d'inoculation du grains du Kéfir. Le pH du kéfir camelin après une incubation de 18 h est de 5,47. Il a diminué à 4,86 durant une incubation de 24 h. Ces résultats sont en accord avec ceux de Thoreux et Schmucker (2001) qui ont montré une diminution de valeur de pH de 6,61 à 4,42 après une incubation des grains de kéfir brésiliens pendant 24 h dans le lait entier pasteurisé. Cette diminution est due principalement à la production de certains acides organiques, l'éthanol, le CO₂ et d'autres composés volatiles (Athanasiadis *et al.*, 2004; Guzel–Seydim *et al.*, 2000). De même, plus on augmente la dose des grains, plus l'acidité augmente. Ces valeurs sont proches de 93 °D rapportés par Magalhães *et al.*, (2011). Selon Jacquet et Thevenot (1961), cette augmentation d'acidité est due essentiellement à la production d'acide lactique.

Pour la viscosité du kéfir, les résultats montrent que plus la dose est importante, plus la viscosité augmente et on obtient ainsi un produit plus visqueux.

En effet, plus que les grains de kéfir restent incubés pendant des temps longs dans le lait (24 h), plus il y a migration des bactéries hors des grains, d'où l'augmentation de la charge

microbienne de lait, ce qui provoque l'augmentation de la dégradation des protéines, des matières grasses et du lactose et la libération des acides. Étant donné les effets néfastes de la consommation du sucre sur la santé et les préoccupations particulières liées à la surconsommation de boissons sucrées qui doit être faible, par conséquent la consommation du Kéfir devient alors adaptée aux personnes souffrant d'intolérance au lactose. Il retarde la décharge gastrique et aide à la digestion du lactose (Rosa *et al.*, 2017).

CONCLUSION

En Tunisie, le parcours est un milieu fragile. Le dromadaire est adapté aux conditions écologiques désertiques, marquées par la faible valeur azotée de la ration. La composition chimiques des aliments étudiés dans ce travail montrent que les espèces sahariennes sont caractérisées par une teneur en MAT qui oscille de 4,84% à 19,8% et une richesse en composés pariétaux; la paroi totale (NDF) (33,9% à 81,1%), en cellulose brute et l'hémicellulose (ADF) (de 22,5% à 61,7%).

Ce travail est une approche pour fabriquer et caractériser le Kéfir camelin saharien. Il a permis de confirmer que le lait camelin saharien a une aptitude à la transformation au kéfir conforme aux normes législatives. Aussi, la dose des grains a un effet significatif sur le pH, l'acidité et la viscosité du Kéfir obtenu.

Donc, la consommation du kéfir pourrait être une alternative intéressante en tant que source d'éléments essentiels. En outre, il est facilement produit à la maison et avec un faible coût de production. En plus, il peut être incorporé dans l'alimentation de la population à faible revenu.

Le Kéfir est également efficace contre plusieurs désordres et problèmes de santé, ce qui nous impose de populariser cette boisson probiotique à l'échelle commerciale et le mettre à la portée pour profiter de ses bénéfices sur la santé.

Caractérisation des Kéfirs camelins 24 h

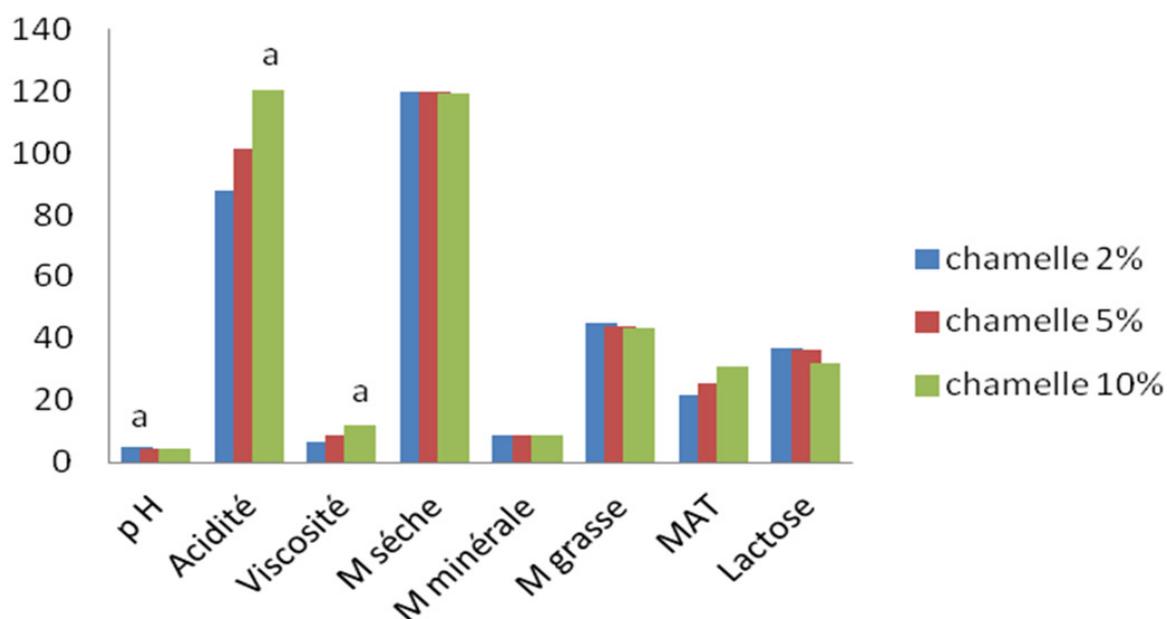


Figure 4: Caractérisation des Kéfirs camelins à différentes doses, à 24 heure

(M sèche : Matière sèche, M minérale : Matière minérale, M grasse: Matière grasse; MAT : Matière azotée totale ; Ces résultats sont obtenus avec une répétition n=5).

RÉFÉRENCES

- AFNOR (1993). Contrôlé de la qualité des produits alimentaires. Lait et produits laitiers, Afnor (Éd), Paris, France.
- Ahmed Z., Wang Y., Ahmad A., Khan S.T., Nisa M., Ahmad H., Afreen. A (2013). Kefir and health: a contemporary perspective. *Crit. Rev. Food Sci.*, 53: 422–434.
- Andrieu J., Weiss P. (1981). Prédiction de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages verts de graminées et de légumineuses. In "Prédiction de la valeur nutritive des aliments des ruminants", éd. INRA Publications, Versailles, 60-79.
- AOAC (1990). Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, 15th ed, Arlington, USA.
- Arab H., Haddi M.L., Mehennaoui S. (2009). Évaluation de la valeur nutritive par la composition chimique des principaux fourrages des zones aride et semi-aride en Algérie. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 50-58.
- Arroum S., Sboui A., Fguiri I., Ayeb N., Hammadi M., Khorchani T. (2022). Milk Kefir: Manufacture, composition and Therapeutic virtues. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 86: 5002-5013.
- Arroum S. (2018). Kéfir du lait de chamelle: Isolement des bactéries lactiques et étude de leurs activités technologiques, Master de recherche, AUF/INAT, p. 88.
- Arroum S., Zmouli K., Gaddour A., Fguiri I., Naziha A., Khorchani T. (2015). Étude comparative des caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du lait camelin en fonction du mode d'élevage, Journées Scientifiques de l'INAT. Article 4 HITS: 4648.
- Arslan S. (2015). A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir. *CyTA-Journal of Food*, 13: 340-345.
- Assoumaya C., Sauvant D., Archimède H. (2007). Étude comparative de l'ingestion et de la digestion des fourrages tropicaux et tempérés, *INRA Prod. Anim.*, 20: 383-392.
- Athanasiadis I., Paraskevopoulou A., Blekas G., Kiosseoglou V. (2004). Development of a novel whey beverage by fermentation with kefir granules. Effect of various treatments. *Biotechnology Progress*, 20: 1091–1095.
- Bastianelli D., Bonnal L., Barre P., Nabeneza S., Salgado P., Andueza D. (2015). La spectrométrie dans le proche infrarouge pour la caractérisation des ressources alimentaires, *INRA Prod. Anim.*, 31: 237-254.
- Beghedadi M., Bouzrara M. (2022). Technologie de fabrication du kéfir. Mémoire bibliographique (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Ben Arfa A., Khorchani T., Hammadi M., Chammem M., El Hatmi H., El Jeni H., Abdouli H., Cheniti T.L. (2004). Digestibilité et ingestion de la végétation d'un parcours d'halophytes par le dromadaire dans le Sud tunisien. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 62:301-305.
- Ben Rejeb M., Ayeb N., Dbara M., Daddi K., Khorchani T. (2020). Caractéristiques chimiques et nutritionnelles de quelques espèces pastorales broutées par les dromadaires dans les régions arides tunisiennes. *Fourrages*, 241: 79-85.
- Ben Rejeb M. (2021). Caractérisation et digestibilité des ressources pastorales dans le sud tunisien et estimation de l'ingestion sur parcours des espèces pastorales chez les dromadaires. Thèse de Doctorat, 128 p.
- Bouchet J.P., Gueguen L. (1981). Constituants minéraux majeurs des fourrages et des aliments concentrés. In: Prédiction de la valeur nutritive des aliments des ruminants, Ed. INRA publications, Versailles, 580.
- Boudjnah-H.S. (2012). Aptitude à la transformation du lait de chamelle en produit dérivés: effet des enzymes coagulantes extraites de caillettes de dromadaires. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques Option: Biochimie, 99 p.
- Chehma A. (2005). Étude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara septentrional algérien: Cas de la région d'Ouargla et Ghardaïa. Thèse doctorat, université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 178 p.
- Chehma A., Youcef F. (2009). Variations saisonnières des caractéristiques floristiques et de la composition chimique des parcours sahariens du sud est algérien. *Sécheresse*, 20: 373-381.
- Codex Standard for Fermented Milks Codex STAN 243-2003 (2003). Milk and milk products (2nd Edition). Revision 2008, 2010.
- Demarquilly C. (1982). Influence des facteurs climatiques sur la composition et la valeur nutritive de l'herbe. INRA, Actions du climat sur l'animal au pâturage, Séminaire de Theix, INRA, Versailles, 49-63.
- Denium B., Drivenj P.G. (1975). Climate, nitrogen and grass: Comparison of production and chemical composition of some temperate and tropical grass species grown at different temperatures. *Neth. J. agric. Sci.*, 24: 67-78.
- El Hatmi H., Khorchani T., Hammadi M., Abdennebi M., Attia H. (2000). Production et composition du lait de chamelle élevée dans le sud tunisien: Prospects for a Sustainable Dairy Sector in the Mediterranean. In "Les Filières Lait en Méditerranée: Enjeux pour un Futur Durable", 62.
- Fguiri I., Ziadi M., Atigui M., Ayeb N., Arroum S., Assadi M., Khorchani T. (2016). Isolation and characterisation of lactic acid bacteria strains from raw camel milk for potential use in the production of fermented Tunisian dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 69: 103-113.
- Fguiri I., Manel Z., Sboui A., Ayeb N., Atigui M., Arroum S., Hammadi M., Khorchani T. (2022). Microbiological quality and biochemical characteristics of lactic acid bacteria from camel milk as affected by the production system and stage of lactation. *Milk Protein: New Research Approaches*, 13.
- Garrote G.L., Abraham A.G., De Antoni G.L. (2001). Chemical and microbiological characterisation of kefir grains. *Journal of Dairy Research*, 68: 639-652.
- Genin D., Guillaume H., Ouessar M., Ouled Belgacem A., Sghaier M., Romagny B., Taâmallah H. (2006). La Jef-fara tunisienne: Entre désertification et développement. IRD, Editions, 351 p.
- Guzel-Seydim Z. B., Seydim A.C., Grenee A.K., Bodine A.B. (2000). Determination of organic acids and volatile flavor substances in kefir during fermentation. *Journal Food Composition and Analysis*, 13: 35–43.
- Hamida R.S., Shami A., Ali M.A., Almohawes Z.N., Mohammed A.E., Bin-Meferij M.M. (2021). Kefir: A protective dietary supplementation against viral infection. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 133: 110974.
- Haddadin M.S.Y., Gammoh S.I., Robinson R.K. (2007). Seasonal variation in the chemical composition of camel milk in Jordan. *Journal of Dairy Research*, 10:1-5.
- Hertzler S., Clancy S. (2003). Kefir improves lactose digestion and tolerance in adults with lactose maldigestion. *J. Am. Diet. Assoc.*, 130: 582-587.
- International Standard ISO 1443 (2010). Meat and Milk products-Determination of total fat content 5, p.1-5.
- Jacquet J., Thevenot R. (1961). Le lait et le froid. J.B. Baillière, Paris, 216-218.
- Jarrige R. (1981). Les constituants glucidiques des fourrages, Prédiction de la valeur nutritive des aliments des ruminants, éd. INRA publications, Versailles, 13-40.
- Jarrige R., Ruckebush Y., Demarquilly C. (1995). Les herbivores ruminants. In: Nutrition des ruminants domestiques ingestion et digestion, Ed. INRA publications, Versailles, 905.
- Jrad Z., El Hatmi H., Fguiri I., Arroum S., Assadi M., Khorchani T. (2013). Antibacterial activity of Lactic acid bacteria isolated from Tunisian camel milk. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 7: 1002-1008.
- Jumah R.Y., Shaker R.R., Abu-Jdayil B. (2001). Effect of milk source on the rheological properties of yogurt during the gelation process. *International Journal of Dairy Technology*, 54:89-93.
- Kesenkas H., Gürsoy O., Özbas H. (2017). Chapter 14- Kefir A2-Frias, Juana. In "Fermented Foods in Health and Disease Prevention", 339-361.
- Khorchani T. (1995). Ingestion sur parcours et pouvoir tampon dans le rumen des dromadaires (*Camelus dromedaries*). Thèse de doctorat, Univ. de Gent, Belgique, 190 p.

- Leite A.M., Miguel M.A.L., Peixoto R.S., Ruas-Madiedo P., Paschoalin V.M.F., Mayo B., Delgado S. (2015). Probiotic potential of selected lactic acid bacteria strains isolated from Brazilian kefir grains. *Journal of dairy science*, 98: 3622-3632.
- Longo-Hammouda F.H., Siboukheur O.E., Chehema A. (2007). Aspects nutritionnels des pâturages les plus appréciés par *Camelus dromedarius* en Algérie. *Cahiers Agricultures*, 16:477-483.
- Liutkevicius A., Sarkinas A. (2004). Studies on the growth conditions and composition of kefir grains as a food and forage biomass. *Veterinarija ir Zootechnika*, 25: 64–70.
- Magalhães K.T., Pereira, Gilberto V de M, Campos C R D G, Schwan R F (2011). Brazilian kefir: structure, microbial communities and chemical composition. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42, 693-702.
- Bradford M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72: 248-254.
- Mehaia M.A., Hablas M.A., Abdel-Rahim K.M., Mougy S.A. (1995). Milk composition, Wada and Hamra camels in Saudi Arabia. *Food Chemistry*, 52:115-122.
- Merchaoui H., Hanana M., Ksouri R. (2018). Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Cakile maritima* Scop.
- Otles S., Cagindi O. (2003). Kefir: A Probiotic Dairy-Composition, Nutritional and Therapeutic Aspects. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2: 54-59.
- Ozenda P. (1991). Flore du Sahara (3^{ème} Edition) Ed. CNRS, Paris.
- Piechocka M., Holmen T.B., Abrahamsen R.K (1977). Varnebehandling, homogenisering og incubering af maelk med forskellige fedtprocenter til fremstilling af kefir.-Waermebehandlung, Homogenisierung und Bebruetung von Milch mit verschiedenem Fettgehalt fuer die Kefirherstellung. *Nordeuropaeisk Mejeritidsskrift*.
- Ramet J.P. (2004). Aptitude à la conservation et à la transformation fromagère du lait de chamelle. Lait de chamelle pour l' Afrique, 93.
- Sharma R., Rajput Y.S., Dogra G., Tomar S.K. (2009). Estimation of sugars in milk by HPLC and its application in detection of adulteration of milk with soymilk. *International Journal of Dairy Technology*, 62: 514-519.
- Rosa D.D., Dias M.M., Grzeškowiak Ł.M., Reis S.A., Conceição L.L., Maria do Carmo G.P. (2017). Milk kefir: nutritional, microbiological and health benefits. *Nutrition research reviews*, 30: 82-96.
- Satir G., Guzel-Seydim Z.B. (2016). How kefir fermentation can affect product composition?. *Small Ruminant Research*, 134: 1-7.
- Sboui A., Khorchani T., Djegham M., Belhadj O. (2009). Comparaison de la composition physicochimique du lait camelin et bovin du sud tunisien ; variation du pH et de l'acidité a différentes températures. *Afrique Science*, 5: 293-304.
- Sboui A., Djegham M., Belhadj O., Khorchani T. (2016). Le lait de chamelle: qualités nutritives et effet sur les variations de la glycémie. *Options Méditerranéennes*, A, 115: 487-492.
- Thoreux K., Douglas L.S. (2001). Kefir milk enhances intestinal immunity in young but not old rats. *The Journal of Nutrition*, 131: 807–812.
- Wangoh J., Farah Z., Puhan Z., (1998). Composition of milk from three camel (*Camelus dromedarius*) breeds in Kenya during lactation. *Milchwissenschaft*, 53: 136-139.
- Zhang H., Yao J., Zhao D., Liu H., Li J., Guo M. (2005). Changes in chemical composition of Alaxa Bacteria camel milk during lactation. *Journal of Dairy Science*, 88: 3402-3410.
- Zourari A., Anifantakis E.M. (1988). Le kéfir – physico-chimique, microbiologique et nutritionnel. Technologie de production. *Lait* 68: 373-392.

Analyse fréquentielle du développement des ravins dans le semi-aride tunisien

Khaoula KHEMIRI¹, Sihem JEBARI²

(Reçu le 07/05/2023; Accepté le 21/07/2023)

Résumé

L'érosion ravinante constitue un risque important dans les pays méditerranéens, notamment au centre de la Tunisie en raison des conditions climatiques et des activités humaines. La présente étude a pour objectif de prédire le processus de ravinement dans le bassin versant Merguellil, un bassin représentatif du semi-aride tunisien. La méthode employée pour calculer la probabilité d'apparition des ravins repose sur l'utilisation d'un environnement SIG. Elle se base sur la méthode de rapport des fréquences (RF), en utilisant les séparateurs à vaste marge (SVM) pour extraire les ravins de l'image multispectrale Sentinel, ainsi que 16 des facteurs responsables de l'érosion ravinante. Les résultats montrent que plus de 20 % de la superficie totale du bassin est vulnérable, pouvant augmenter le réseau actuel de ravins de plus de 155 km. La probabilité d'occurrence de ravins augmente en fonction de la pente topographique, en particulier en présence de roches avec une texture de sol peu évoluée. Plus encore, l'utilisation des terres agricoles peut également influencer la formation de ravins, notamment pour les zones cultivées et les parcours. L'étude montre que la cartographie de la sensibilité à la formation des ravins peut être automatisée en combinant l'inventaire des ravins et le rapport des fréquences, ce qui permet de produire des cartes utiles pour la gestion et la conservation des terres.

Mots clés: Télédétection, érosion ravinane, probabilité d'occurrence, semi-aride tunisien, analyse fréquentielle, facteurs contributifs

Frequency analysis of gully development in the Tunisian semi-arid

Abstract

Gully erosion represents an important risk in Mediterranean countries, especially in central Tunisia due to climatic conditions and human activities. The objective of the present study is to predict the gully erosion process in the Merguellil watershed, a representative of the Tunisian semi-arid area. The method employed to calculate the probability of gully occurrence is based on the use of a GIS environment and the frequency ratio (FR) method, using Support Vector Machine (SVM) to extract gullies from the Sentinel multispectral image, as well as 16 factors involved in gully erosion. Results show that more than 20% of the total basin area is vulnerable, that could increase the current gully network by more than 155 km. The likelihood of gully occurrence increases with topographic slope, Especially in the presence of rocks with a underdeveloped soil texture. Furthermore, agricultural land use can also influence gully formation, especially in cultivated and rangeland areas. The study showed that gully susceptibility mapping can be automated by combining the gully inventory and the frequency ratio, thus producing useful maps for land management and conservation.

Keywords: Remote sensing, gully erosion, probability of occurrence, Tunisian semi-arid area, frequency analysis

INTRODUCTION

L'érosion ravinante est considérée comme l'un des processus les plus préjudiciables à l'échelle du bassin versant méditerranéen (Arabameri et Pourghasemi, 2019). Diverses recherches ont démontré que cette forme d'érosion est particulièrement active dans les zones arides et semi-arides en raison de précipitations intenses qui entraînent des ruissellements concentrés. Ces ruissellements ont tendance à réduire la couverture végétale et à appauvrir le sol de sa matière organique (Kumar *et al.*, 2016).

Les ravins sont des formations naturelles en forme de canaux, caractérisées par des dépressions et des incisions profondes. Ils se forment lorsque l'écoulement de l'eau de pluie s'accumule dans des rainures et creuse progressivement le sol, créant ainsi une structure en forme de V avec des côtés abrupts et bien définis (Dube *et al.*, 2020). Ils sont généralement observés le long des voies de drainage où les pentes sont moins prononcées. Leur profondeur peut varier de 30 centimètres à 30 mètres (Imeson et Kwaad, 1980). On peut distinguer deux types de ravins: les ravins continus, qui présentent plusieurs branches reliées entre elles, et les ravins discrets, qui sont indépendants et ne sont pas reliés au cours d'eau principal. L'érosion ravinante est l'une des formes d'érosion les plus destructrices, car elle a des conséquences importantes sur les terres agricoles et les infrastructures

hydrauliques. Elle peut entraîner une diminution de la productivité des sols et accroître le risque d'envasement des réservoirs et des oueds (Shahabi *et al.*, 2019).

La problématique de l'érosion ravinante a suscité un grand intérêt dans les régions méditerranéennes. De nombreux chercheurs se sont penchés sur les causes et les mécanismes déclencheurs de ce phénomène, ainsi que sur les conséquences négatives qu'il entraîne (Poesen *et al.*, 2003; El Maaoui *et al.*, 2012; Desprats *et al.*, 2013; Ben Slimane *et al.*, 2018). Les caractéristiques telles que la taille, la forme et la répartition spatiale des ravins peuvent fournir des informations importantes pour évaluer le taux d'érosion ravinante et prédire sa progression. Par conséquent, l'élaboration d'une méthodologie spécifique pour cartographier les ravins et évaluer leurs vulnérabilités potentielles devient essentielle (Azedou *et al.*, 2021). La mise en place d'une telle approche pourrait s'avérer bénéfique pour prévenir les effets néfastes de la dégradation du sol, et permettre aux gestionnaires des terres de développer des stratégies de conservation des eaux et des sols mieux adaptées.

Au cours des dernières années, plusieurs études ont proposé des méthodes cartographiques plus efficaces, notamment l'analyse automatique des images basée sur l'information spectrale des pixels. Cette méthode utilise des techniques de classification d'imagerie satellitaire telles que l'ISODATA,

¹ École Nationale d'Ingénieurs de Tunisie, Tunisie

² Institut National de la Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts, Tunis, Tunisie

le maximum de vraisemblance (MLC), les séparateurs à vaste marge (SVM) et la distance minimale (MD) pour détecter les similitudes spectrales et cartographier les ravins (Valentin *et al.*, 2005; Taruvinga, 2009; Bouaziz *et al.*, 2011; Desprats *et al.*, 2013; Karami *et al.*, 2015; Pourghasemi *et al.*, 2017). En outre, certains chercheurs se sont intéressés à l'analyse de la sensibilité de l'érosion ravinante en utilisant des méthodes statistiques bivariées et multivariées (Mararakanye et Sumner, 2017; Meliho *et al.*, 2018; Arabameri *et al.*, 2019; Saha *et al.*, 2020). De ce fait, l'approche statistique bivariée est largement utilisée. Elle repose sur des mesures telles que le rapport de fréquences (RF) pour évaluer l'importance des différents facteurs contribuant à l'érosion ravinante. Ainsi, elle permet de comparer leur impact (Pardeshi *et al.*, 2013; Mararakanye et Sumner, 2017).

En général, les études sur les ravins ont tendance à se concentrer sur la détection ou la cartographie de la susceptibilité, sans considérer les liens entre ces deux étapes.

Notre objectif principal dans cette étude est de produire une carte de susceptibilité à l'érosion ravinante et à identifier les facteurs clés de son développement dans le contexte semi-aride tunisien. Finalement, nous proposons des méthodes qui pourraient être utiles pour la prévision et l'évaluation de l'érosion ravinante à l'échelle régionale, en particulier dans les régions méditerranéennes.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Présentation du site de l'étude

Le bassin versant Merguellil est situé au centre de la Tunisie. Il couvre une superficie de 1183 km². Le barrage El Haouarreb représente son exutoire naturel avec une capacité maximale égale à 95 Mm³ (Figure 1). Ce barrage a été construit en 1989 et retient toutes les eaux de l'oued Merguellil (MARHP, 1989). La forme du bassin versant est presque triangulaire, la base étant en aval. Le cours principal draine la majeure partie du bassin. L'altitude varie entre 200 et 1200 m avec une moyenne de 500 m.

Le bassin versant Merguellil est situé dans une zone semi-aride. Comme tous les milieux méditerranéens et semi-arides, le bassin est caractérisé par une très grande variabilité spatio-temporelle des précipitations (Khemiri *et al.*, 2021). Les pluies annuelles sont faibles, avec une hauteur moyenne de 206 mm dans la plaine et de 450 mm à l'amont (Figure 2,a). Elles sont caractérisées par des événements intenses, notamment au printemps et en automne, entraînant la crue des oueds (INM, 2018). Les débits intermittents de l'Oued Merguellil alimentent le barrage d'El Haouarreb, qui lui-même alimente l'aquifère de la plaine de Kairouan en aval. Cet aquifère est fortement exploité pour l'agriculture irriguée et l'alimentation en eau potable. La température moyenne est de 19,2°C (10,7°C en

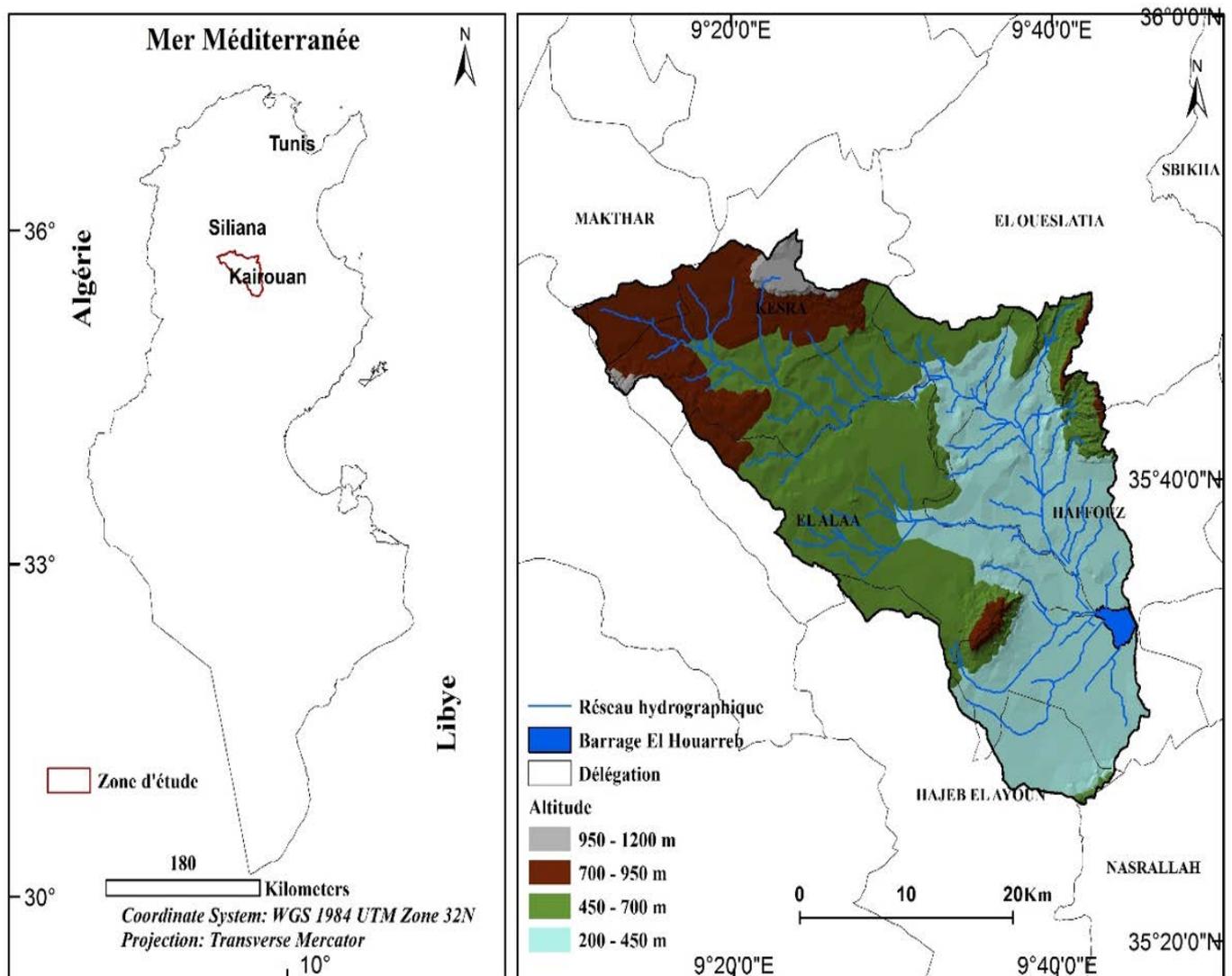


Figure 1: Localisation du bassin versant Merguellil, cadre géographique et topographique

janvier et 28,6°C en août) tandis que l'évapotranspiration potentielle atteint 1600 mm / an (INM, 2018).

La texture des sols de ce bassin versant a permis une classification en quatre entités pédologiques principales (Figure 2,b). Il existe en effet une alternance de formations calcaires/marneuses donnant des sols limono-argileux avec des argiles actives conditionnant les processus actifs de dégradation des sols. La géologie du bassin versant Merguellil est complexe (Figure 2,c). Elle est principalement composée de formations sédimentaires calcaires, marno-calcaires et marneuses du crétacé et de l'éocène.

Au niveau du bassin versant Merguellil, il existe plusieurs classes de couvertures végétales (Figure 2,d). En effet, nous retrouvons principalement, les forêts, les cultures annuelles, les parcours et l'arboriculture. La conservation des eaux et des sols consiste en banquettes, cordons en pierres sèches et 44 lacs et retenues collinaires. Ces techniques occupent 22% de la superficie du bassin versant (MARHP, 2017).

Le barrage El Houarreb a fait l'objet de cinq campagnes de mesures durant les années: 1994, 1997, 2002, 2006 et 2011. Les observations obtenues ont permis de relever un volume total de vase de l'ordre de 15,9 Mm³, correspondant à un taux moyen annuel de pertes en sol de 15,6 t ha⁻¹ an⁻¹ (DG/BGTH, 2011). Ce taux moyen de perte en sol est supérieur au seuil tolérable déterminé dans la zone semi-aride tunisienne par Masson (1972). En effet, les seuils mentionnés sont de 2,5; 5 et 10 t / ha/an. Ceci implique que le bassin versant Merguellil présente une zone vulnérable avec une dégradation du paysage agricole.

Données utilisées

Les données des pluies annuelles sont issues des observations effectuées dans la station Haffouz. Elles sont obtenues auprès des annuaires pluviométriques de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE, 2016).

Pour l'inventaire des ravins, nous avons sélectionné des images de Google Earth en ligne et des données satellites multispectrales Sentinel 2A. Google Earth comprend un référentiel de séries chronologiques d'images satellitaires archivées à très haute résolution (généralement environ 0,5 m, telles que WorldView, Pleiades, GeoEye, etc.) en mode visible (RVB), disponible en ligne (<https://www.google.com/intl/fr/earth/> date d'accès: 05/10/2020). Les données spatiales Landsat 8 OLI-TIRS (Operational Land Imager- Thermal Infrared Sensor) sont prises le 21/07/2016 selon une résolution spatiale de 30 m. L'image Landsat est téléchargée gratuitement via le site du USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/> date d'accès: 03/03/2020). L'imagerie géospatiale est prise pendant le mois de juillet. Cela coïncide avec le début de la saison sèche. Par conséquent, il nous a permis de mieux appréhender les ravins permanents (Latham *et al.*, 2014).

Le modèle numérique de terrain (MNT) est dérivé de la mission SRTM Shuttle Radar Topography Mission data (SRTM), de 1-arc-second for global coverage (~30 meters) et téléchargé via le site du USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/> date d'accès: 30/11/2019) (Figure 1).

La modélisation de l'érosion ravinante nécessite une base de données spatiale. Dans cette étude, nous avons identifié

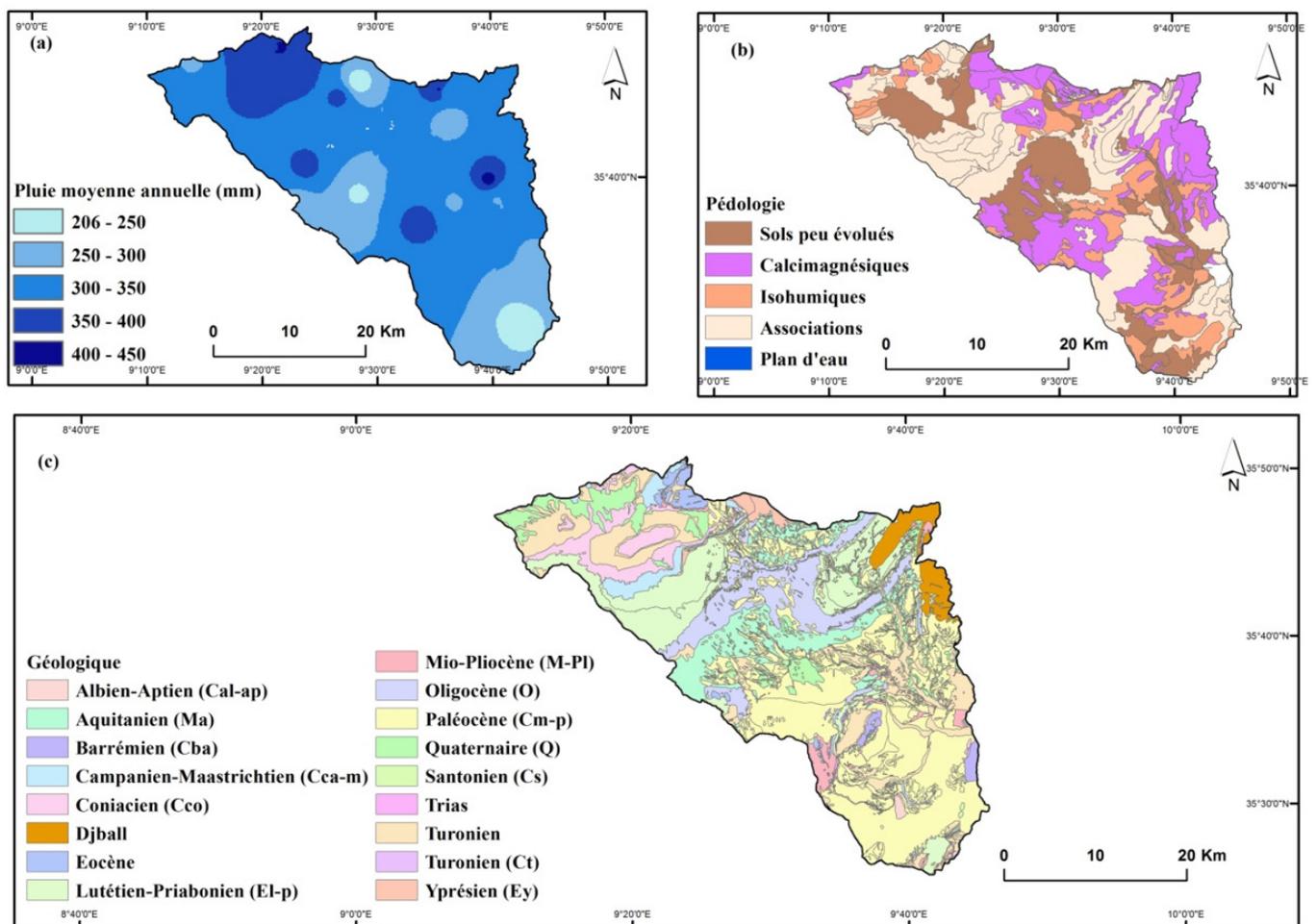


Figure 2: Différentes cartes illustratives du bassin versant Merguellil (a) carte des pluies moyennes annuelles; (b) carte pédologique; (c) carte géologique

15 facteurs influençant le développement des ravins en se basant sur des études spécifiques (Arabameri *et al.*, 2019). La figure 3 présente la méthodologie suivie pour étudier la susceptibilité de l'érosion ravinante dans le bassin versant Merguellil. Les facteurs contribuant à l'érosion ravinante considérés, sont répartis sur cinq catégories, à savoir, la topographie, l'hydrologie, la pédologie, la géologie et l'environnement (Figure 3).

Facteurs topographiques (Figure 3 et Figure 4):

- L'altitude affecte la végétation et les précipitations. Elle contrôle la répartition de l'érosion ravinante (Hosseinalizadeh *et al.*, 2019).
- La pente est un facteur important, elle améliore ou atténue l'énergie des processus érosifs et par conséquent l'érosion ravinante (Arabameri *et al.*, 2019).
- L'indice d'aspect du terrain représente la direction de la pente. Il est exprimé en degrés. La direction commence par le nord et dans le sens horaire, variant de 0° à 360°. L'aspect peut indirectement influencer les processus d'érosion ravinante. Il contrôle l'exposition à plusieurs conditions climatiques (intensité des précipitations, la durée d'exposition à la lumière, etc.) et la couverture végétale. La carte d'aspect est classifiée en cinq classes où les régions plates sont considérées comme négligeable (Dai *et al.*, 2001).
- La courbe de profil provoque la convergence ou la divergence du ruissellement sur les pentes et sur le flux descendant (Hosseinalizadeh *et al.*, 2019).
- L'indice d'humidité topographique (TWI) est crucial

pour identifier les zones vulnérables au développement des ravins (Hosseinalizadeh *et al.*, 2019).

- L'indice topographique LS mesure la combinaison de la longueur de la pente (L) et de l'inclinaison de la pente (S). La longueur de la pente mesure la distance entre la limite supérieure de la parcelle de terrain et le point où l'eau de ruissellement commence à se concentrer au niveau d'un élément du réseau hydrographique. C'est un facteur qui agit directement sur les pertes en sol en fonction de la géologie, de la nature des sols et de la protection par la couverture végétale. Les fortes pentes avec un écoulement rapide sont en général à l'origine d'une érosion importante. Le facteur LS est calculé pour chaque parcelle à partir du modèle numérique de terrain avec le logiciel System for Automated Geoscientific Analyses.
- L'indice de la position topographique (SPI) est dérivé de la pente et de la région contributive à l'accumulation de flux d'eau. Cet indice fournit une corrélation entre les voies d'écoulement de l'eau, les accumulations et les pentes qui définissent l'ensemble du potentiel énergétique de l'eau superficiel pour l'érosion ravinante (Meliho *et al.*, 2018).
- Le facteur de la courbe planiforme (PC) indique la convexité et la concavité des pentes. Il compare la hauteur de chaque pixel du MNT à la hauteur moyenne des pixels qui l'entourent (Althuwaynee *et al.*, 2014). Le facteur PC permet de classer la morphologie du terrain. Les valeurs négatives dénotent d'une courbure convexe, tandis que les valeurs positives sont pour une courbure concave (Alhaskeer *et al.*, 2014).

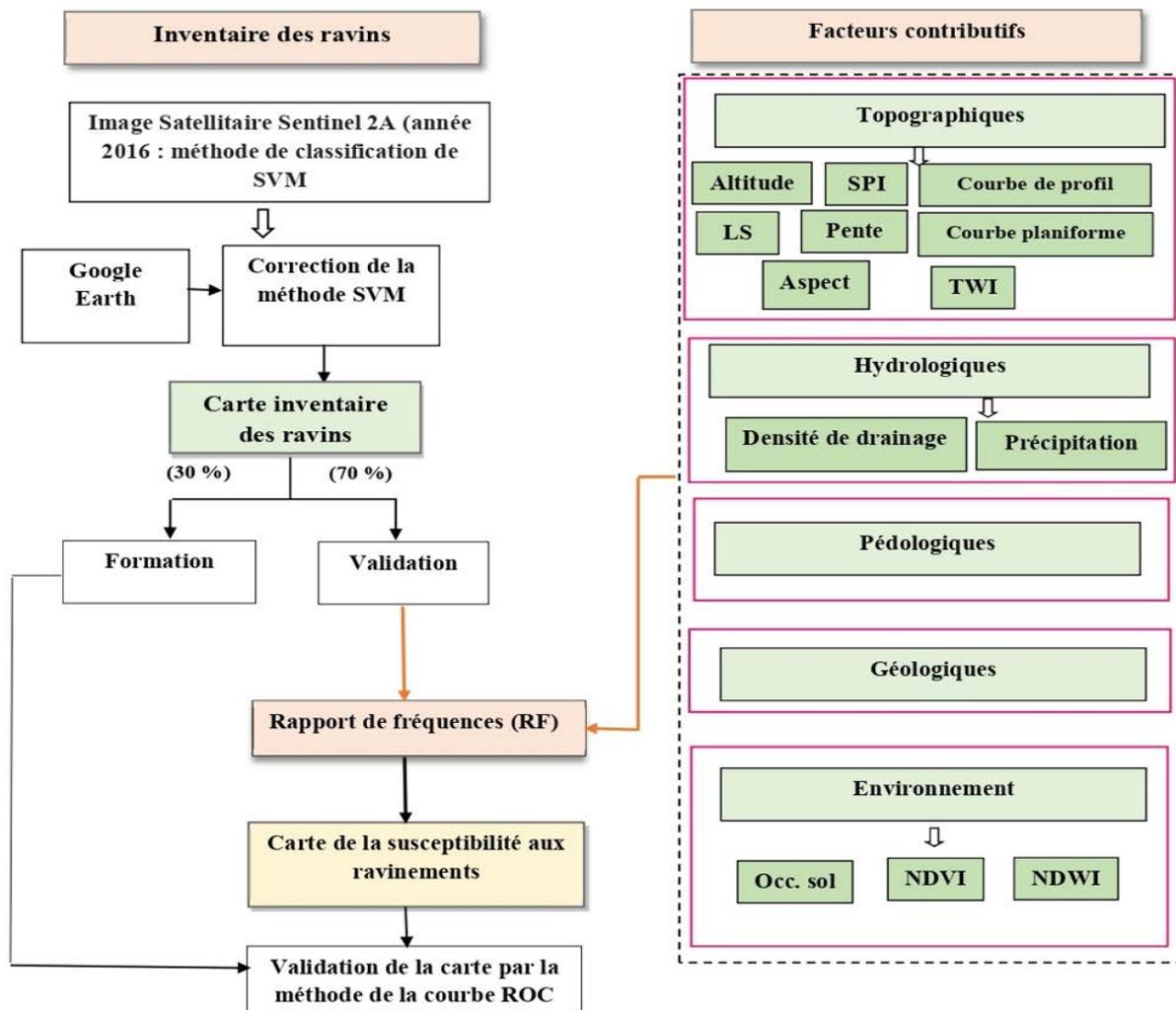


Figure 3: Caractéristiques et outils d'inventaire adoptés pour le développement des ravins

Les facteurs TWI, SPI et PC sont calculés par les équations suivantes:

$$TWI = \ln(A_s / \tan\beta) \quad (1)$$

$$SPI = A_s \times \tan\beta \quad (2)$$

$$PC = \sqrt{|\bar{X}|}(\max^2 - \min^2) \quad (3)$$

Avec A_s est la superficie spécifique du bassin (m);

β est l'inclinaison de la pente (degré);

X l'élévation de chaque cellule voisine à une cellule spécifique (0,0) (m);

max et min sont les altitudes les plus grandes et les plus petites parmi les neuf pixels voisins.

Facteurs hydrologiques (Figure 3 et Figure 2)

• La carte des précipitations moyennes est préparée par la méthode de krigeage (Figure 2,a). Le choix de cette méthode se base sur son aptitude à minimiser la variance d'erreurs (Arabameri *et al.*, 2019).

• Les ravines sont souvent liées au réseau de drainage où ils facilitent le transport des matériaux érodés. La densité de drainage (DD) (Figure 5, d) la plus élevée génère plus d'apports de ruissellement superficiel. La couche de la densité de drainage est extraite moyennant le réseau hydrographique.

Facteurs pédologiques (Figure 2,b)

Facteurs géologiques (Figure 2,c)

• La géologie du terrain est un facteur capital dans la formation des ravins en raison de ses impacts directs sur la fertilité du sol et l'écoulement surfacique (Casali *et al.*, 2003).

Facteurs environnementaux (Figure 3 et Figure 5)

• L'occupation des sols a, un impact sur la stabilité des pentes et la formation des ravins. Les sols nus sont très sensibles à l'érosion hydrique. Néanmoins, la végétation protège le sol de nombreux types d'érosion. Par conséquent, elle peut diminuer la vulnérabilité de la zone.

• L'indice de végétation normalisé (NDVI) permet d'évaluer l'importance de la biomasse et l'activité chlorophyllienne (Rouse *et al.*, 1973). La figure 5, b illustre la répartition spatiale de l'indice NDVI dans le bassin versant Merguellil.

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R} \quad (4)$$

Avec PIR la bande spectrale infrarouge et R la bande spectrale rouge.

• L'indice de teneur en eau normalisé (NDWI) est basé sur le proche infrarouge et le moyen infrarouge (Gao 1996). Il est très sensible aux changements dans la teneur en eau liquide de la végétation (Figure 5, c). En effet, il varie en fonction de la teneur en eau des feuilles. Il est par conséquent très utile pour le suivi de la végétation en zone sèche. Les ravins provoquent une augmentation de la rétention d'eau et, par conséquent, des quantités d'eau pour les plantes. Ainsi, nous retrouvons un NDWI plus élevé dans les ravins les plus profonds (Helman et Mussery, 2020).

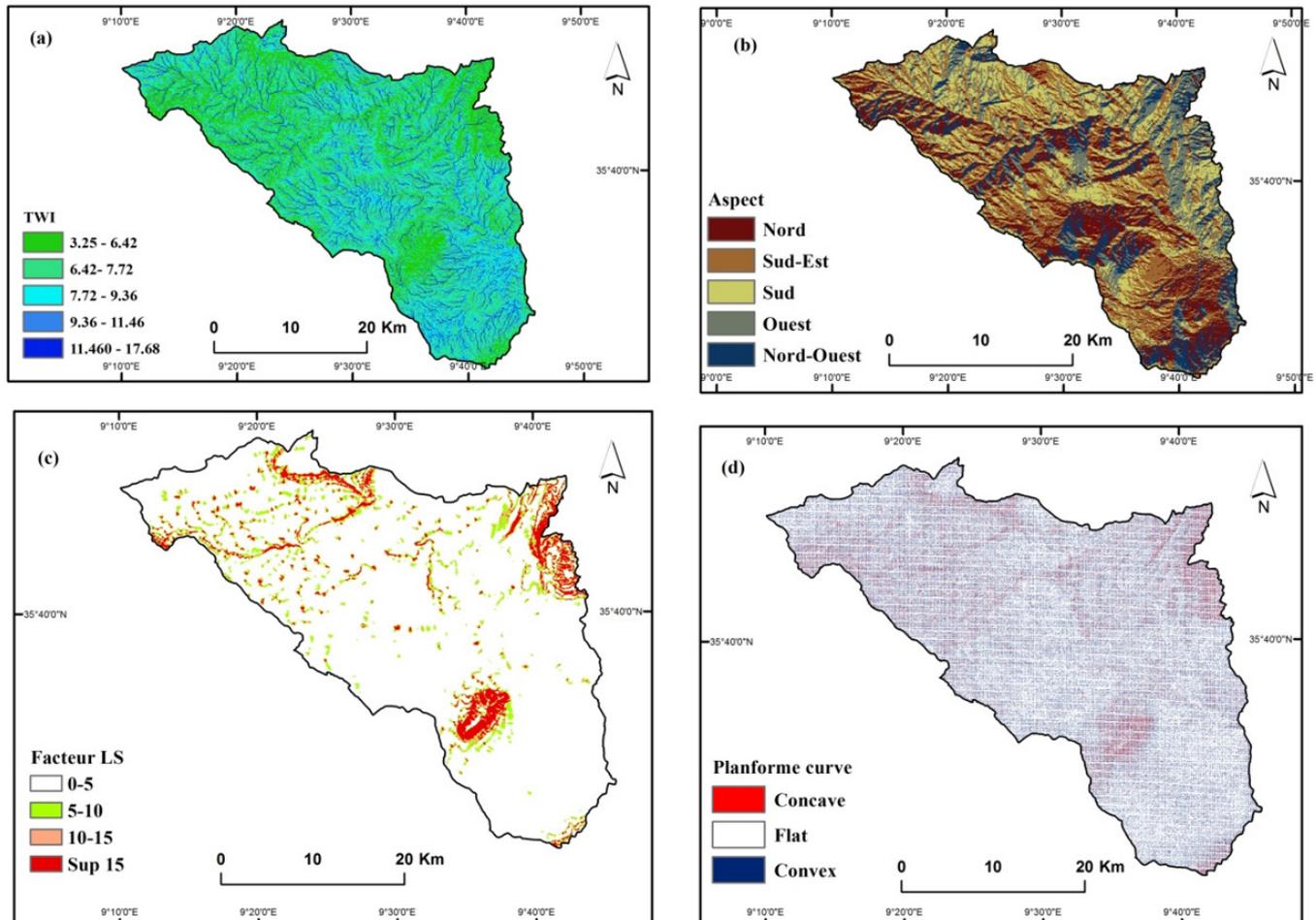


Figure 4: Exemple des facteurs topographiques: (a) Carte de l'indice d'humidité topographique (TWI); (b) Carte de l'indice d'aspect du terrain; (c) Carte de l'indice topographique LS et (d) Carte de la courbe planiforme

$$NDWI = \frac{PIR - MIR}{PIR + MIR} \quad (5)$$

Avec: PIR est la bande spectrale infrarouge; MIR est la bande spectrale du moyen infrarouge.

L'indice NDWI pour le bassin versant Merguellil est représenté dans la figure 5, c.

Cartographie automatique des ravins

L'inventaire automatique des ravins dans cette étude s'est basé sur les pixels supervisés avec le séparateur à vaste marge (Support Vector Machine, SVM) dont son algorithme est intégré dans l'outil OTB (Orfeo ToolBox) du QGIS.

La classification des ravins est effectuée pour chaque date d'acquisition (2016) en utilisant les données de référence. Ces données se présentent sous forme de polygones pour le traitement et la validation de l'image satellitaire Sentinel 2A.

Le nombre total de points de référence collectés est 20549 pixels, dont 15807 pixels sont utilisés pour la classification et 4742 pixels sont utilisés pour la validation. Ces pixels représentent environ 77 % des pixels de toute la zone d'étude.

Les résultats de la classification sont évalués par le logiciel QGIS pour vérifier la concordance entre la classification supervisée et la réalité du terrain prise à l'aide de points de références sélectionnés au hasard (Gedefaw *et al.*, 2020).

Dans cette étude, nous avons calculé les mesures de précision telles que: les précisions totales, les coefficients kappa, les précisions de l'utilisateur et du producteur. Par conséquent, une matrice d'erreur de la classification d'occupation des sols est générée.

Le coefficient kappa représente la concordance entre les ravins classifiés et les points de référence. Ce coefficient est exprimé par l'équation 6.

$$Kappa = \frac{P(0) - P(E)}{1 - P(E)} \quad (6)$$

Avec P(0) est l'accord observé et P(E) représente l'accord attendu.

La carte d'inventaire des ravins pour l'image satellitaire Landsat 8, est élaborée moyennant la méthode de la classification automatique SVM (Figure 6).

Les résultats montrent que les petits et les grands ravins occupent 6,67 % de la superficie totale du bassin versant Merguellil (Figure 6).

L'évaluation de la classification des ravins dans le bassin versant de Merguellil, s'est faite par le calcul des matrices d'erreurs à partir des ravins numérisés manuellement via Google Earth. Les zones de validation peuvent se caractériser par trois niveaux de ravins différents à savoir: fort, moyen et faible. Les ravins numérisés manuellement sont au nombre de 998 (Figure 6). L'évaluation de la classification des ravins est illustrée dans le tableau 1.

La précision globale de la classification des surfaces caractérisées par le développement des ravins, dépasse 90%. Par conséquent, la classification supervisée des ravins dans le bassin versant Merguellil satisfait les exigences de précision de la méthode SVM.

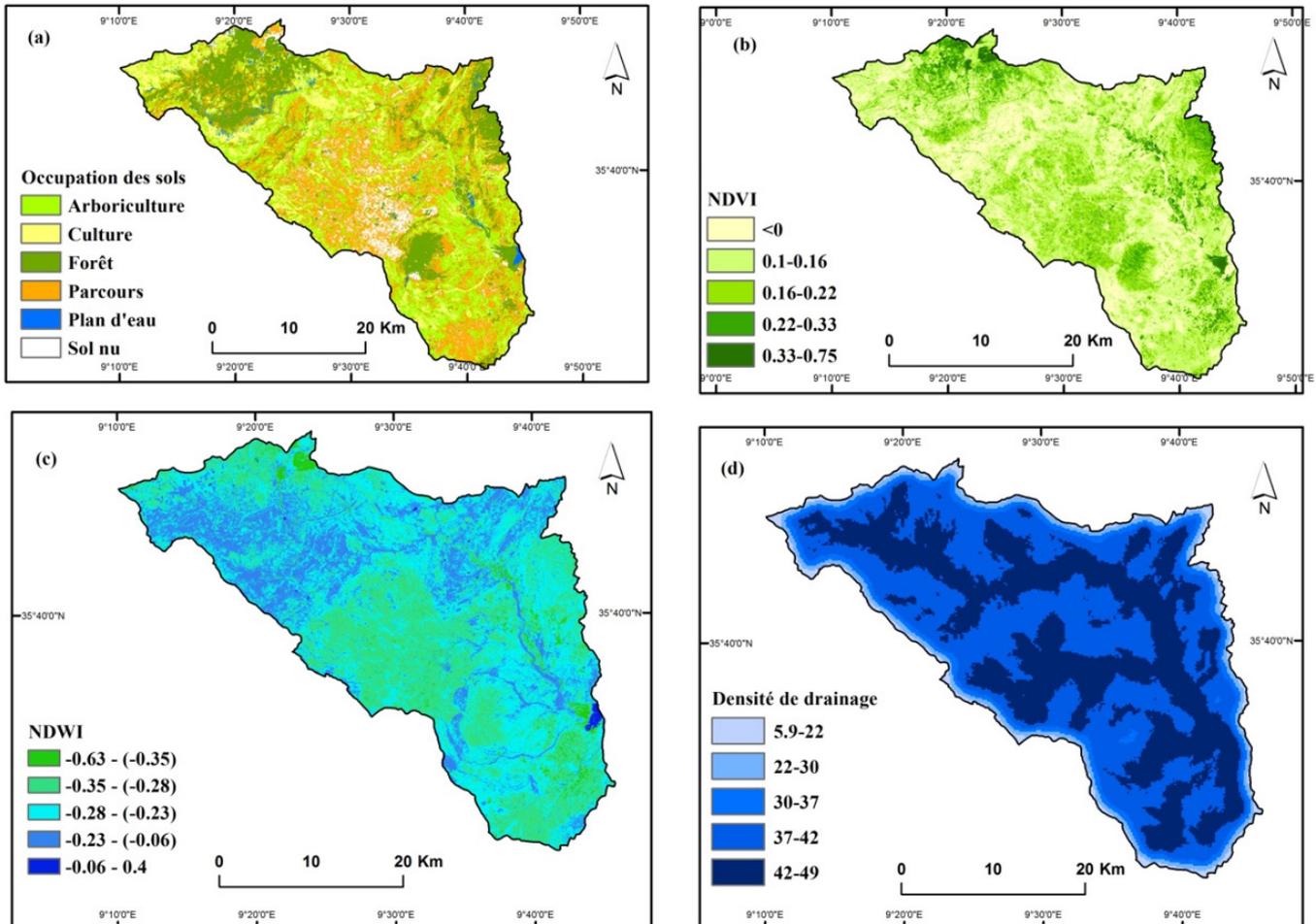


Figure 5: Exemple des facteurs hydrologiques et environnementaux: (a) Carte d'occupation des sols; (b) Carte de l'indice NDVI; (c) Carte de l'indice NDWI et (d) et Carte de la densité de drainage

Analyse fréquentielle de l'érosion ravinante

L'analyse fréquentielle de l'érosion ravinante dans le bassin versant Merguellil, est effectuée moyennant l'approche statistique bivarié via le rapport de fréquence (RF).

La méthode RF calcule la densité des ravins dans chaque classe des facteurs contributifs (Lee et Talib 2005).

$$RF = \frac{N_{\text{pix}(1)} / N_{\text{pix}(2)}}{\sum N_{\text{pix}(3)} / \sum N_{\text{pix}(4)}} \quad (7)$$

Avec $N_{\text{pix}(1)}$ égal au nombre de pixels contenant les ravins dans une classe; $N_{\text{pix}(2)}$ égale au nombre total de pixels pour chaque classe dans toute la zone; $\sum N_{\text{pix}(3)}$ égale au nombre total de pixels contenant les ravins; $\sum N_{\text{pix}(4)}$ égale au nombre total de pixels dans la zone d'étude.

Le ratio de la probabilité d'occurrence d'un ravin (PR) est calculé pour chaque classe des facteurs contributifs. Ce calcul s'est effectué par la combinaison entre la carte d'inventaire des ravins et les cartes des facteurs RF (Pradhan et Lee 2010).

$$PR = (SA_{\text{max}} - SA_{\text{min}}) / \min(SA_{\text{max}} - SA_{\text{min}}) \quad (8)$$

Avec SA est l'indice de l'association spatiale (RF) des facteurs spatiaux et des ravins.

La probabilité d'occurrence d'un ravin est considérée: Très élevée si $PR > 0,8$; Élevée si $0,6 \leq PR < 0,8$; Modérée si $0,4 \leq PR < 0,6$; Faible si $PR < 0,4$.

La méthode de validation de l'aire sous la courbe caractéristique de fonctionnement du récepteur (AUC) est sélectionnée pour la validation des performances de la carte de successibilité dérivée du modèle FR. La méthode AUC est largement utilisée pour évaluer le pouvoir prédictif des modèles et la qualité d'une classification. Certains auteurs ont tenté d'interpréter les valeurs de la méthode AUC. En effet, si $AUC > 90\%$, ceci indique une prédiction parfaite du modèle; $80\% < AUC \leq 90\%$ indique une bonne prédiction; $70\% < AUC \leq 80\%$ indique une prédiction modérée; $60\% < AUC \leq 70\%$ indique une mauvaise prédiction et $AUC \leq 60\%$ indique une invalidité (Azedou *et al.*, 2021).

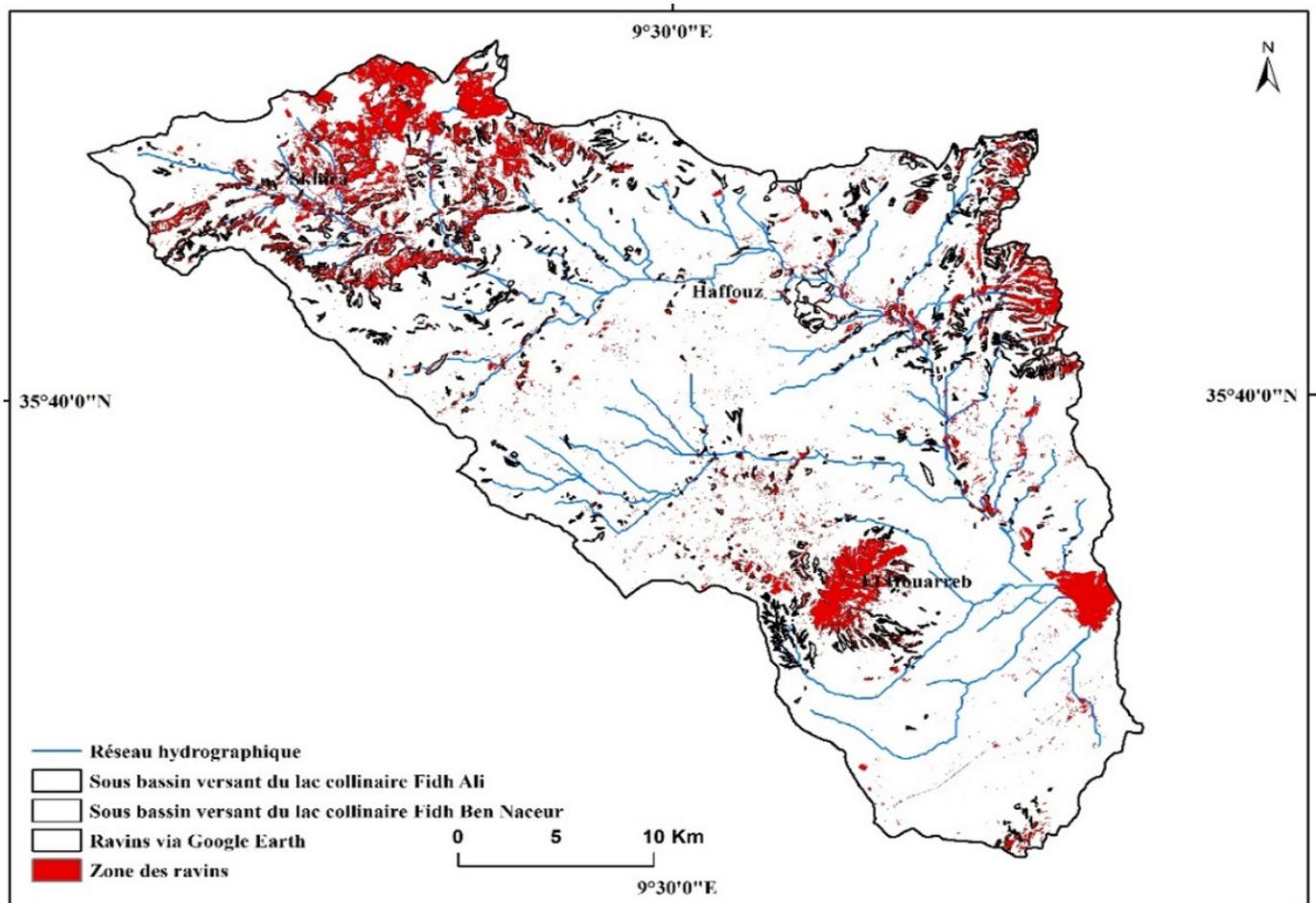


Figure 6: Inventaire automatique des ravins pour le bassin versant Merguellil

Tableau 1: Évaluation de la précision et la classification des surfaces caractérisées par le développement des ravins au sein du bassin versant Merguellil

Surface des ravins	Précisions de l'utilisateur	Précisions du producteur
Ravins existants (%)	89,7	91,0
Pas de ravins (%)	90,9	89,0
Précision globale (%)	91,3	
Coefficient Kappa	0,81	

RÉSULTATS

Cartographie de la susceptibilité des zones potentielles au développement des ravins

La répartition spatiale des zones susceptibles au développement des ravins dans le bassin versant Merguellil est présentée dans la figure 7.

Nous observons que les ravins se répartissent en quatre classes de sensibilités (Figure 7), selon leurs valeurs de probabilité d'occurrence (Pr). En effet, cette dernière probabilité est définie comme suit: une classe faible ($Pr < 0,4$), modérée ($0,4 < Pr < 0,6$), élevée ($0,6 < Pr < 0,8$) et très élevée ($Pr > 0,8$).

Les zones sous la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) indiquent que la précision de prédiction globale pour le modèle de susceptibilités des ravins basée sur l'extraction des ravins par la méthode automatique SVM, est égale à 87 % (Figure 8).

Les résultats de la cartographie des zones potentielles au développement des ravins montrent que 35 % de la superficie totale de la zone d'étude correspond à une classe modérée. La classe de faible potentielle au développement des ravins représente 18 % de la superficie du bassin. Les zones vulnérables occupent presque la moitié de la superficie totale du bassin, à savoir 25 % pour la classe de sensibilité

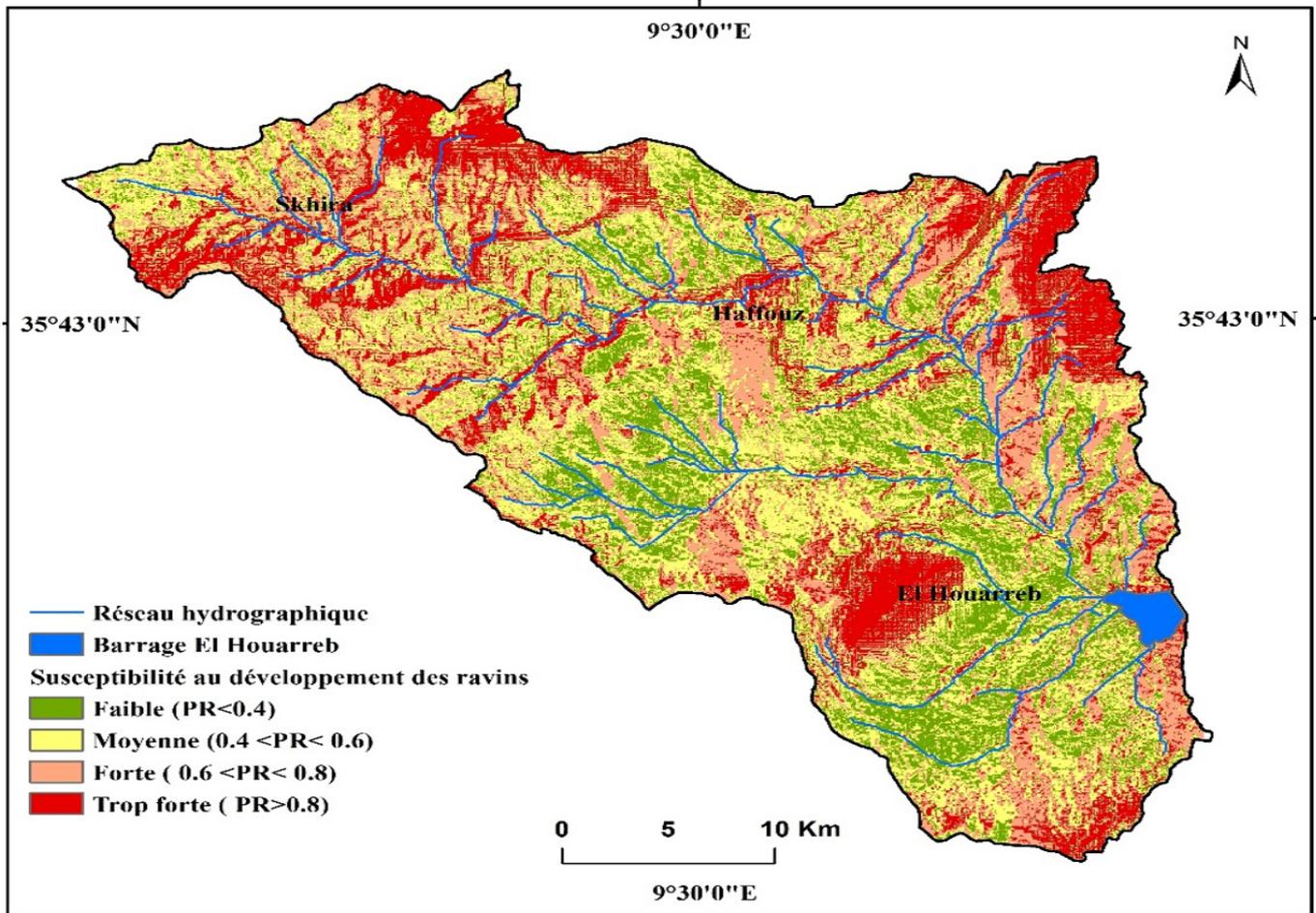


Figure 7: Carte des zones potentielles au développement des ravins dans le bassin versant Merguellil

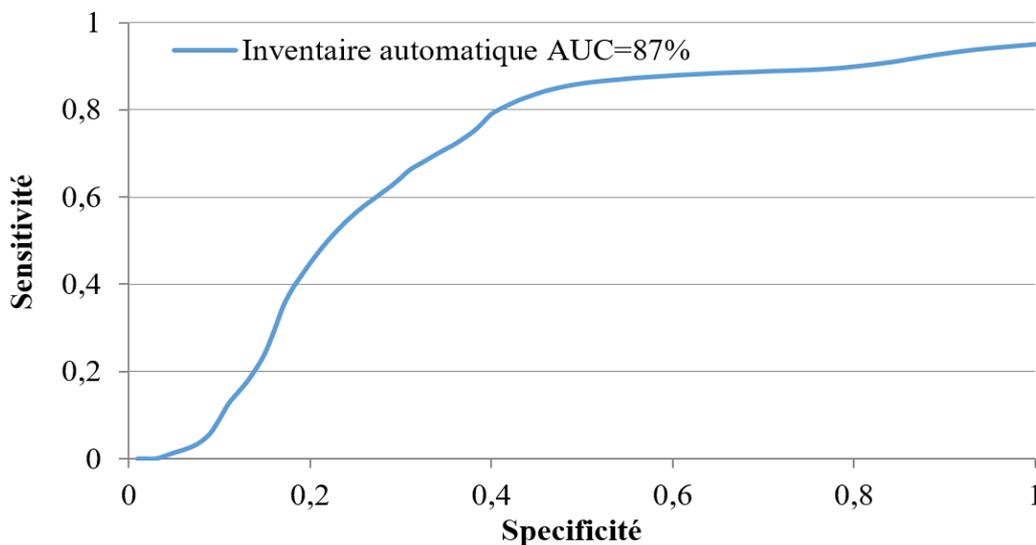


Figure 8: Courbes ROC pour tester la validité des zones susceptibles au développement des ravins

élevée et 22 % pour la classe très élevée, situées dans le Nord et le centre du bassin versant Merguellil.

Les facteurs contributifs au développement des ravins, utilisés dans la présente étude ainsi que leurs probabilités d'occurrence sont illustrées dans la figure 9.

La probabilité d'occurrence des ravins augmente avec le gradient topographique (Figure 9). En effet, la répartition spatiale des zones potentielles aux développements des ravins est importante dans les endroits à pente abrupte.

Le facteur géologique a une influence significative sur la distribution spatiale des ravines, en particulier dans les zones où les affleurements des roches qui se caractérisent par un type fersiallitiques, sont les plus sujets aux développements des ravins (Figure 9).

En revanche, les ravins se développent dans les zones convexe et concave. Et plus probable sur les surfaces concaves, dans les zones qui se caractérisent par un indice de position de topographie (SPI) élevé, là où il y a une puissance du ruissellement.

L'initiation des ravins s'est avérée être associée à des utilisations spécifiques des terres agricoles, principalement celles cultivées, ainsi que les parcours dans les endroits de pente moyenne égale à 4%.

DISCUSSION

La précision plus élevée de la classification des ravins est liée à leur traitement séparément et indépendamment du sol nu et de la végétation lors de la sélection des zones d'entraînement. Ce type de traitement est suggéré par Mararakanye et Nethengwe (2012) vue que la précision est largement influencée par la complexité de la réflectance du spectre des ravins et sa distinction avec l'environnement. A savoir que, la signature spectrale des ravins varie selon la couverture végétale (Taruvinga 2009). En effet, la signature spectrale du sol nu dépend de sa teneur en humidité, de sa matière organique, de sa texture, de sa structure et de sa teneur en oxyde de fer (Aggarwal, 2004). Les caractéristiques spec-

trales de la végétation varient avec la longueur d'onde et les feuilles des pigments végétaux. Ces feuilles absorbent fortement les longueurs d'onde rouge et bleu, mais reflètent les longueurs d'onde vertes et proche infrarouge (Mararakanye et Nethengwe, 2012). En outre, dans certaines zones, une distinction entre les classes spectrales de la couverture des sols similaires ont conduit à des précisions plus faibles.

L'occurrence des ravins croit avec l'augmentation du gradient topographique (Figure 9). En effet, la répartition spatiale des ravins est plus importante dans la partie des pentes abruptes. Les ravins peuvent se développer sur des pentes faibles, dans un matériau fissuré en surface, soit sur des sols riches en argiles gonflantes (vertisols, sols bruns, etc...), soit sur des marnes riches en gypse ou en d'autres minéraux solubles (Bouzaiane et Laforgue, 1986). En outre, les régions méditerranéennes semi-arides se caractérisent par des précipitations relativement faibles et souvent torrentielles, fréquentes en automne, lorsque le couvert végétal est absent. Les facteurs climatiques jouent un rôle primordial dans le développement des ravins. Lors des orages à la fin de la saison sèche, les eaux pénètrent dans ces sols fissurés jusqu'à la roche altérée, ruissellent dans ces fissures jusqu'en bas de pente où elles peuvent former des ravins régressives. Ce processus peut progresser de quelques dizaines de mètres au cours des grosses averses. De plus, certains chercheurs concluent que la dégradation du couvert végétal par le feu ou le surpâturage, l'extension de cultures peu couvrantes sur des sols fragiles ou l'imperméabilisation de surfaces par le piétinement du bétail et des hommes augmentent le ruissellement et les risques de ravinement.

L'initiation des ravins s'est avérée être associée à des utilisations spécifiques des terres agricoles, principalement les terres cultivées, les parcours et les terres arables dans les sites en pente (4% en moyenne). Ceci confirme l'hypothèse que la progression de l'érosion ravinante dans les parcours sont parmi les plus élevés (surtout dans le bassin méditerranéen). En effet, dans cet environnement, nous observons une combinaison de conditions de sol nu,

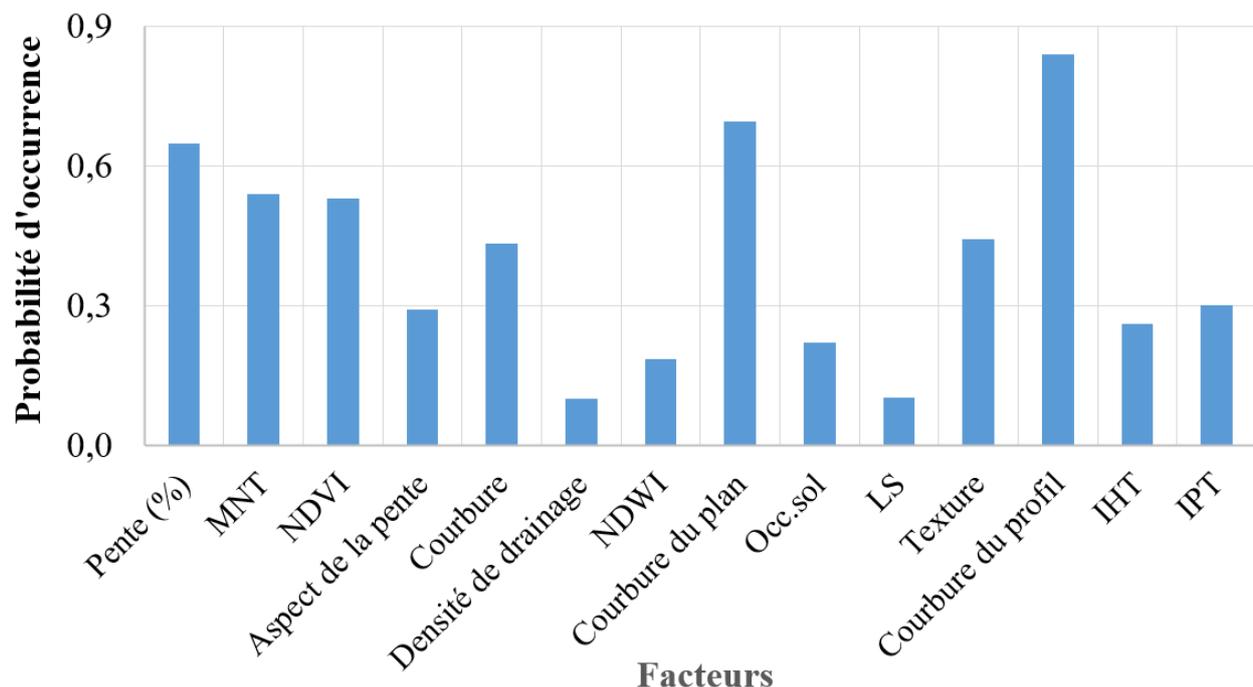


Figure 9: Probabilité d'occurrence pour chaque facteur contributif aux développements des ravins dans le bassin versant Merguellil

de faible protection de la végétation, de zones de pentes et de facteurs anthropiques, à savoir la pression de pâturage et une modification récente des pratiques culturales (sens et type de labour).

Considérant que la recherche sur l'érosion ravinante est très limitée dans le semi-aride tunisien, une étude préliminaire s'est avérée nécessaire afin d'obtenir une évaluation approximative de la situation.

Nos résultats démontrent que l'ensemble du processus de cartographie de la sensibilité au développement des ravins peut être automatisé en combinant l'inventaire des ravins et l'approche statistique Ratio Fréquence, moyennant les images multispectrales.

La télédétection employée dans le présent travail a identifié une technique d'étude et de surveillance liées au développement des ravins dans le semi-aride tunisien. L'interprétation visuelle avec Google Earth et la classification pixélisée avec le SVM se sont avérées efficaces pour détecter et identifier les ravins et être utilisées comme point de départ pour l'analyse fréquentielle de cette érosion ravinante.

En définitif, l'inventaire des ravins et la carte de susceptibilité peuvent être utiles pour conseiller les agriculteurs afin qu'ils puissent mettre en œuvre des pratiques de gestion appropriées dans les environnements semi-aride comme la région de Kairouan.

CONCLUSION

Dans cette étude nous avons effectué une analyse fréquentielle du développement des ravins moyennant l'évaluation des facteurs contributifs et les zones susceptibles au développement de ravins dans le bassin versant Merguellil, via la méthode de rapport des fréquences. Les résultats montrent que le réseau des ravins a affecté plus de 6% de la superficie totale de la zone d'étude. La cartographie de la susceptibilité au développement de ravins présente une précision de prédiction globale élevée (jusqu'à 84%). Les zones vulnérables au développement des ravins pour une probabilité d'occurrence très élevée ($Pr > 0,8$) occupent plus de 20 % de la superficie totale du bassin et se trouvent dans le Nord et le centre de la zone d'étude. En parallèle, l'étude montre que l'érosion ravinante est influencée par un large éventail de facteurs y compris la topographique, la géologie, la pédologie et l'occupation des sols.

En conclusion, les techniques géospatiales automatisées et leurs raffinements manuels pour cartographier les ravins et l'analyse fréquentielle au développement des ravins sont prometteuses pour une extraction précise des ravins.

Finalement, les résultats de cette étude sont très encourageants et peuvent fournir à la fois une solution viable pour la surveillance opérationnelle de l'avancement des ravins et un meilleur aménagement du paysage agricole. En effet, le présent article peut être considéré comme une source d'information précieuse pour la gestion et la sécurité des ressources en sols.

RÉFÉRENCES

Aggarwal S. (2004). Principles of remote sensing, in M.V.K. Sivakumar, P.S. Roy, K. Harmsen and S.K. Saha (eds.) *Satellite Remote Sensing and GIS applications in agricultural meteorology*, Dehra Dun, India, 7–11 July 2003, pp. 23–38, World Meteorological Organisation, Switzerland, 2004.

Akgun A., Dag S., Bulut F. (2007). Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Eng. Geol.*, 54: 1127–1143.

Alhaskeer Z., Corbonnois F.M., Laurent F. (2014). Élaboration d'une typologie des formes de vallées. Application au bassin de la Maine (plateaux du Nord-Ouest de la France). *Physio-Géo*, 8: 215–230.

Althuwaynee O.F., Pradhan B., Park H.J., Lee J.H. (2014). A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 114: 21–36.

Arabameri A., Cerda A., Tiefenbacher J.P. (2019). Spatial Pattern Analysis and Prediction of Gully Erosion Using Novel Hybrid Model of Entropy-Weight of Evidence. *Water*, 11: 1129.

Arabameri A., Pourghasemi H.R. (2019). Spatial Modeling of Gully Erosion Using Linear and Quadratic Discriminant Analyses in GIS and R. Chapter 13 in book. *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*. 2019, Pages 299–321.

Azedou A., Lahssini S., Khattabi A., Meliho M., Rifai N.A. (2021). Methodological Comparison of Three Models for Gully Erosion Susceptibility Mapping in the Rural Municipality of El Faid (Morocco). *Sustainability*, 13:682.

Ben Slimane A., Raclot D., Rebai H., Le Bissonnais Y., Planchon, O., Bouksila F. (2018). Combining field monitoring and aerial imagery to evaluate the role of gully erosion in a Mediterranean catchment (Tunisia). *Catena*, 170: 73–83.

Boardman J. (2016). The value of Google Earth™ for erosion mapping. *Catena*, 143: 123–127.

Bouaziz M., Wijaya A., Gloaguen R. (2011). Remote gully erosion mapping using aster data and geomorphologic analysis in the Main Ethiopian Rift. *Geo-Spatial Information Science*, 14: 246–254.

Bouzaiane S., Laforgue A. (1986). Monographie hydrologique des oueds Zéroud et Merguellil. Tunis (Tunisie), Paris (France): Ministère de l'Agriculture - ORSTOM, 1058 p.

Breiman L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45: 5–32.

Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Böhner J. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.*, 8: 1991–2007.

Dai F.C., Lee C.F., Li J., Xu Z.W. (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environ. Geol.*, 40:381–391.

Desprats J.F., Raclot D., Rousseau M., Cerdan O., Garcin M., Le Bissonnais Y., Ben Slimane A., Fouche J., Monfort-Climent D. (2013). Mapping linear erosion features using high and very high resolution satellite imagery. *Land Degrad. Dev.*, 24: 22–32.

DCES/IRD (1994-2001). *Annuaire hydrologique des lacs collinaires. Rapports 1994-2001*, Tunis, Direction générale de l'Aménagement et de la conservation des terres agricoles et Institut de recherche pour le développement.

DGRE (2016). *Annuaire hydrologique de la Tunisie*. Publication de la Direction Générale des Ressources en Eau. République Tunisienne.

Dube H.B., Mutema M., Muchaonyerwa P., Poesen J., Chaplot V. (2020). A global analysis of the morphology of linear erosion features. *Catena*, 190: 104542.

El Maaoui M.A., Felfoul M.S., Boussema M.R., Smane M.H. (2012). Sediment yield from irregularly shaped gullies located on the Fortuna lithologic formation in semi-arid area of Tunisia. *Catena*, 93: 97–104.

Gaidzik K., Teresa Ramírez-Herrera M., Bunn M., Ben A. Leschinsky B.A., Olsen M., Regmi N.A. (2017). Landslide manual and automated inventories, and susceptibility mapping using LIDAR in the forested mountains of Guerrero, Mexico. *Geomatrics, Natural Hazards and Risk*, 8:1054-1079.

- Gao, B.C. (1996). NDWI-A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sensing of Environment*, 58: 257-266.
- Gilad U, Denham R., Tindall D. (2012). Gullies, Google Earth and the Great Barrier Reef: a Remote Sensing Methodology for Mapping Gullies Over Extensive Areas. *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B8: 469-473.
- Gwet K. (2002). Kappa Statistic Is Not Satisfactory for Assessing the Extent of Agreement between Raters. *Statistical Methods for Inter-Rater Reliability Assessment*, 1: 1-6.
- Helman D., Mussery A. (2020). Using Landsat satellites to assess the impact of check dams built across erosive gullies on vegetation rehabilitation. *Science of The Total Environment*, 730: 138873.
- Hosseinalizadeh M., Kariminejad N., Chen W., Pourghasemi H.R., Alinejad M., Behbahani A.M., Tiefenbacher J.P. (2019). Spatial modeling of gully headcuts using UAV data and four best-first decision classifier ensembles (BFTree, Bag-BFTree, RS-BFTree, and RF-BFTree). *Geomorphology*, 329: 184-193.
- Hurni H. (1985). Erosion-productivity-conservation systems in Ethiopia. Proceedings 4th International Conference on Soil Conservation: 654-674: Maracay, Venezuela.
- Imeson A.C, Kwaad P.M. (1980). Gully types and gully prediction. *K.N.A.G. Geografisch Tijdschrift*, XVI (5).
- INM (2018). Annuaire Météorologique de la Tunisie; Publication de l'Institut National de la Météorologie: Tunis, Tunisia.
- Jebari S., Berndtsson B., Bahri A., Boufaroua M. (2010). Spatial soil loss risk and reservoir siltation in semi-arid Tunisia. *Hydrological Sciences Journal*, 55: 121-137.
- Karami A., Khoorani A., Noohegar A., Shamsi S.R.F., Moosavi V. (2015). Gully erosion mapping using object-based and pixel-based image classification methods. *Environ. Eng. Geosci.*, 21: 101-110.
- Karydas C., Panagos P. (2020). Towards an Assessment of the Ephemeral Gully Erosion Potential in Greece Using Google Earth. *Water*, 12: 603.
- Khan H., Muhammad M.S., Khan Mian K., Bacha B.U., Chiara Calligaris. S. (2019). Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22: 11-24.
- Khemiri K., Jebari S. (2021). Étude comparative de deux modèles d'évaluation de l'érosion hydrique RUSLE et MUSLE dans les bassins versants du semi-aride Tunisien. *Cah. Agric.*, 30: 7.
- Khemiri K., Jebari S., Berndtsson R., Maalel K. (2021). Is Climate or Direct Human Influence Responsible for Discharge Decrease in the Tunisian Merguellil Basin? *Water*, 13:2748.
- Kumar S.R., Sankar B.G., Kumar S.P. (2016). Spatial modelling of soil erosion susceptibility mapping in lower basin of Subarnarekha river (India) based on geospatial techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2: 99.
- Lee S., Talib J.A. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environ. Geol.*, 47: 982-990.
- MARHP (1989). Ministère de l'Agriculture, des ressources hydrauliques et de la pêche. Rapport interne. Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques.
- MARHP (2017). Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques et la Pêche, Direction générale de l'aménagement et de conservation des terres agricole (DG/ACTA) et Organisation des Nations Unies (ONU) pour l'alimentation et l'agriculture. Étude technique des aménagements CES.
- Masson J.M. (1972). L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ. *La Houille Blanche*, 8: 673-678.
- Mararakanye N., Nethengwe N.S. (2012). Gully Features Extraction Using Remote Sensing Techniques. *South African Journal of Geomatics*, 1:109-118.
- Mararakanye M., Sumner P.D. (2017). Gully erosion: A comparison of contributing factors in two catchments in South Africa. *Geomor.*, 288: 99-110.
- Marzolff I., Ries J.B., Poesen J. (2011). Short-term versus medium-term monitoring for detecting gully-erosion variability in a Mediterranean environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36: 1604-1623.
- Meliho M., Khattabi A., Mhammdi N.A. (2018). GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling using bivariate statistics methods in the Ourika watershed, Morocco. *Environ. Earth Sci.*, 77: 1-14.
- Moukrim S., Lahssini S., Alaoui H.M., Rifai N., Arahou M., Rhazi L. (2018). Modélisation de la distribution spatiale des espèces endémiques pour leur conservation: Cas de l'*Argania spinosa* (L.) Skeels. *Rev. D'écologie*, 73: 153-166.
- Mergusie (1998-2007). Programme de recherche (Merguellil: Ressources, Gestion et Usages Intégrés de l'Eau).
- ONM (2010). Office National des Mines Tunisie. Carte géologique de la région de Kairouan - Echelle 1/20 000 - Tunisie.
- Pardeshi S.D., Autade S.E., Pardeshi S.S. (2013). Landslide hazard assessment: recent trends and techniques. *SpringerPlus*, 2:523.
- Poesen J., Nachtergaele J., Verstraeten G., Valentin C. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50: 91-133.
- Pourghasemi H.R., Yousefi S., Kornejady A., Cerdà A. (2017). Performance assessment of individual and ensemble data-mining techniques for gully erosion modeling. *Science of The Total Environment*, 609: 764-775.
- Pradhan B., Lee S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software*, 25: 747-759.
- Saha S., Roy J., Arabameri A., Blaschke T., Tien Bui D. (2020). Machine Learning-Based Gully Erosion Susceptibility Mapping: A Case Study of Eastern India. *Sensors*, 20: 1313.
- Schulz W.H. (2004). Landslides mapped using LIDAR imagery, Seattle, Washington. (US Geological Survey Open-File Report 1396 (11)). U.S. Department of the Interior, U.S.
- Shahabi H., Jarihani B., Tavakkoli P.S., Chittleborough D., Avand M., Ghorbanzadeh O. (2019). A Semi-Automated Object-Based Gully Networks Detection Using Different Machine Learning Models: A Case Study of Bowen Catchment, Queensland, Australia. *Sensors*, 19: 4893.
- Shumm S.A. (1956). Evolution of drainage system and slope in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of Geological Society of America*, 67:597-646.
- Strahler A.N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63: 1117-1142.
- Taruvunga K. (2009). Gully Mapping Using Remote Sensing: Case Study in KwaZulu-Natal, South Africa. Master's thesis. University of Waterloo.
- Valentin C., Poesen J., Li Y. (2005). Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena*, 63: 132-153.
- Wischmeier W.H., Smith D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: guide to conservation planning. USDA, Agriculture Handbook 537. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Yesilnacar E., Topal T. (2005). Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Eng Geol.*, 79:251-266.

Enquête ethno-botanique sur l'utilisation traditionnelle du Lierre grimpant (*Hedera helix*) au Nord-Ouest de la Tunisie

Houcem SAMMARI¹, Saber JEDIDI², Houcine SELMI², Foued ALOUP², Hichem SEBAI¹

(Reçu le 12/05/2023; Accepté le 23/07/2023)

Résumé

Les recherches pharmacologiques actuelles contribuent continuellement à découvrir les vertus thérapeutiques des plantes médicinales et les modalités d'action de leurs composés actifs. Les propriétés authentiques de ces molécules ont été utilisées dans le traitement et la prévention de nombreuses pathologies. Dans ce contexte, nous avons réalisé une enquête ethno-pharmacologique qui porte sur l'usage traditionnel du lierre grimpant (*Hedera helix* L.) dans la région de Ain Draham (Nord-Ouest de la Tunisie). L'enquête menée dans le nord-ouest tunisien a montré que le lierre grimpant est utilisé en médecine traditionnelle pour traiter plusieurs pathologies, notamment celles du système respiratoire (31%). Les résultats ont également montré que le mode d'administration est principalement par voie orale (66%), sous forme de décoction (49%) ou d'infusion (39%). De façon plus importante, l'enquête a dévoilé que l'usage de différentes parties de la plante est majoritairement à fréquence modérée (60%). En conclusion, les résultats de cette investigation représentent une importante contribution à la base de données pour la médecine ancestrale nationale et constituent des appuis pour de futures études pharmacologiques et biochimiques.

Mots clés: Enquête ethno-pharmacologique, *Hedera helix*, médecine traditionnelle

Ethnobotanical survey on the traditional use of climbing ivy (*Hedera helix*) in the North-West of Tunisia

Abstract

Current pharmacological research contributes continually to discover the therapeutic virtues of medicinal plants and the actions of their active compounds. The authentic properties of these molecules have been used in the treatment and prevention of several pathologies. In this context, we carried out an ethno-pharmacological survey on the traditional uses of common ivy (*Hedera helix* L.) in the Ain Draham region (Northwest of Tunisia). The survey showed that ivy is used in traditional medicine to treat a whole range of pathologies, including those of the respiratory system (31%). The results also showed that the administration mode of the fresh or dried parts is mainly oral (66%), as a decoction (49%) or an infusion (39%). More importantly, the survey showed that the different plant parts were mostly used with moderation (60%). In conclusion, the results of this investigation represent an important contribution to the national ancestral medicine and provide support for future pharmacological and biochemical studies.

Keywords: Ethno-pharmacological survey, *Hedera helix*, traditional medicine

INTRODUCTION

Depuis les civilisations anciennes, le traitement par les plantes représentaient une médication de base pour traiter et prévenir vis-à-vis de diverses pathologies (Bekhouche, 2019). Cette science empirique est fondée sur la sélection et le transfert de ces connaissances coutumières au fil des générations. Avec le développement scientifique, la pharmacopée a identifié toute une large liste de composés bioactifs d'origine végétale qui fait partie de la composition des médicaments (Boukerche, 2019). Cette auto-médication ancestrale s'est mieux organisée en une discipline rapportée à la médecine moderne et exercée par des recommandations de professionnels de santé.

Les dernières décennies sont caractérisées par un développement très progressif concernant l'application et les recherches approfondies au sujet de la phytothérapie. Généralement, les différents usages des plantes médicinales sont favorisés grâce à leur faibles toxicités (Sammari *et al.*, 2021; Jedidi *et al.*, 2022). Les produits issus des plantes sont caractérisés par leurs large spectre d'activités biologiques à savoir les capacités antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses et antimicrobiennes (Jedidi *et al.*, 2019; Khemaissia et Benchikh, 2022).

La Tunisie comporte plusieurs bioclimats et des écosystèmes très diversifiés. C'est ainsi que la flore tunisienne est caractérisée par une grande biodiversité. Selon Le Floch (1983), une grande partie de la végétation nationale est reconnues par leurs usages en tant que plantes aromatiques et médicinales. Le genre *Hedera* appartient à la famille des Araliaceae et comporte 15 espèces qui occupent l'Asie, l'Afrique de Nord et l'Europe (Tobler 1912; Rutherford *et al.*, 1993; Stace, 1997).

Hedera helix est une liane grimpante à feuilles non caduques qui occupe les zones très humides. Elle se trouve à l'état sauvage fixée sur les roches et les arbres (Nassira *et al.*, 2022).

Cette espèce est identifiée par les populations turques, grecques et italiennes, comme plante médicinale par excellence (Chichiricò *et al.*, 1980; Brussell, 2004; Kültür, 2007). Aussi bien les usages, les prescriptions et les préparations varient beaucoup en fonction des régions étudiées. L'objectif principal de la présente étude est la réalisation d'une enquête ethno-pharmacologique sur l'usage médicinal traditionnel du lierre grimpant (*Hedera helix* L.) dans la région de Ain Draham (Nord-Ouest tunisien).

¹ Département de Physiologie Animale, Université de Jendouba, Institut Supérieur de Biotechnologie de Béja, Tunisie

² Département de la protection et de la valorisation des ressources et des espaces agro-forestiers, Université de Jendouba, Institut sylvo-pastoral de Tabarka, Tunisie

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Choix de la zone d'étude

Nous avons sélectionné la région de Ain Draham, localisée au Nord-Ouest de la Tunisie, puisqu'elle représente un refuge écologique du lierre grim pant.

Présentation de la fiche d'enquête

Le questionnaire posé aux inventoriés est composé de deux parties: la première est consacrée à l'identification et la civilité des individus inventoriés qui comporte le nom, prénom et niveau scolaire. La deuxième partie s'intéresse aux modalités d'usages de la plante dans la médecine traditionnelle à savoir les préparations, les parties utilisées, le stade de cueillette, les pathologies traitées et les fréquences d'administration. D'une façon générale, nous avons noté tout les détails et les renseignements au sujet des propriétés et des caractéristiques de la plante (Jedidi *et al.*, 2018).

Méthodologie de travail

L'enquête ethno-pharmacologique a ciblé également les herboristes et les tradi-praticiens qui représentent la source principale des informations au sujet de l'usage du lierre grim pant en médecine traditionnelle pour les personnes âgées, les fermiers et les habitants de la forêt. Le choix de ces profils a pour objectif de garantir le collecte de données plus fiables. Ainsi, nous avons préparé 100 fiches d'enquête et pour chaque interrogé nous avons commencé par montrer notre badge aussi bien qu'une présentation succincte de la thématique de travail.

Les individus sont notamment interrogés au sujet de l'usage de *Hedera helix* dans la médecine traditionnelle. Ainsi, pour chaque personne inventoriée, l'enquête peut durer 20 à 25 minutes. Nous avons bien assuré la subjectivité et on a bien expliqué les questions, afin d'avoir des résultats crédibles.

Analyses statistique

Les données de l'enquête ont été traitées et analysées par Excel. Les données qualitatives sont représentés en utilisant les fréquences des réponses tandis ce que les variables quantitatives sont représentées en utilisant les effectifs.

RÉSULTATS

L'enquête ethno-botanique menée dans la région Ain Draham a révélé que le lierre grim pant (*Hedera helix* L.) est bel et bien utilisée en médecine ancestrale pour le traitement d'une panoplie de pathologies, essentiellement celles de l'appareil respiratoire.

Répartition des interrogés selon les tranches d'âges

La plupart des inventoriés appartiennent à la classe d'âge comprise entre 30 et 50 ans (63%). Ainsi que, le plus jeune individu interrogé est âgé de 20 ans tandis que le plus vieux est âgé de 68 ans (Figure 1).

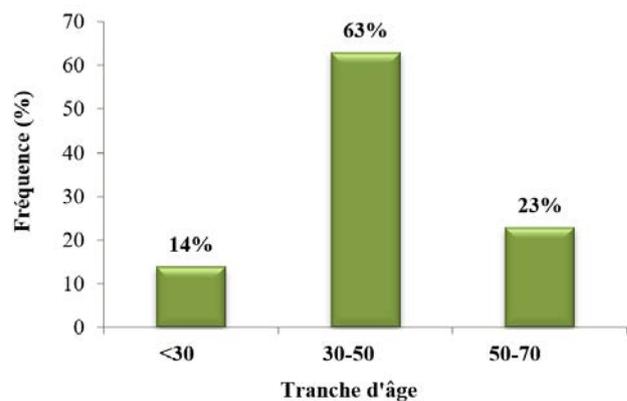


Figure 1: Répartition des inventoriés en fonction de la tranche d'âge dans la région Ain Draham

Répartition des inventoriés selon le sexe

La population des interrogés est composée de 43% d'hommes et 57% de femmes (Figure 2).

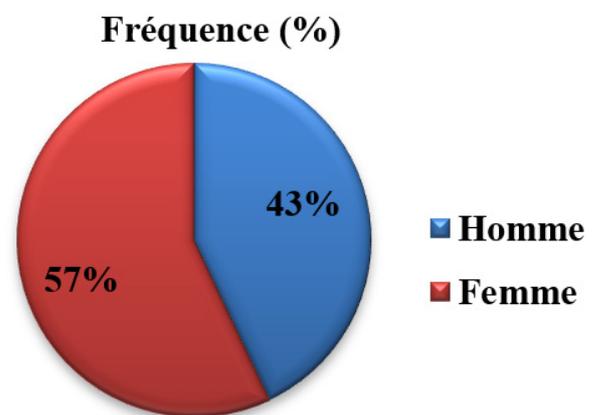


Figure 2: Répartition des inventoriés selon le sexe dans la région Ain Draham

Niveau d'étude

Les résultats de la présente étude ont montré que la majorité de la population étudiée a un niveau de scolarisation secondaire (48%), suivi par des universitaires (27%) (Figure 3).

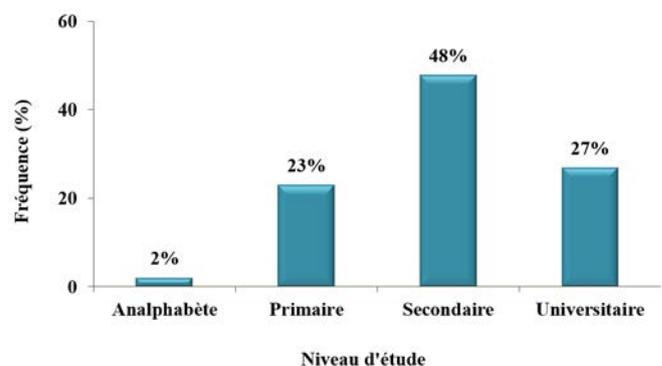


Figure 3: Profil des inventoriés en fonction du niveau d'étude dans la région de Ain Draham

Origine des informations sur *Hedera helix*

La majorité des inventoriés (76,1%) affirment qu'ils acquièrent ces informations de la part des herboristes, leur parents et grands-parents. Néanmoins, (23,9%) des habitants témoignent qu'ils retrouvent ces informations sur Internet (Figure 4).

Fréquence (%): origine de l'information

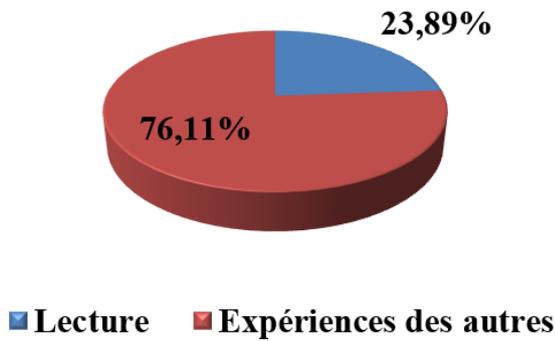


Figure 4: Origine des informations des inventoriés de la région de Ain Draham

Usage traditionnel et médicinal du lierre grim pant

Les résultats de la présente étude révèlent que le lierre grim pant est utilisé essentiellement pour traiter les maladies du système respiratoire (50%), soins et remèdes cutanés (22%), antiparasitaire des voies digestives (18%) ainsi que pour le traitement du diabète (8%) (Figure 5).

Les parties utilisées

La population étudiée a indiqué que la feuille est la partie la plus utilisée de la plante, avec un taux évalué à 72%. D'autre part, 28% des interrogés affirment qu'ils utilisent la totalité de la partie foliaire (Figure 6).

Stade de cueillette

Les résultats ont montré que la totalité de la partie foliaire est utilisée à l'état mature (52%), à l'état immature (32%) ou indifféremment (16%) (Figure 7).

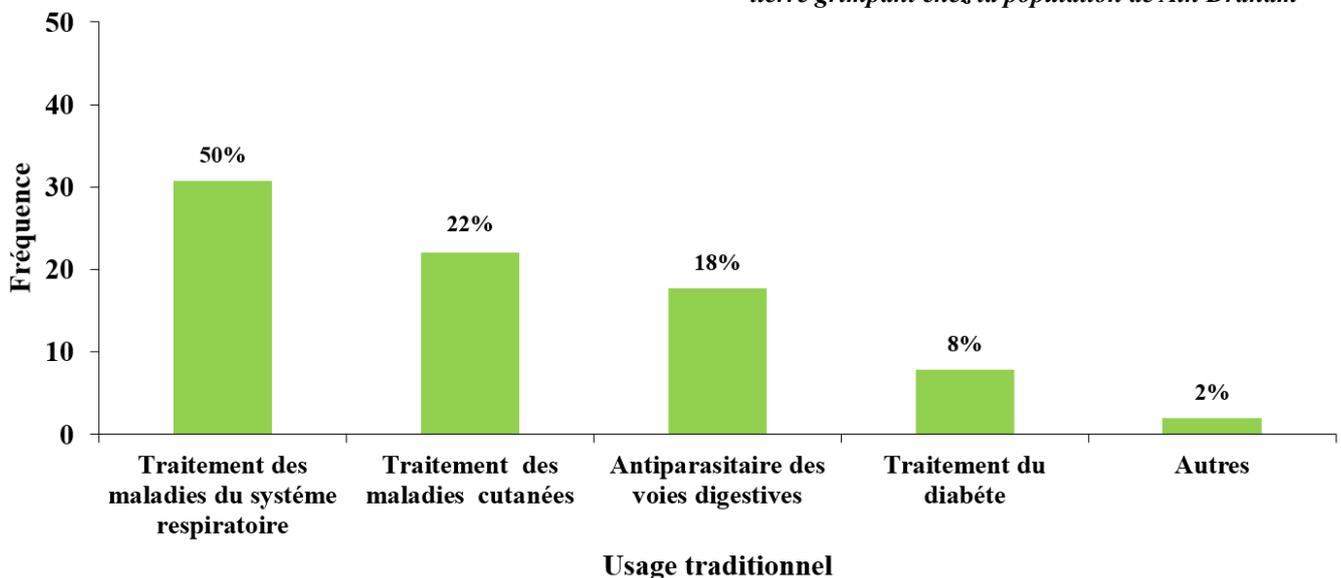


Figure 5: Fréquence des différents usages médicaux de *Hedera helix* dans la région de Ain Draham

Mode de préparation

Le questionnaire a montré que les modes des préparations sont: la décoction de la partie aérienne entière verte ou séchée (49%), l'infusion préparée à partir de la partie aérienne entière verte ou séchée (39%) et la macération des feuilles sèches ou verte (12%) (Figure 8).

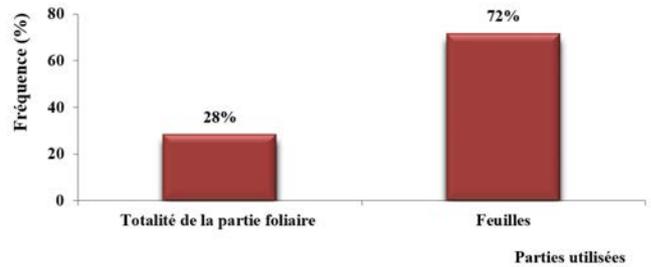


Figure 6: Fréquence des parties utilisées de *Hedera helix* chez la population de Ain Draham

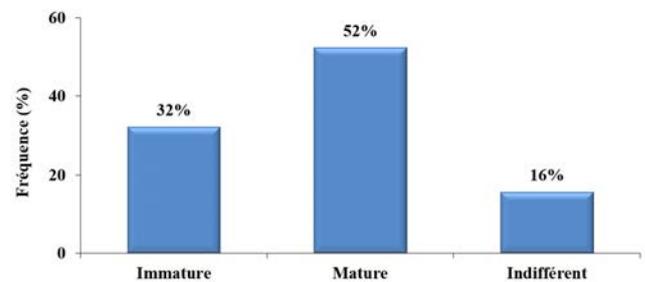


Figure 7: Fréquence des stades de cueillette du lierre grim pant chez la population de Ain Draham

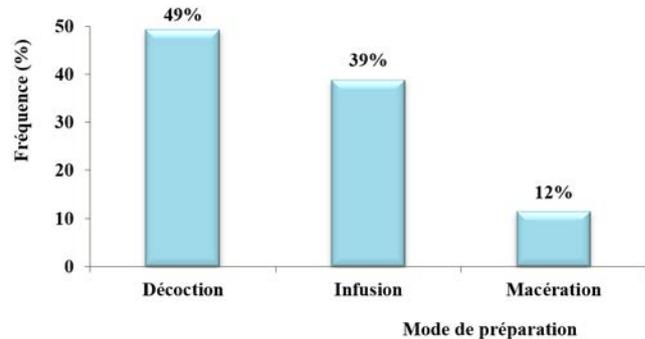


Figure 8: Fréquence de différents modes de préparation du lierre grim pant chez la population de Ain Draham

Mode d'administration

Les habitants de la région de Ain Draham affirment qu'ils utilisaient les extraits du lierre grim pant par voie orale (66%). Les infusions, les macérations et les décoctions sont prescrites pour traiter les maladies de système respiratoire, à savoir la grippe la bronchite, la pneumonie et l'allergie. Les cataplasmes sont indiqués localement pour traiter les blessures et les maladies de la peau comme la gale et les démangeaisons (34%) (Figure 9).

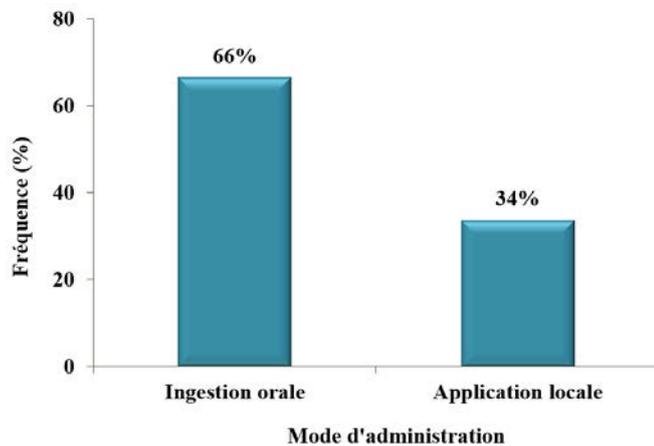


Figure 9: Fréquence de différents modes d'administration du lierre grim pant chez la population de Ain Draham

État d'utilisation

Les interrogés ont indiqué que le lierre grim pant est utilisé à l'état frais (54%) ou à l'état sec (46%) (Figure 10).

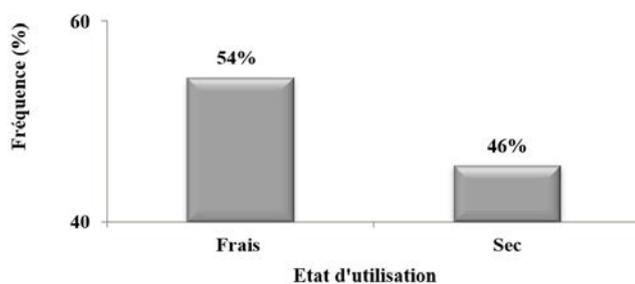


Figure 10: Fréquence de différents états d'utilisation du lierre grim pant chez la population de Ain Draham

Fréquence d'utilisation

Les résultats ont révélé que *Hedera helix* est utilisé modérément et à faible fréquence, avec des pourcentages de l'ordre de 60% et 33%, respectivement (Figure 11).

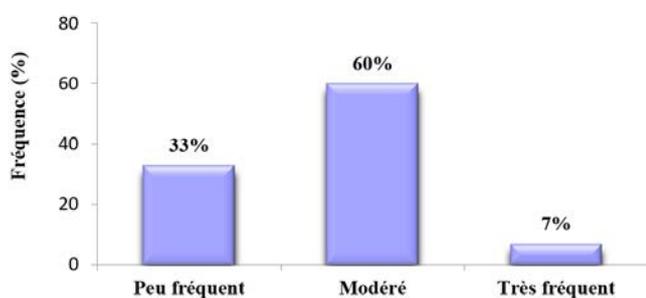


Figure 11: Fréquence de prise du lierre grim pant chez la population de Ain Draham

Degré de satisfaction

La population interrogée était satisfaite à très satisfaite, ces taux sont évalués respectivement à 39% et 58% (Figure 12).

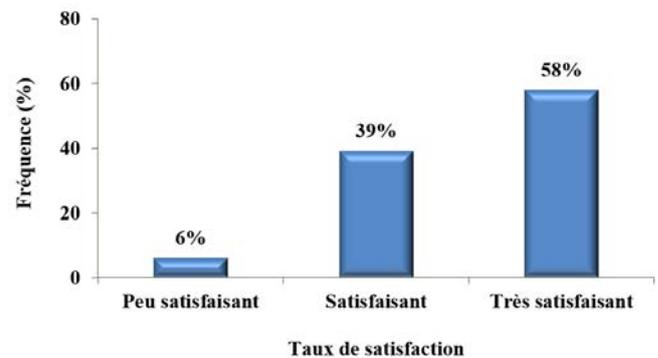


Figure 12: Satisfaction des interrogés concernant l'usage du lierre grim pant chez la population de Ain Draham

Raison de la phytothérapie

L'usage de l'espèce *Hedera helix* par la population de Ain Draham est expliqué, en partie, par son faible coût (23%). L'utilisation de ce lierre est très efficace (65%) pour traiter les maladies citées auparavant. D'autre part, les interrogés indiquent que son emploi est meilleur que celui des médicaments de synthèse (12%) (Figure 13).

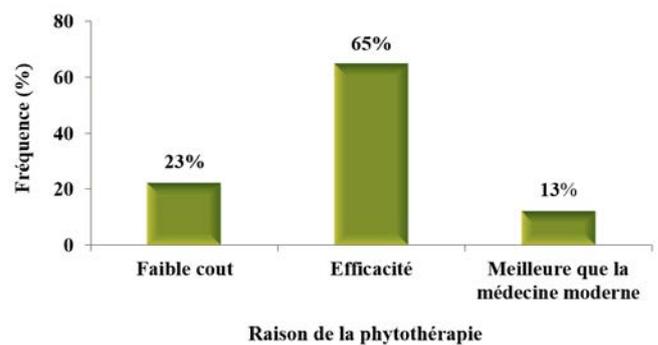


Figure 13: Fréquence de la raison de la phytothérapie par le lierre grim pant chez la population de Ain Draham

DISCUSSION

L'étude prospective effectuée dans la région de Ain Draham consiste à réaliser une enquête ethno-pharmacologique pour répertorier les vertus thérapeutiques du lierre grim pant. Les résultats de la présente étude révèlent que la population interrogée est composée de 43% d'homme et 57% de femmes. La plupart des inventoriés appartiennent à la tranche d'âge comprise entre 30 et 50 ans avec un proportion de 63%, tandis que les jeunes (≤ 30 ans) représentent 14% de la population étudiée.

L'évaluation du niveau d'étude a révélé que 2% de la population étudiée étaient des analphabètes, 23% avaient un niveau scolaire primaire et 48% des interrogés ont un niveau secondaire.

La population interrogée a indiqué que *Hedra helix* est souvent identifiée et utilisée comme remède naturel pour traiter une panoplie de maladies, à savoir celles de système respiratoire telles que la grippe, la bronchite et l'allergie. Nos résultats corroborent les études de Hofmann et al. (2003)

qui témoignent l'efficacité de la plante dans le traitement des obstructions chroniques des voies respiratoires chez les enfants atteints de l'asthme bronchique (Zeil *et al.*, 2014). Les extraits des feuilles de *Hedera helix* sont consommés par voie orale pour leurs propriétés analgésiques, anti-toux, anti-inflammatoires et expectorante (Rashed, 2013). Ils sont souvent employés pour traiter la rhume et des symptômes des troubles bronchiques inflammatoires (Rashed, 2013; Al-Snafi, 2018).

D'autre part, les habitants de la région de Ain Draham affirment qu'ils utilisent le lierre grimpant pour des soins dermatologiques. Ce qui est en ligne avec les travaux précédemment publiés par Chichiricò (1980); Rashed (2013) et Al-Snafi (2018). Ces chercheurs ont décrit que les extraits de la plante en question sont utilisés par voie cutanée pour le traitement des blessures, les gerçures, les démangeaisons, les piqûres d'insectes et la gale.

Les résultats de la présente étude ont montré que la fraction foliaire sont utilisées à l'état frais ou séché. Les extraits sont préparés par décoction, infusion ou macération. Ils ont été très souvent utilisés par voie orale (66%) et/ou cutanée (34%). En effet, les extraits foliaire de *Hedera helix* sont pourvus de plusieurs activités biologiques telles que antibactérienne, anti-oxydante, anti-inflammatoire (Rai, 2013; Pop *et al.*, 2017). Cela peut être expliqué, en partie, par leur richesse en composés biologiquement actifs comme les polyphénols, les alcaloïdes et les terpènes (Uddin *et al.*, 2011).

CONCLUSION

La population de la région de Ain Draham a confirmé que les extraits de feuilles de lierre grimpant sont efficaces pour le traitement de plusieurs pathologies. Partant de ces résultats, *Hedera helix* peut être considérée comme plante médicinale prometteuse avec un large spectre d'utilisations pharmacologiques et applications médicales. Il serait donc judicieux de mener des études plus approfondies au sujet des potentialités biologiques et pharmacologiques des préparations des feuilles du lierre grimpant.

RÉFÉRENCES

Bekhouche K. (2019). L'effet protecteur des extraits des plantes (*Perralderia coronopifolia* et *Gaillonia reboudiana*) vis-à-vis d'une toxicité provoquée par le pentachlorophénol. Thèse de Doctorat, Université Frères Mentouri-Constantine 1.

Boukerreche A. (2019). Valorisation des substances bioactives d'origine végétale à activités pharmacologiques à partir des espèces. Thèse de Doctorat, Université Larbi Ben M'hidi de Oum El Bouaghi.

Sammari H., Jedidi S., Selmi H., Rtibi K., Jabri, M.A., Jridi M., Zouari N., Toumi L., Sebai, H. (2021). Protective effects of *Crataegus azarolus* L. berries aqueous extract against castor oil-induced diarrhea, oxidative stress, and inflammation in rat. *Neurogastroenterology & Motility*, 33: e14065.

Jedidi S., Selmi H., Aloui F., Rtibi K., Sammari H., Abbes C., Sebai H. (2022). Antioxidant properties, phytoactive compounds and potential protective action of *Salvia officinalis* flowers against combined gastro-intestinal ulcer and diarrhea experimentally induced in rat. *Dose-Response*, 20: 15593258221102313.

Jedidi S., Rtibi K., Selmi S., Aloui F., Selmi H., Wannas D., Dhawefi N., Chaaben A., Sebai H. (2019). Phytochemical/antioxidant properties and individual/synergistic actions of *Salvia officinalis* L. aqueous extract and loperamide on gastrointestinal altering motor function. *Journal of medicinal food*, 22:1235-1245.

Khemaissia O. (2022). État des connaissances portant sur Les activités biologiques de l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum*. Thèse de Doctorat, Université Larbi Tébessi-Tébessa.

Le Floch Edward (1983). Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Rutherford A., McAllister, H.A., Mill, R.R. (1993). New ivies from the Mediterranean area and Macaronesia. *Plantsman* (United Kingdom).

Tobler F. (1912). Die Gattung Hedera: Studien über Gestalt und Leben des Efeus, seine Arten und Geschichte. G. Fischer.

Stace C. (2010). New flora of the British Isles. Cambridge University Press.

Nassira D., Argidi K., Fereh S. (2022). Etude phytochimique et activité biologique de l'extrait aqueux de l'*Hedera helix* L. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme de Master, Université de Larbi Tébessi.

Chichiricò G., Cifani, M. P., Frizzi G., Tammara F. (1980). Phytotherapy in the subequana valley, Abruzzo, central Italy. *Journal of ethnopharmacology*, 2: 247-257.

Brussell D.E. (2004). Medicinal plants of mt. Pelion, Greece. *Economic Botany*, 58: S174-S202.

Kültür Ş. (2007). Medicinal plants used in Kırklareli province (Turkey). *Journal of ethnopharmacology*, 111: 341-364.

Jedidi S., Aloui F., Selmi H., Rtibi K., Dallali S., Abbes C., Sebai H. (2018). Enquête ethnobotanique sur l'utilisation traditionnelle de la sauge officinale (*Salvia officinalis* L.) dans les régions de Tabarka et Ain Draham (Nord-Ouest de la Tunisie). *J. New Sci. Agric. Biotechnol. CIRS*, 18: 2718-2741.

Hofmann D., Hecker M., Völz A. (2003). Efficacy of dry extract of ivy leaves in children with bronchial asthma—a review of randomized controlled trials. *Phytomedicine*, 10: 213-220.

Zeil S., Schwanebeck U., Vogelberg C. (2014). Tolerance and effect of an add-on treatment with a cough medicine containing ivy leaves dry extract on lung function in children with bronchial asthma. *Phytomedicine*, 21:1216-1220.

Rashed K. N. Z. (2013). Antioxidant activity of *Hedera helix* L. extracts and the main phytoconstituents. *Int. J. Allied Med. Sci. Clin. Res*, 1: 62-5.

Al-Snafi A.E. (2018). Pharmacological and therapeutic activities of *Hedera helix*-A review. *Iosr. J. Pharm.*, 8: 41-53.

Rai A. (2013). The anti-inflammatory and antiarthritic properties of ethanol extract of *Hedera helix*. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 75: 99.

Pop C.E., Parvu M., Arsene, A.L., Parvu, A.E., Vodnar, D.C., Tarcea, M., Toiu, A. M., Vlase L. (2017). Investigation of antioxidant and antimicrobial potential of some extracts from *Hedera helix* L. *Gut*, 4: 11.

Uddin G., Rauf A., Qaisar M., Latif A., Ali M. (2011). Preliminary phytochemical screening and antimicrobial activity of *Hedera helix* L. *Middle-East J. Sci. Res.*, 8: 198-202.

Importance socio-économique du baobab (*Adansonia digitata*) au Togo

A. B. KEBENZIKATO¹, W. ATAKPAMA¹, M. SAMAROU¹, K. WALA¹, K. BATAWILA¹, K. AKPAGANA¹

(Reçu le 20/06/2023; Accepté le 05/07/2023)

Résumé

Le baobab (*Adansonia digitata* L.) est une espèce agroforestière de grande valeur socio-économique. Une évaluation de la valeur économique de cette espèce au Togo a concerné 134 ménages et 105 marchés. L'objet de cette étude est de (i) déterminer le mode et le circuit de commercialisation des produits du baobab et (ii) évaluer la valeur économique générée par la vente des produits de *A. digitata*. Au total 7 sous-produits commercialisés ont été identifiés. Les feuilles (fraîches et sèches), les amandes et la pulpe sont les sous-produits les plus commercialisés. A part les feuilles, qui demeurent assez commercialisées dans toutes les régions, la valeur économique des sous-produits varie selon la position géographique. Les prix des sous-produits sont plus élevés dans les régions Maritime, Plateaux et Savanes. La commercialisation des sous-produits est caractérisée par un circuit indirect avec présence d'intermédiaires. Pour un pied de baobab, les fruits, les graines, l'amande et la pulpe génèrent respectivement des revenus de 116 958; 47 424; 74 277 et 95 076 F CFA. La gestion durable de cette ressource par la régénération assistée et la promotion de bonnes pratiques de production contribuera à la résilience des populations locales face à l'insécurité alimentaire et les effets néfastes des changements climatiques.

Mots clés: PFNL, baobab, commercialisation, résilience, Togo

Socio-economic importance of baobab (*Adansonia digitata*) in Togo

Abstract

Baobab is an agroforestry tree species with a high socio-economic value. This study promotes baobab products in Togo through a socio-economic survey carried out on 134 households and 105 markets. It aims to (i) identify the ways and means of marketing baobab products and (ii) evaluate the economic value generated by selling *A. digitata* products. A total of 7 marketed by-products were identified. Leaves (fresh and dried), kernels and pulp are the most commonly marketed products. Depending on the region and on the type of product, the economic value of these products varied. Apart from the leaves, which are valued nationally, the Maritime and Kara regions sell more kernels, while the Plateau and Kara regions sell more pulp. An indirect circuit with the presence of intermediaries characterises the marketing of these products. One baobab tree generates revenues of 116,958; 47,424; 74,277 and 95,076 FCFA respectively from fruits, seeds, kernels and pulp. Sustainable management of this resource will contribute to the resilience of local communities to food insecurity and to the adverse effects of climate change, through supported regeneration and the promotion of good production practices.

Keywords: NTFPs, Baobab tree, economic value, resilience, Togo

INTRODUCTION

Les ressources forestières alimentaires font partie d'un grand ensemble désigné sous le vocable de "Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL)". Les PFNL sont des ressources et produits, autre que le bois d'œuvre et d'industrie ainsi que leurs dérivés extraits des écosystèmes forestiers puis utilisés à des fins alimentaires, domestiques, de commercialisation ou dotées d'une signification sociale, culturelle ou religieuse (Avocèvou-Ayisso et al., 2009; Dourma et al., 2018). Ainsi, plus une espèce ligneuse offre des avantages, mieux les paysans s'investissent à la planter ou/et à l'entretenir. Selon Leakey (1999), la domestication des essences locales repose en partie sur le développement du marché de leurs produits non ligneux. Une motivation des communautés rurales pour la pratique de l'agroforesterie ne peut donc être suscitée que par le développement du marché des produits des essences agroforestières. Cependant, tout développement de marché d'un produit passe nécessairement par une bonne connaissance des pratiques de consommation et de commercialisation déjà existantes.

En Afrique, les populations rurales vivent des PFNL parmi lesquels les fruitiers spontanés alimentaires occupent une place de choix (Matig et al., 2006). Les paysans contrôlent la densité et la présence des espèces dans l'agroforesterie en tenant compte des préférences et des biens qu'ils

procurent (Augusseu et al., 2006). Particulièrement, les espèces qui ont une importance socio-économique sont souvent intégrées dans les systèmes agroforestiers (Aleza et al., 2015; Goudegnon et al., 2016; Dourma et al., 2018; Folega et al., 2019). Au Togo, les études récentes mettent en exergue plusieurs plantes agroforestières d'importance capitale pour les populations. Il s'agit du: baobab (*Adansonia digitata*), raisinier (*Lannea microcarpa*), néré (*Parkia biglobosa*), pommier finsam (*Blighia sapida*), tamarinier (*Tamarindus indica*), karité (*Vitellaria paradoxa*), rôniers (*Borassus* spp) qui sont souvent intégrées aux systèmes agroforestiers (Kebenzikato et al., 2014; Agbogon et al., 2015; Dourma et al., 2018; Padakale et al., 2018; Atakpama et al., 2022b; Nabede et al., 2022; Samarou et al., 2022b).

En dépit de l'idée générale que l'exploitation des PFNL serait une alternative durable à l'exploitation du bois, leur exploitation a entraîné un déclin drastique de leur population (Garba et al., 2020; Samarou et al., 2022b) avec le passage de l'exploitation domestique à l'exploitation commerciale (Ghimire, 2008). Depuis l'autorisation de l'introduction de la consommation humaine des fruits (pulpe) de baobab en Europe comme aliment de nouvelle génération (Vassiliou, 2008), la vente des fruits de baobab est devenue internationale avec l'exportation et la commercialisation de la pulpe de ses fruits. Cette activité permet d'augmenter

¹ Laboratoire de Botanique et écologie végétale, Département de Botanique, Université de Lomé, Togo

les revenus économiques des pays exportateurs des fruits de cette plante et de réduire la pauvreté au sein des populations (Lybbert *et al.*, 2002).

Au Togo, le baobab africain (*A. digitata*) est l'une des espèces de l'agroforesterie traditionnelle conservée pour ses différents produits forestiers non ligneux. Les feuilles, les fruits et ses sous-produits (pulpe, graines amandes et fibres), l'écorce, les racines sont récoltés pour être utilisés dans les ménages au quotidien à des fins alimentaire, médicinale, cosmétique et font objet de commercialisation dans les marchés (Kebenzikato *et al.*, 2015). Au fil du temps, la consommation et la commercialisation des feuilles et de la pulpe prennent de l'ampleur. L'exploitation de différentes parties de l'espèce qui jadis était réservée aux populations du centre et du nord du pays, est aujourd'hui répandue à travers tout le pays à cause de biens faits (nutritionnel, médicinal, financier, etc.) (De Caluwé *et al.*, 2010; Russo *et al.*, 2019; Konanm *et al.*, 2022).

Malgré le développement du marché de ces produits au Togo, leur valeur économique, le mode et le circuit de commercialisation ne sont pas caractérisés. Il en est de même pour les acteurs impliqués dans la production et la commercialisation. La présente étude vise à déterminer la valeur économique des produits dérivés du baobab au Togo. Il s'agit spécifiquement de: (i) déterminer les modes de commercialisation des produits dérivés du baobab et (ii) évaluer la valeur économique engendrée par la commercialisation de ses produits dérivés dans le pays.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Généralités sur le Togo

Le Togo est un pays situé sur la côte ouest-africaine avec une superficie de 56 600 km². Il est habité par une quarantaine d'ethnies qui se répartissent en trois grands groupes ethniques principaux: le groupe Adja-Ewé au Sud, le groupe para-Gourma au Nord et le groupe Kabyè-Tem au Centre (Kuevi, 1981). En 2010, sa population était de 6 191 155 habitants (65 % en milieu rural) contre 8 095 498 habitants en 2022 (57% en milieu rural) (DGSCN, 2011; INSEED, 2022). Le relief est marqué par la chaîne de montagnes de l'Atakora qui prend en écharpe le pays du Sud-Ouest au Nord-Est.

Sur le plan phytogéographique, le Togo est subdivisé en cinq zones écologiques (Ern, 1979): I, II, III, IV et V représentées respectivement par les plaines du Nord, les montagnes du Nord, les plaines du Centre, la section méridionale des monts du Togo, la plaine côtière du Sud Togo. Au plan administratif et économique, le Togo est subdivisé en cinq (5) régions administratives/économiques du nord au sud: Savanes, Kara, Centrale, Plateaux et Maritime (Figure 1). Le climat est de type soudanien au nord de 8° latitude Nord et de type guinéen au Sud. Le réseau hydrographique se subdivise en trois bassins principaux: au nord, le bassin de la Volta qui par l'intermédiaire du fleuve Oti, collecte les eaux du Koumongou, de la Kara et du Mô; au centre, le bassin du Mono et au Sud, le groupe des rivières côtières (Zio et Haho) qui se jettent dans le lac Togo.

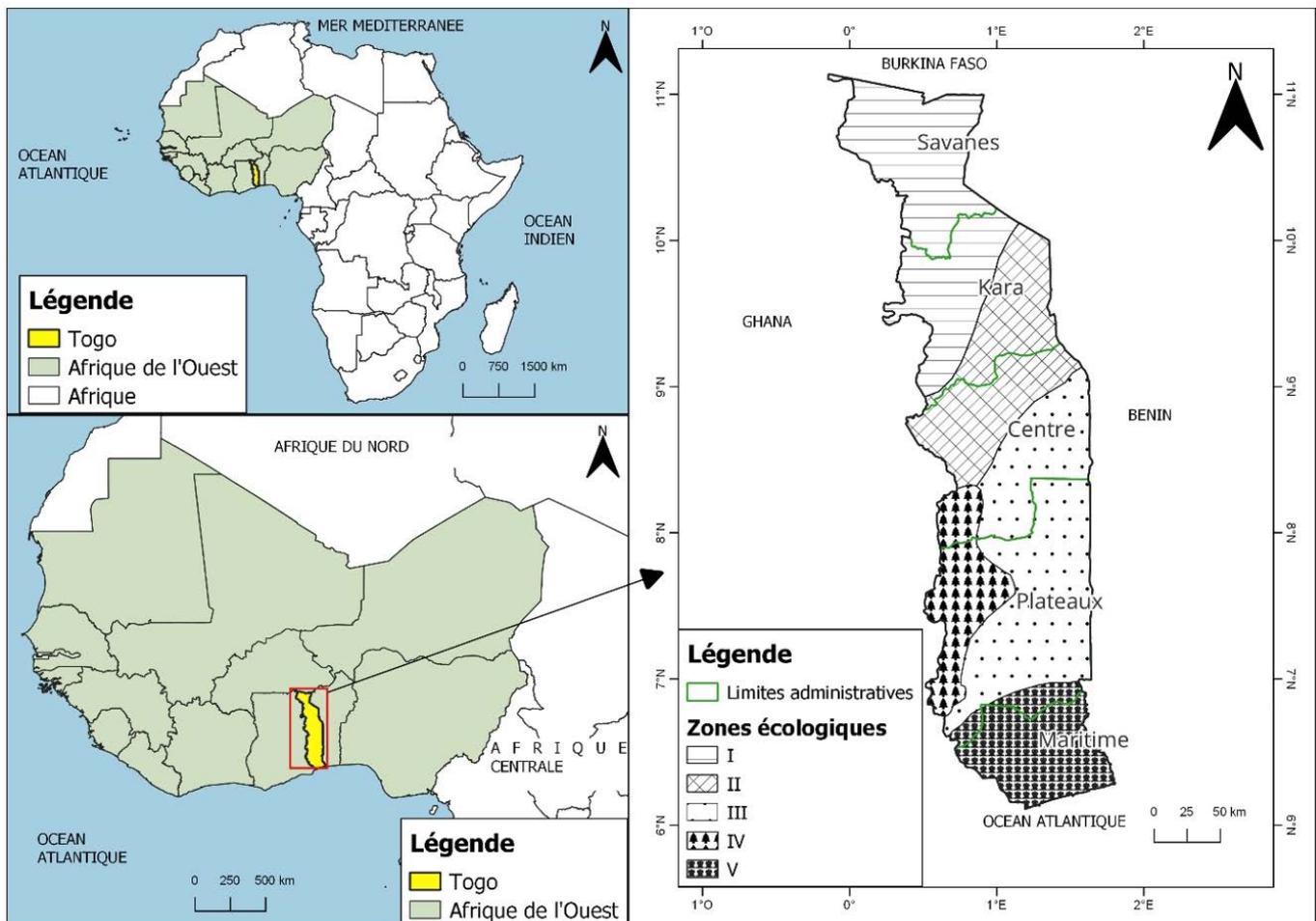


Figure 1: Localisation du Togo en Afrique de l'Ouest et subdivisions administratives (Atakpama *et al.*, 2022a)

Collecte des données

Les données ont été collectées à travers les enquêtes semi-structurées par entretiens individuels et les focus groups (Samarou *et al.*, 2021). Trois niveaux de stratification ont été retenus (Atato *et al.*, 2012; Pereki *et al.*, 2012; Atakpama *et al.*, 2015): les cinq régions économiques constituent le premier niveau, les ethnies, le deuxième niveau et les villages le troisième niveau. Les localités ont été choisies sous forme des grappes en tenant compte de l'existence des marchés de commercialisation des sous-produits du baobab. Les enquêtes ont été précédées de l'obtention de l'accord des autorités locales en leur exposant l'objectif de l'étude, puis les enquêtés ont été choisis de façon aléatoire (Pedanou *et al.*, 2022). Les enquêtes ont été réalisées au sein de 134 ménages et 105 marchés, dont 39 marchés urbains. Au total, 690 répondants appartenant à 16 ethnies ont été enquêtés. Les ethnies aux effectifs les plus élevés ont été les Kabyè (28,0 %), les Moba (11,7 %) et les Tem (11,3 %). La majorité des répondants ont 50 ans révolus (51,9 %) et sont pour la plupart illettrés.

Les informations recherchées sont entre autres: les types de sous-produits de *A. digitata* vendus, les prix de vente pendant les périodes d'abondance et de pénurie, les acteurs de commercialisation (Samarou *et al.*, 2022a). Les produits vendus (en bol, sachet, tas et gerbe) ont été achetés puis pesés à l'aide d'une balance électronique de portée 5 kg et de sensibilité 1 g.

Traitement des données

Le tableur Microsoft Excel® 2010 a été utilisé pour la saisie et la codification des données. Les informations relatives aux différents acteurs de la filière ont été analysées afin de ressortir les modes et les circuits de commercialisation (Samarou *et al.*, 2022a) des produits dérivés de *A. digitata*. De même, les traitements des données ont consisté en une analyse statistique descriptive et en des analyses multivariées. L'estimation de la valeur économique moyenne annuelle engendrée par la commercialisation des produits pour un arbre est faite en prenant en compte les quantités produites d'une part, la valeur en poids et les prix des unités de mesure pour la vente d'autre part. Sur cette base, la valeur économique (en F CFA) moyenne annuelle en fruits, en pulpe, en graine et en amande produits par arbre a été déterminée. La détermination du poids (kg) en fruits (sans transformation) et de celui de ses sous-produits en graines, en amande et en pulpe et prenant en compte le prix moyen par kilogramme de ces produits pour un pied de *A. digitata* a été faite. Les tests statistiques (test de Fisher) de différentes valeurs ont été réalisés à l'aide du logiciel Minitab 16. Ces tests ont permis de déterminer si les variations des valeurs calculées sont significatives ou non.

RÉSULTATS

Produits dérivés de *A. digitata* commercialisés au Togo

On distingue 7 sous-produits du baobab fréquemment vendus sur les marchés. Les feuilles vendues sous formes fraîches et séchées constituent les sous-produits les plus vendus sur le marché (55 %). En plus des feuilles, on distingue par ordre d'importance: les amandes (22 %), la pulpe (15 %), les graines (8 %) et les graines pulpées (Figure 2).

Commercialisation des sous-produits de *A. digitata* suivant les régions

L'importance de la vente des sous-produits du baobab varie selon les régions économiques et le type de produit (Figure 3). Les feuilles occupent la plus grande proportion des sous-produits commercialisés dans toutes les régions. Elles sont plus vendues dans la région des Savanes (61,3 %), suivie de la région Maritime (57,3 %) et la région Centrale (53,2 %). Elles sont moyennement vendues dans la région des Plateaux (48,1 %). La région de la Kara est celle où les feuilles sont faiblement commercialisées (38,6 %).

Les amandes sont le second produit le plus commercialisé. Elles sont plus commercialisées dans les régions Maritime (30,9 %) et de la Kara (20,7 %) et moyennement dans les régions Centrale (17,7 %) et des Plateaux (17,0 %). Les plus faibles proportions se retrouvent dans la région des Savanes (4,76 %).

La pulpe est le troisième produit le plus commercialisé sur les marchés. Elle est plus vendue dans les régions des Plateaux (19,4 %) et de la Kara (19,1 %) et moyennement dans les régions des Savanes (14,3 %) et Centrale (13,9 %). De très faibles quantités de pulpe ont été trouvées dans la région Maritime (7,35 %).

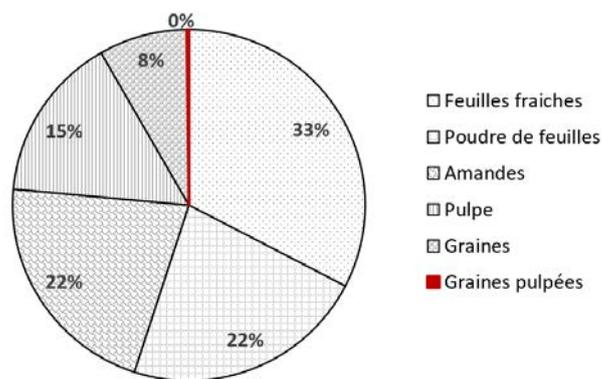


Figure 2: Principaux sous-produits dérivés du baobab vendus au Togo

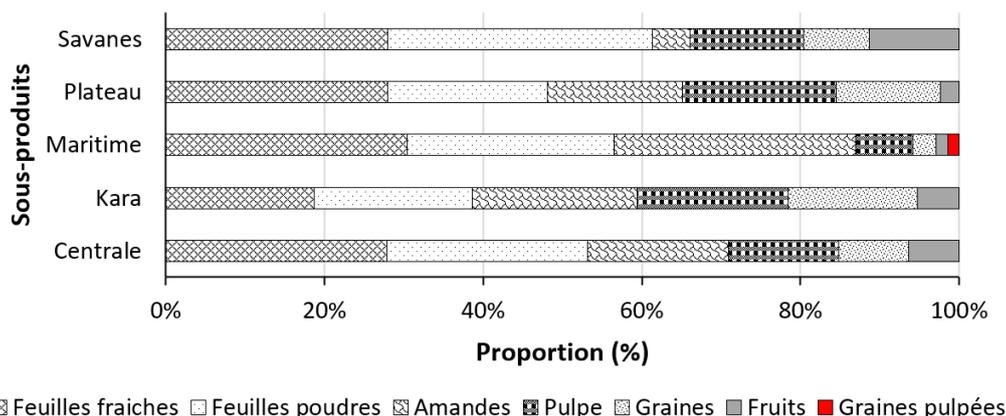


Figure 3: Proportion des sous-produits de baobab vendus en fonction des régions économiques du Togo

Les fruits entiers sont plus vendus dans la région des Savanes (11,3 %) et faiblement commercialisés dans toutes les autres régions (1,47 à 6,33 %). Contrairement aux fruits entiers, les graines sont plus commercialisées dans la région de la Kara (16,3 %), moyennement dans les régions des Plateaux (13,2%); faiblement au sein des régions Centrale (8,86%) et Savanes (8,33 %) et très faiblement dans la région Maritime (2,94%). Les graines pulpées (non débarrassées de la pulpe) sont très faiblement commercialisées au Togo (1,47 % dans la Maritime et 0 % dans les autres régions).

Commercialisation des produits de *A. digitata*

La commercialisation des sous-produits du baobab varie selon les ethnies (Figure 4). Les feuilles fraîches et sèches, suivies des amandes et de la pulpe sont les sous-produits les plus vendus dans toutes les ethnies. Les Ewé sont de loin l’ethnie commercialisant plus de feuilles fraîches (52,0 %) suivies des Kpéssi (33,3 %), les Moba (33,3 %), les Gourma (30,6 %), les Ifè (30,0 %) et les Akposso (30,0 %). Les feuilles séchées sont commercialisées principalement par les Tchokossi (61,5 %) et les Tem (40,3 %), suivies des Moba, les Akposso, les Gourma, les Bassar et les Peuhls. Les amandes sont plus vendues par les Tem (33,3 %), les Tchokossi (30,8 %) et les Kabyè (24,0 %). La pulpe est plus commercialisée par les Nawdba (21,1 %), les Lamba

(21,1 %), les Ifè (20,0 %), les Akposso (20,0 %), les Tamberma (18,5 %), les Kabyè (18,4 %) et les Peuhls (18,2 %) et très faiblement commercialisée chez les Ewé (4,0 %) et les Tem (5,26 %). Les fruits vendus par les Ngangam (12,5 %), les Moba (12,3 %), les Gourma (12,2 %), les Tamberma (11,1 %) et les Konkomba (10,5 %). Les graines sont commercialisées par les Peuhls (18,2 %), les Nawdba (17,3 %), les Kpéssi (16,7 %), les Konkomba (16,7 %), les Kabyè (15,2 %), les Tamberma (14,8 %), les Lamba (14,7 %), les Ngangam (12,5 %), les Bassar (11,1 %), les Gourma (10,2 %) et les Ifè (10,0 %).

L’indice de similarité réalisé sur la base des sous-produits vendus par les différentes ethnies rencontrées est présenté sous forme de dendrogramme sur la figure 5. Les ethnies qui se distinguent des autres sont principalement: les Tem, les Tchokossi et les Ewé. Les Ewé se distinguent par la vente des graines pulpées. Tous les sous-produits à valeurs commerciales se retrouvent auprès des répondants de cette ethnie. La vente de la pulpe se retrouve dans tous les groupes ethniques à l’exception des Tchokossi. C’est l’ethnie ayant le moins de sous-produits vendus: seules les amandes, les graines et la poudre des feuilles y ont été recensées. La vente des fruits, des graines et des graines pulpées ne se retrouve pas chez les Tem.

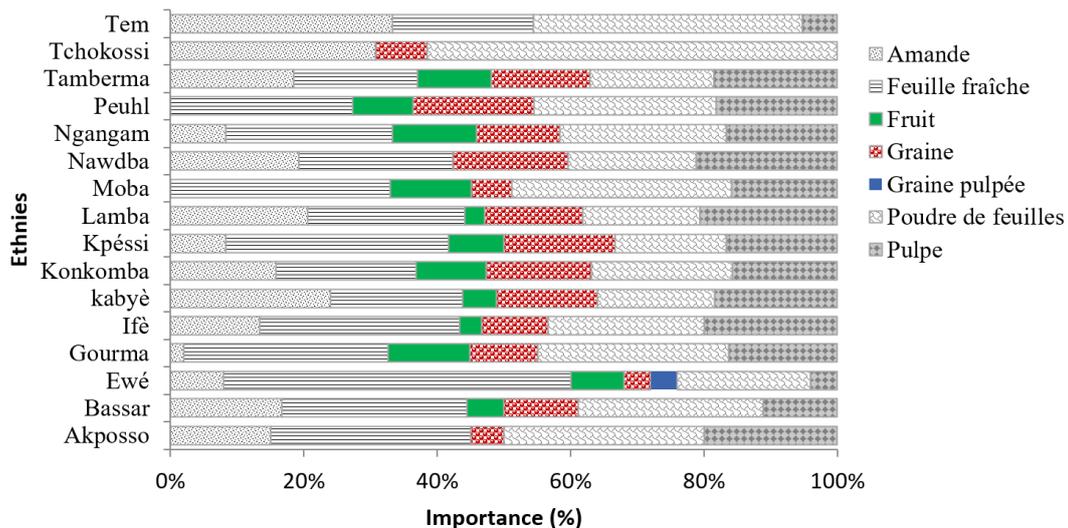


Figure 4: Proportion de la commercialisation des produits de *A. digitata* par les ethnies

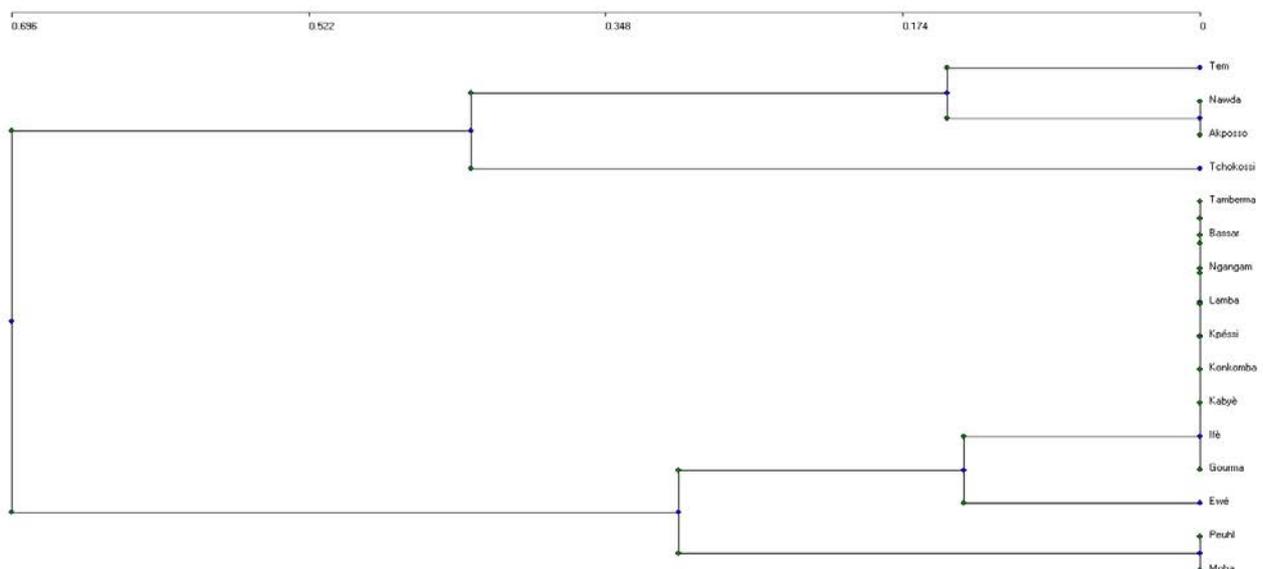


Figure 5: Similarité des groupes ethniques suivant les sous-produits commercialisés

Mode et circuit de commercialisation des produits dérivés de *A. digitata*

Le mode de commercialisation de différents produits dérivés de *A. digitata* se fait par une unité de mesure (Figure 6e) appelée communément le «bol» pour les graines (2 500 g/bol), les amandes (2 100 g/bol), les feuilles sèches transformées en poudre (1 600 g/bol) et pour la pulpe (1 500 g/bol). Les graines, les amandes et les feuilles sèches concassées sont vendues par bol par les grossistes. Ces sous-produits sont vendus ou revendus avec le petit bol (1/4 de bol) appelé communément «agbanvi» en Ewé, en petit tas pour les graines et les amandes dans les marchés locaux, en sachet et avec les petites boîtes de conserve de tomate pour les feuilles sèches concassées et moulues et pour la pulpe. Les feuilles fraîches sont commercialisées en tas (Figure 6a) ou attachées sous forme de gerbe tandis que les fruits entiers sont commercialisés en tas ou par

unité (Figure 6d). La pulpe a un champ de vente beaucoup plus grand et elle fait objet de commerce local dans les marchés ruraux, nationaux à travers les marchés de grandes villes du pays. La transaction de la pulpe de *A. digitata* s'observe au niveau régional avec les pays voisins et au niveau international par les marchés européens et américains où elle est transformée en plusieurs sous-produits comme boissons énergisantes (Figure 6g), sous forme de confitures (Figure 6h).

Le circuit de commercialisation commence dans les marchés ruraux des localités de production où les commerçantes de grandes villes du pays viennent se ravitailler en période d'abondance à des prix relativement plus bas. Ces dernières les revendent sur les marchés des villes du pays à des prix plus élevés aux populations et aux commerçantes des pays voisins (Bénin, Ghana, Burkina Faso). Il est parfois observé sur les marchés locaux, les commerçantes de ces pays voisins venir s'approvisionner directement.

Variation des prix de commercialisation des produits de *A. digitata* selon les régions

Le bol est l'unité de mesure pour les amandes, les graines, la pulpe et la poudre de feuille d'une part et le tas ou la gerbe pour les feuilles fraîches d'autre part. Le prix des sous-produits du baobab varie significativement entre la période d'abondance (mois de décembre à février pour les fruits et ses dérivés et pendant la période des pluies pour les feuilles) et la période de pénurie. Ces variations diffèrent d'une région à une autre et d'un produit à un autre (Tableau 1). Que ce soit dans la période d'abondance ou de pénurie, les amandes ont plus coûté dans les régions Maritime, Savanes et Plateaux respectivement. Cette tendance reste identique pour la poudre des feuilles et pour la pulpe. Les graines restent le moins chères dans la région Maritime. Par contre, les feuilles fraîches sont plus chères dans la même région que les autres régions du pays. Au sein d'une même région et pour le même produit, les prix varient également en fonction des marchés pour les mêmes périodes.

L'analyse statistique des données montre que le prix moyen des sous-produits du baobab varie significativement entre la période d'abondance et celle de pénurie (Tableau 2). La période d'abondance d'un sous-produit correspond généralement au moment de la récolte de l'organe pourvoyeur. La période d'abondance des feuilles et de leur produit dérivé (poudre de feuilles) coïncide avec la période de la saison pluvieuse et celle des fruits et de ses produits dérivés (pulpe, graines pulpées) coïncide avec celle de la saison sèche (décembre à février), période de récolte des fruits. Le



Figure 6: Mode de vente des produits et sous-produits de *A. digitata*

a- Feuilles fraîches vendues en tas; b- feuilles sèches; c- Poudre de feuilles vendue en sachet; d- Fruits vendus en tas; e- pulpe vendue en bol (1600 g); f- amandes des graines vendues en sachet; g- boisson à base de la pulpe de baobab; h- confiture à base de la pulpe de baobab

Tableau 2: Prix moyens (F CFA) des produits de *A. digitata* pendant les périodes d'abondance et de pénurie

Produits	Prix moyen* en période d'abondance	Prix moyen* en période de pénurie	Prix moyen* annuel
Amande	1016 ± 363	1365 ± 405	1191 ± 384
Feuille fraîche	43 ± 75	79 ± 116	61 ± 96
Fruit	25 ± 9	47 ± 31	36 ± 20
Graine	196 ± 50	321 ± 440	259 ± 245
Grain pulpé	150 ± 0	400 ± 0	275 ± 0
Poudre de feuille	431 ± 108	632 ± 176	532 ± 142
Pulpe	420 ± 542	606 ± 509	513 ± 526

* = Équivalent en poids du bol pour: amande 2 100 g, graine (2 500 g), poudre de feuille (1600 g) et pulpe (1500 g); fruit (356 g); tas (250 g) ou gerbe (250 g) pour feuille fraîche

prix des produits est plus bas dans les zones de production (milieux ruraux) et croît vers les villes moyennes et les grandes villes. Les sous-produits qui étaient vendus à un prix relativement moins cher pendant la période d'abondance, sont vendus beaucoup plus cher dans la période de pénurie. Le taux d'augmentation est de 27,6 %; 105,9 %; 185,2 %; 53,3 %; 166,7 %; 67,4 % et 60,6 % respectivement pour les amandes, les feuilles fraîches, les fruits, les graines, les graines pulpées, la poudre de feuille et la pulpe.

Valeur économique moyenne annuelle issue de la commercialisation des fruits par un pied de *A. digitata*

La vente des fruits (sans transformation) et de celui de ses produits dérivés (graines, amande et pulpe) en prenant en compte le prix moyen par kilogramme pour un pied de *A. digitata* (Tableau 3) est de: 116 958; 47 424; 74 277 et 95 076 respectivement. Il est préférable aux producteurs de fruits de les vendre sous forme transformée en pulpe et amande (169 353 F CFA) (Tableau 4).

Tableau 1: Variation des prix (F CFA) des produits selon les régions

Régions	Produits	Prix moyen* en période d'abondance	Prix moyen* en période de pénurie	Prix moyen* annuel
Centrale	Amande	739 ± 121	1107 ± 259	923 ± 190
	Feuille fraîche	24 ± 3	50 ± 5	38 ± 4
	Fruit	25 ± 0	25 ± 0	25 ± 0
	Graines	228 ± 49	292 ± 98	260 ± 74
	Poudre de feuille	400 ± 0	700 ± 0	370 ± 0
	Pulpe	336 ± 112	490 ± 139	1056 ± 409
Kara	Amande	887 ± 375	1225 ± 442	1056 ± 409
	Feuille fraîche	33 ± 16	69 ± 31	51 ± 24
	Fruit	26 ± 7	57 ± 49	42 ± 28
	Graine	172 ± 37	232 ± 48	202 ± 43
	Poudre de feuille	390 ± 26	645 ± 91	518 ± 59
	Pulpe	403 ± 145	603 ± 181	503 ± 163
Maritime	Amande	1254 ± 282	1666 ± 208	1460 ± 245
	Feuille fraîche	160 ± 174	282 ± 247	221 ± 211
	Fruit	25 ± 0	50 ± 0	38 ± 0
	Graine	150 ± 25	200 ± 50	175 ± 38
	Graine pulpée	150 ± 50	400 ± 150	275 ± 0
	Poudre de feuille	569 ± 266	819 ± 343	694 ± 305
Plateaux	Amande	1177 ± 272	1500 ± 296	1339 ± 284
	Feuille fraîche	23 ± 5	31 ± 11	27 ± 8
	Fruit	13 ± 10	28 ± 20	21 ± 15
	Graine	235 ± 55	300 ± 100	268 ± 78
	Poudre de feuille	425 ± 38	526 ± 45	476 ± 42
	Pulpe	406 ± 214	548 ± 322	477 ± 268
Savanes	Amande	1250 ± 307	1550 ± 389	1400 ± 348
	Feuille fraîche	23 ± 5	47 ± 20	35 ± 13
	Fruit	24 ± 11	48 ± 18	36 ± 15
	Graine	201 ± 44	257 ± 43	229 ± 44
	Poudre de feuille	436 ± 68	583 ± 170	510 ± 119
	Pulpe	483 ± 76	679 ± 110	581 ± 93

* = Équivalent en poids du bol pour: amande (2100 g), graine (2500 g), poudre de feuille (1600 g) et pulpe (1500 g); fruit (356 g); tas (250 g) ou gerbe (250 g) pour les feuilles fraîches

Tableau 3: Valeur en F CFA par kg des produits et sous-produits de fruits de *A. digitata*

Produits	Prix moyen en période d'abondance	Prix moyen en période de pénurie	Prix moyen annuel
Fruit	70 ± 25	132 ± 87	101 ± 56
Graine	78 ± 20	128 ± 176	104 ± 98
Amande	484 ± 173	650 ± 193	567 ± 183
Pulpe	280 ± 361	404 ± 339	342 ± 351

Tableau 4: Valeur économique moyenne en F CFA engendrée par la production fruitière d'un pied de *A. digitata*

Produit	Quantité produite (kg)	Valeur moyenne (période d'abondance)	Valeur moyenne (période de pénurie)	Valeur moyenne annuelle
Fruit	1158 ± 749	81 060	152 856	116 958
Graine	456 ± 343	35 568	58 368	47 424
Amande	131 ± 94	63 404	85 150	74 277
Pulpe	278 ± 197	77 840	112 312	95 076

DISCUSSION

Plusieurs travaux ont illustré l'importance du commerce des produits issus des fruitiers sauvages ou domestiqués pour les groupes socioculturels (Codjia *et al.*, 2003; Atato *et al.*, 2019; Samarou *et al.*, 2022a). En Afrique de l'ouest, les produits de baobab jouent un rôle important dans les marchés locaux (Shackleton *et al.*, 2007; Assogbadjo *et al.*, 2008).

La présente étude ressort la valeur économique des sous-produits du baobab au Togo. La variation des prix est fonction des périodes d'abondance et de pénurie. La pulpe est le sous-produit du baobab qui présente le plus fort potentiel économique au Togo suivi de l'amande. Ce résultat est similaire à celui trouvé par Diop *et al.* (2005) qui ont montré que la pulpe du fruit du baobab présente le plus fort potentiel économique. Au Mali, la pulpe du fruit de baobab est l'un des produits forestiers non ligneux ayant plus de valeur économique atteignant quelquefois 10 fois le prix du petit mil (Gustad *et al.*, 2004).

Les considérations culturelles et les habitudes alimentaires affectent les modes d'utilisation des sous-produits du baobab (Kebenzikato *et al.*, 2006). Les considérations culturelles expliqueraient aussi la valeur commerciale des amandes chez les Tém, les Tchokossi, les Kabyè, les Lamba et les Nawdba qui sont toutes consommatrices de l'amande. En dehors du facteur culturel, les considérations sociales y interviennent. Les produits et dérivées de baobab étaient considérés autrefois dans la partie méridionale du Togo comme un aliment du pauvre. La commercialisation de ces sous-produits n'a pris d'essor que récemment. Cette observation est comparable aux études de Bationo *et al.* (2010) qui ont démontré la fonction socioculturelle du baobab au Burkina Faso.

Les produits dérivés du baobab contribuent à l'économie de petits agriculteurs en leur procurant de revenus non négligeables à travers la commercialisation de leurs produits. Selon Gockowski et Ndoumbé (2004), le commerce des feuilles contribue à l'équilibre nutritionnel et procure de revenus. Au Togo, la production moyenne en fruits d'un pied de *A. digitata* génère en valeur économique 116 958 F CFA en fruits sans être transformés, mais lorsque le producteur décide de les transformer, il obtient 95 076 F CFA en pulpe, 47 424 F CFA en graines qui transformées en amandes, génèrent 74 277 F CFA. Un pied de *A. digitata* ayant produit des fruits, génère en moyenne 116 958 F CFA en fruits sans être transformés, mais transformés, ils génèrent 169 353 F CFA en pulpe et en amande ou 142 500 F CFA en pulpe et en graines. Ces résultats se rapprochent de ceux d'Assogbadjo (2006) au Bénin où, 200 tonnes de graines pulpées, 10 tonnes de pulpe et une tonne de feuilles génèrent jusqu'à 15 millions F CFA; 400 000 F CFA et 200 000 F CFA respectivement pour les acteurs de cette filière. De même, les travaux d'Alioune *et al.* (2018) révèlent que la pulpe du fruit de baobab aurait le potentiel d'engendrer un milliard de dollars à l'Afrique, chaque année malgré l'impact du changement climatique sur la distribution du baobab.

La commercialisation de ces sous-produits forestiers est généralement caractérisée par de circuits courts (Fleury *et al.*, 2003). Que ce soit en période de pénurie ou d'abondance, le circuit de commercialisation des produits et dérivées de baobab est caractérisé par le circuit indirect avec présence

d'intermédiaires entre producteurs et consommateurs. Ceci est confirmé par Dourma *et al.* (2018) et Samarou *et al.* (2022a) qui soulignent que l'intervention des différents intermédiaires est le témoin d'un réel engouement suscité par l'exploitation des PFNL. Il est alors évident que le marché des sous-produits du baobab soit classé dans le type oligopsonne d'après Albertini *et al.* (1992). Le type oligopsonne est caractérisé par la gouvernance des prix par un petit nombre d'acheteurs qui est face à un grand nombre de vendeurs. Ce type de marché a pour conséquence de limiter la capacité de production des acteurs malgré l'existence d'un potentiel de ressources inexploitées.

De nos jours, l'on remarque la non-prise en compte de ces produits dans les différents programmes nationaux. Cependant, des efforts considérables sont faits concernant l'intégration des produits de baobab dans l'espace commercial européen (Buchmann *et al.*, 2010). Un tel type de commerce vers l'espace européen pourrait créer des opportunités d'emplois tant en milieu rural qu'urbain. Ce qui élargirait les filières de commercialisation des produits de baobab.

CONCLUSION

La présente étude s'est intéressée à la commercialisation des sous-produits dérivés de *A. digitata* au Togo. Les résultats obtenus illustrent que le commerce des produits et dérivées de baobab est pratiqué par les femmes qui sont les principales actrices. Les prix varient en fonction des périodes, de la disponibilité de la ressource et du lieu. Les feuilles, la pulpe et les amandes ont plus de valeur économique. Le circuit de commercialisation des sous-produits du baobab est caractérisé par l'exercice des activités informelles avec des intermédiaires entre les producteurs et les consommateurs finaux. La filière des produits issus du baobab a un potentiel économique non négligeable pour les ménages. La fréquence de la commercialisation de différents produits de *A. digitata* varie selon les ethnies et selon la nature des produits. Ainsi, la fréquence de vente des feuilles fraîches et sèches est beaucoup plus élevée dans toutes les ethnies suivies des amandes et de la pulpe. En vue d'assurer une meilleure gestion et valorisation du baobab, il est nécessaire de prendre en compte l'espèce dans les programmes de plantation des espèces ligneuses au Togo.

RÉFÉRENCES

- Agbogon A., Tozo K., Wala K., Bellefontaine R., Dourma M., Akpavi S., Woegan Y.A., Dimobe K., Akpagana K. (2015). Structure des populations de *Sclerocarya birrea*, *Lannea microcarpa* et *Haematostaphis barteri* au nord du Togo. *J. Anim. Plant Sci.*, 25: 3871-3886.
- Albertini J.M., Silem A., Auvolat M. (1992). Lexique d'économie. Dalloz.
- Aleza K., Wala K., Bayala J., Villamor G.B., Dourma M., Atakpama W., Akpagana K. (2015). Population structure and regeneration status of *Vitellaria paradoxa* (C. F. Gaertner) under different land management regimes in Atacora department, Benin. *Agroforest. Syst.*, 89: 511-523.
- Alioune S., Cisse M.L., Ayessou N.C., Sakho M., Diop C.G.M. (2018). Le baobab (*Adansonia digitata* L.) : Taxonomie, importance socio-économique et variabilité des caractéristiques physico-chimiques. *Int. J. Inn. Sci. Res.*, 39: 12-23.
- Assogbadjo A.E. (2006). Importance socio-économique et étude de la variabilité écologique, morphologique, génétique et biochimique du baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. Ghent University, Belgique.

- Assogbadjo A.E., Kakai R.G., Chadare F., Thomson L., Kyndt T., Sinsin B., Van Damme P. (2008). Folk classification, perception, and preferences of baobab products in West Africa: consequences for species conservation and improvement. *Econ. Bot.*, 62: 74-84.
- Atakpama W., Abalo-Sama G.J., Egbelou H., Gouwakinnou G.N., Dimobe K., Samarou M., Batawila K., Akpagana K. (2022a). Potentielle aire de culture du karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Geartn spp. *paradoxa*) au Togo. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 28: 31-45.
- Atakpama W., Atoemne K., Egbelou H., Patakale E., Batawila K., Akpagana K. (2022b). Distribution et démographie des parcs à rôniers dans la Région des Savanes du Togo. *AJLP-GS*, 5: 290-302.
- Atakpama W., Batawila K., Gnamkoulamba A., Akpagana K. (2015). Quantitative approach of *Sterculia setigera* Del. (Sterculiaceae) ethnobotanical uses among rural communities in Togo (West Africa). *Eth. Res. Appl.*, 14: 065-080.
- Atato A., Wala K., Dourma M., Bellefontaine R., Woegan Y.A., Batawila K., Akpagana K. (2012). Espèces lianescentes à fruits comestibles du Togo. *Fruits*, 67: 353-368.
- Atato A., Woegan Y.A., Dourma M., Gouwakinnou G.N., Wala K., Natta A.K., Batawila K., Akpagana K. (2019). Connaissance, usage et importance socio-économique des espèces fruitières ligneuses du Togo. *L'ogbowu, Revue des Lettres, Langues et Sciences de l'Homme et de la Société*, 8: 377-399.
- Augusseau X., Nikiéma P., Torquebiau E. (2006). Tree biodiversity, land dynamics and farmers' strategies on the agricultural frontier of southwestern Burkina Faso. *Biodiv. Conserv.*, 15: 613-630.
- Avocèvou-Ayisso C., Sinsin B., Adégbidi A., Dossou G., Van Damme P. (2009). Sustainable use of non-timber forest products: Impact of fruit harvesting on *Pentadesma butyracea* regeneration and financial analysis of its products trade in Benin. *For. Ecol. Manag.*, 257: 1930-1938.
- Bationo B.A., Maiga A., Compaore P., Kalinganire A. (2010). Dimension socioculturelle du baobab *Adansonia digitata* L. dans le Plateau central du Burkina Faso. *BFT*, 306: 23-32.
- Buchmann C., Prehler S., Hartl A., Vogl C.R. (2010). The importance of baobab (*Adansonia digitata* L.) in rural West African subsistence-suggestion of a cautionary approach to international market export of baobab fruits. *Ecol. Food Nut.*, 49: 145-172.
- Codjia J.T.C., Assogbadjo A.E., Ekué M.R.M. (2003). Diversité et valorisation au niveau local des ressources végétales forestières alimentaires du Bénin. *Cah. Agri.*, 12: 321-331.
- De Caluwé E., Halamová K., Van Damme P. (2010). *Adansonia digitata* L.-A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Afrika Focus*, 23: 11-51.
- DGSCN (2011). Quatrième Recensement général de la population et de l'habitat - Novembre 2010. République Togolaise/Ministère auprès du Président de la République, Chargé de la Planification, du Développement et de l'Aménagement du Territoire, Togo.
- Diop A.G., Sakho M., Dornier M., Cisse M., Reynes M. (2005). Le baobab africain (*Adansonia digitata* L.): principales caractéristiques et utilisations. *Fruits*, 61: 55-69.
- Dourma M., Gbandi T., Woegan Y., Batawila K., Akpagana K. (2018). Les produits forestiers non ligneux de la région de Kara au Togo: Usages, filières et circuits de commercialisation. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé*, 20: 115-133.
- Ern H. (1979). Die Vegetation Togos, Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. *Willdenowia*, 9: 295-315.
- Fleury A., Moustier P., Toiron J. (2003). Multifonctionnalités de l'agriculture dans les territoires périurbains: diversité des formes d'exercice du métier d'agriculteur, insertions de l'agriculture dans l'aménagement des territoires.
- Folega F., Atakpama W., Kanda M., Wala K., Batawila K., Akpagana K. (2019). Agroforestry parklands and carbon sequestration in tropical Sudanese region of Togo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 7: 563-570.
- Garba A., Amani A., Douma S., Sina A.K.S., Mahamane A. (2020). Structure des populations de *Tamarindus indica* L. dans la zone Sud-Ouest du Niger. *IJBACS*, 14: 126-142.
- Ghimire S. (2008). Medicinal plants in the Nepal Himalaya: current issues, sustainable harvesting, knowledge gaps and research priorities. *Med. Plants Nepal: Anth. Cont. Res.*: 25-42.
- Gockowski J., Ndoumbé M. (2004). The adoption of intensive monocrop horticulture in southern Cameroon. *Agri. Econ.*, 30: 195-202.
- Goudegnon E.O., Gouwakinnou G.N., Houessou L.G., Oumourou M. (2016). Fruit and pulp production of the African grape *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause from dry and humid Sudanian zone in Northern Bénin, West Africa. *IJBACS*, 10: 1114-1121.
- Gustad G., Dhillon S.S., Sidibé D. (2004). Local use and cultural and economic value of products from trees in the parklands of the municipality of Cinzana, Mali. *Econ. Bot.*, 58: 578-587.
- INSEED (2022). 5^{ème} recensement général de la population et de l'habitat (RGPH-5), Ministère de la Planification du Développement et de la Coopération, Lomé, Togo.
- Kebezikato A., Akpavi S., Batawila K., Wala K., Dourma M., Kossi-Titrikou K., Amouzou K., Butare I., Dantsey-Barry H., Akpagana K. (2006). Contribution à l'étude des plantes alimentaires mineures dans la préfecture de Dankpen (Togo). *J. Rech. Sci. Univ. Lomé*, 8: 29-38.
- Kebezikato A.B., Wala K., Atakpama W., Dourma M., Woégan Y.A., Dimobé K., Batawila K., Akpagana K. (2015). Connaissances ethnobotaniques du baobab (*Adansonia digitata* L.) au Togo. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 19: 246-260.
- Kebezikato A.B., Wala K., Dourma M., Atakpama W., Dimobe K., Pereki H., Batawila K., Akpagana K. (2014). Distribution et structure des parcs à *Adansonia digitata* L. (Baobab) au Togo. *Afrique Sci.*, 10: 434-449.
- Konam G.A.J., Kouassim K.N., Yao K., N'Dri Y.D., Amani N.G.G. (2022). Local Foods Based on Baobab Pulp (*Adansonia digitata* L.) Consumed in Savannah Areas of Northern Côte d'Ivoire. *Asian J. Biotech. Biores. Tech.*, 8: 10-25.
- Kuevi D. (1981). Ethnies et langues Les Atlas Jeune Afrique-Togo. p 22-23, Paris.
- Lybber T.J., Barrett C.B., Narjisse H. (2002). Market-based conservation and local benefits: the case of argan oil in Morocco. *Ecol. Econ.*, 41: 125-144.
- Matig O.E., Ndoye O., Kengue J., Awono A. (2006). Les fruitiers forestiers comestibles du Cameroun. Bioversity International.
- Nabede A., Sina H., Souho T., Mamatchi M., Bade F.T., Baba-Moussa F. (2022). Ethnobotanical and Socio-economic Value of *Blighia sapida* (KD Koenig) in Togo. *Asian Plant Res. J.*, 9: 32-39.
- Patakale E., Dourma M., Atakpama W., Wala K., Guelly K.A., Akpagana K. (2018). *Parkia biglobosa* jacq. Dong: une espèce agroforestière à usages multiples dans la zone soudanienne au Togo. *RAMReS-Sciences Humaines*, 10: 403-421.
- Pedanou B.K., Atakpama W., Noundja L., Batawila K., Akpagana K. (2022). Ethnomédecine et santé bovine dans la préfecture d'Anié au Togo. *Rev. Écosyst. Pays. (Togo)*, 1: 98-108.
- Pereki H., Batawila K., Wala K., Dourma M., Akpavi S., Akpagana K., Gbeassor M., Ansel J-L. (2012). Botanical Assessment of Forest Genetic Resources Used in Traditional Cosmetic in Togo (West Africa). *J. Life Sci.*, 6: 931-938.
- Russo M., Ronci M.B., Vilmercati A., Gionfriddo M., Fanali C., Dugo L., Locato V., Mondello L., De Gara L. (2019). African baobab (*Adansonia digitata*) fruit as promising source of procyanidins. *European Food Research and Technology*, 246: 297-306.
- Samarou M., Atakpama W., Atato A., Pessinaba Mamoudou M., Batawila K., Akpagana K. (2022a). Valeur socio-économique du tamarin (*Tamarindus indica*) dans la zone écologique I du Togo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 10: 272-281.
- Samarou M., Atakpama W., Folega F., Dourma M., Wala K., Batawila K., Akpagana K. (2022b). Caractérisation écologique et structurale des parcs à tamarinier (*Tamarindus indica* L., Fabaceae) dans la zone soudanienne du Togo (Afrique de l'Ouest). *Rev. Écosyst. Pays. (Togo)*, 1: 109-125.

Samarou M., Atakpama W., Kanda M., Tchacondo T., Batawila K., Akpagana K. (2021). *Tamarindus Indica* L. (Fabaceae) in ecological zone I of Togo: use value and vulnerability. *IJCAM*, 14: 307-315.

Shackleton S., Shanley P., Ndoye O. (2007). Invisible but viable: recognising local markets for non-timber forest products. *Int. Forest. Rev.*, 9: 697-712.

Vassiliou A. (2008). Commission decision-Baobab dried fruit pulp as a novel food ingredient. *Document C. Off. J. Europ. Union*.

Étude phytochimique et évaluation de l'activité anti-radicalaire, anti-inflammatoire, anti-drépanocytaire et cytotoxique des feuilles de *Lippia multiflora* Moldenke (Verbenaceae)

C. A. MASENGO¹, K.N. NGBOLUA², S.L. OMEONGA², N.P. NZUZI³, G.B. ILUMBE², P. T. MPIANA²

(Reçu le 04/05/2023; Accepté le 15/08/2023)

Résumé

Lippia multiflora est une plante aromatique utilisée en médecine traditionnelle pour traiter un certain nombre de maladies dont la drépanocytose. Le but de la présente étude est d'évaluer son efficacité et son innocuité in vitro. L'analyse micrographique de la poudre de *L. multiflora* par le réactif de Steimetz a permis d'identifier les cellules épidermiques, les stomates, les fragments de vaisseaux spiralés et les trichomes unicellulaires non glanduleux. Du point de vue phytochimique, cette plante contient les acides phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanes, les leuco-anthocyanes, les quinones liées, les coumarines, les anthraquinones, les iridoïdes, les saponines, les stéroïdes et les tri-terpènes. La teneur en polyphénols totaux est de 336 mg EAG/g d'extrait et tandis que celle des flavonoïdes totaux, des anthocyanes, des tanins condensés et hydrolysables sont respectivement de 6,61 mg EQ/g; 0,111 %; 0,425 %; 0,093 %. L'activité anti-oxydante du percolât (radical DPPH: $IC_{50}=73,6 \mu\text{g/mL}$; radical ABTS: %I > 50 à 20 $\mu\text{g/mL}$) est supérieure à celle du décocté (radical DPPH: %I < 50 à 100 $\mu\text{g/mL}$; radical ABTS: $IC_{50}=78,9 \mu\text{g/mL}$) et qu'en outre les feuilles de *L. multiflora* ne sont pas cytotoxiques (%Hémolyse <50 à 1000 $\mu\text{g/mL}$). Ces feuilles sont douées en outre des propriétés anti-inflammatoires (décocté: 36,3 % versus percolât: 62,0 %). Ces deux types d'extraits sont doués des propriétés anti-drépanocytaires in vitro. Cette plante bioactive étant probablement non cytotoxique, elle peut être développée et proposée comme candidat aliment fonctionnel pour le traitement symptomatique des crises drépanocytaires.

Mots clés: *Lippia multiflora*, acides phénoliques, polyphénols, in vitro, anti-inflammatoire, anti-drépanocytose

Phytochemical study and evaluation of the anti-free radical, anti-inflammatory, anti-sickling and cytotoxic activity of *Lippia multiflora* Moldenke (Verbenaceae) leaves

Abstract

Lippia multiflora is an aromatic plant used in traditional medicine to treat a number of diseases including sickle cell disease. The aim of the present study is to evaluate its efficacy and safety in vitro. Micrographic analysis of *L. multiflora* powder by Steimetz reagent allowed the identification of epidermal cells, stomata, spiral vessel fragments and unicellular non-glandular trichomes. Phytochemically, this plant contains phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, leuco-anthocyanins, bound quinones, coumarins, anthraquinones, iridoids, saponins, steroids and tri-terpenes. The content of total polyphenols was 336.2 mg EAG/g extract and while that of total flavonoids, anthocyanins, condensed and hydrolyzable tannins were 6.61 mg EQ/g; 0.111 %; 0.425 %; 0.093 %, respectively. The antioxidant activity of the percolate (DPPH radical: $IC_{50}=73.6 \mu\text{g/mL}$; ABTS radical: %I > 50 to 20 $\mu\text{g/mL}$) is higher than that of the decoctate (DPPH radical: %I < 50 to 100 $\mu\text{g/mL}$; ABTS radical: $IC_{50}=78.9 \mu\text{g/mL}$) and that in addition *L. multiflora* leaves are not cytotoxic (%Hemolysis <50 to 1000 $\mu\text{g/mL}$). These leaves also have anti-inflammatory properties (decoctate: 36.3 % versus percolate: 62.0 %). Both types of extracts are endowed with anti-sickle cell properties in vitro. As this bioactive plant is probably non-cytotoxic, it can be developed and proposed as a functional food candidate for the symptomatic treatment of sickle cell crises.

Keywords: *Lippia multiflora*, phenolic acids, polyphenols, in vitro, anti-inflammatory, anti-sickle cell disease

INTRODUCTION

La drépanocytose est une hémoglobinopathie endémique dans certaines populations d'origine négroïde. Il s'agit d'une mutation ponctuelle «faux sens» affectant le gène βS situé sur le bras court du chromosome 11 et conduisant à la biosynthèse d'une hémoglobine anormale, appelée hémoglobine S (Hb S) (Giroit *et al.*, 2003; Mpiana *et al.*, 2016; Masengo *et al.*, 2021a). Sous sa forme oxygénée, l'hémoglobine normale et l'hémoglobine S (Hb S) présente la même solubilité en milieu physiologique, cependant sous la forme désoxygénée, la solubilité de l'hémoglobine normale diminue de moitié alors que celle de Hb S baisse 50 fois conduisant ainsi à sa précipitation et sa polymérisation intracellulaire en tactoïde. Ce polymère est à la base de falciformation des érythrocytes (Mpiana *et al.*, 2010). Sur le plan épidémiologique, environ 5% de la population mondiale naissent chaque année, atteints de la drépanocytose, une anomalie génétique caractérisée par un stress oxydatif (Lemogoum *et al.*, 2008). Bon nombre

de travaux scientifiques mettent en exergue la contribution des antioxydants dans la lutte contre les maladies associées au stress oxydatif. Ces antioxydants, essentiellement d'origine végétale, sont des composés phénoliques (Yousfi *et al.*, 2007; Lageurre *et al.*, 2007) ayant diverses propriétés pharmaco-biologiques telles que les activités antiallergique, anti-inflammatoire, antimicrobienne, anti-thrombotique, cardio-protective, anti-drépanocytaire, etc. (Middleton *et al.*, 2000; Ksouri *et al.*, 2007; Mpiana *et al.*, 2007). Ces actions sont attribuées à leurs effets antioxydants liés à leurs propriétés redox très important dans la séquestration et la neutralisation des radicaux libres et le piégeage de l'oxygène, ou la décomposition des peroxydes (Nijveldt *et al.*, 2001).

L'espérance de vie des drépanocytaires est inférieure à 20 ans et au moins 80% d'enfants drépanocytaires meurent avant l'âge de 5 ans en cas d'absence de prise en charge médicale et seulement moins de 18% arrivent à l'âge adulte. C'est la première maladie génétique en Afrique par le nombre des

¹ Faculté des Sciences, Université de Gbado-Lite, Gbado-Lite, République démocratique du Congo

² Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, République démocratique du Congo

³ Faculté de Médecine, Université Protestante du Congo, Kinshasa, République démocratique du Congo

malades et constitue un problème majeur de santé publique (Giroit *et al.*, 2003). La médecine alternative joue un rôle majeur dans la prise en charge de cette pathologie en milieu défavorisé. C'est ainsi que les plantes alimentaires sauvages sont de plus en plus explorées en vue de leur intégration dans l'alimentation quotidienne des malades. Dans l'objectif de valider scientifiquement la bio-activité de ces plantes, un choix a été porté sur *Lippia multiflora* dans l'hypothèse que cette plante peut soulager certains symptômes de la drépanocytose, comme la douleur chronique et l'inflammation. Ce travail a pour objectifs spécifiques de déterminer la composition qualitative et quantitative de *Lippia multiflora*; d'évaluer l'activité anti-radicalaire, anti-drépanocytaire, anti-inflammatoire et sa cytotoxicité vis-à-vis des érythrocytes *in vitro*. L'intérêt de cette étude est évident car en cas de validation de ces activités pharmaco-biologiques, cette étude conduirait à la valorisation d'une plante à la valeur ajoutée médicinale et alimentaire conformément au protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage des avantages. Cette étude permettrait en outre de promouvoir l'utilisation de cette plante médicinale pour le traitement de cette maladie, en vue de réduire le taux de mortalité chez les drépanocytaires et ainsi atteindre l'ODD 3 (Bien-être et bonne santé).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel biologique

Les feuilles de *Lippia multiflora* Moldenke ont été achetées au marché de la Liberté de Kinshasa et authentifiées à l'herbarium de l'Institut National d'Études et de Recherches Agronomiques (INERA) logé à la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Kinshasa par comparaison à l'exsiccatum d'herbier N° 148 (MUAMBI).

Le modèle animal utilisé dans cette étude sont le sang humain fourni par le Centre de Médecine Mixte et d'Anémie SS de Yolo-Sud (Mabanga) situé dans la commune de Kalamu à Kinshasa et les œufs de poules qui ont été achetés dans un marché de la place.

Micrographie des poudres

Deux à trois gouttes de réactif de Steinmetz ont été déposés sur une lame porte-objet et une petite quantité de poudre prélevée avec soin au moyen d'une fine spatule y a été ajoutée avec précaution. La préparation microscopique est alors couverte d'une lamelle et homogénéisée en appuyant légèrement. Les bavures ont été absorbées puis le dessous de la lame porte-objet a été essuyé à l'aide d'un papier essuie-tout. L'examen micrographique a été réalisé l'objectif 40x après la mise au point comme précédemment décrit par Masengo *et al.*, (2023).

Screening chimique en solution

Le screening chimique est effectué sur l'extrait aqueux ou méthanolique obtenu par macération de 10 g de poudre des feuilles de *Lippia multiflora* dans 100 mL de solvant pendant 24 heures à la température ambiante, ensuite filtré. Les polyphénols totaux ont été identifiés à l'aide du réactif de Burton; les flavonoïdes à l'aide du réactif de Shinoda en présence de quelques copeaux de Mg; les quinones liées au moyen du réactif de Borntrager; les anthocyanes à l'aide HCl (20%); leucoanthocyanes à l'aide du réactif de Shinoda en présence de quelques gouttes d'alcool isoamylique; les tanins à l'aide du mélange de FeCl₃ 2% et le réactif de Stiansny. La recherche des alcaloïdes a été faite sur l'extrait aqueux acidifié avec quelques gouttes de HCl 0,1N grâce au réactif de Dragendorff. Les stéroïdes et terpènes sont recherchés dans l'extrait organique au moyen du réactif de

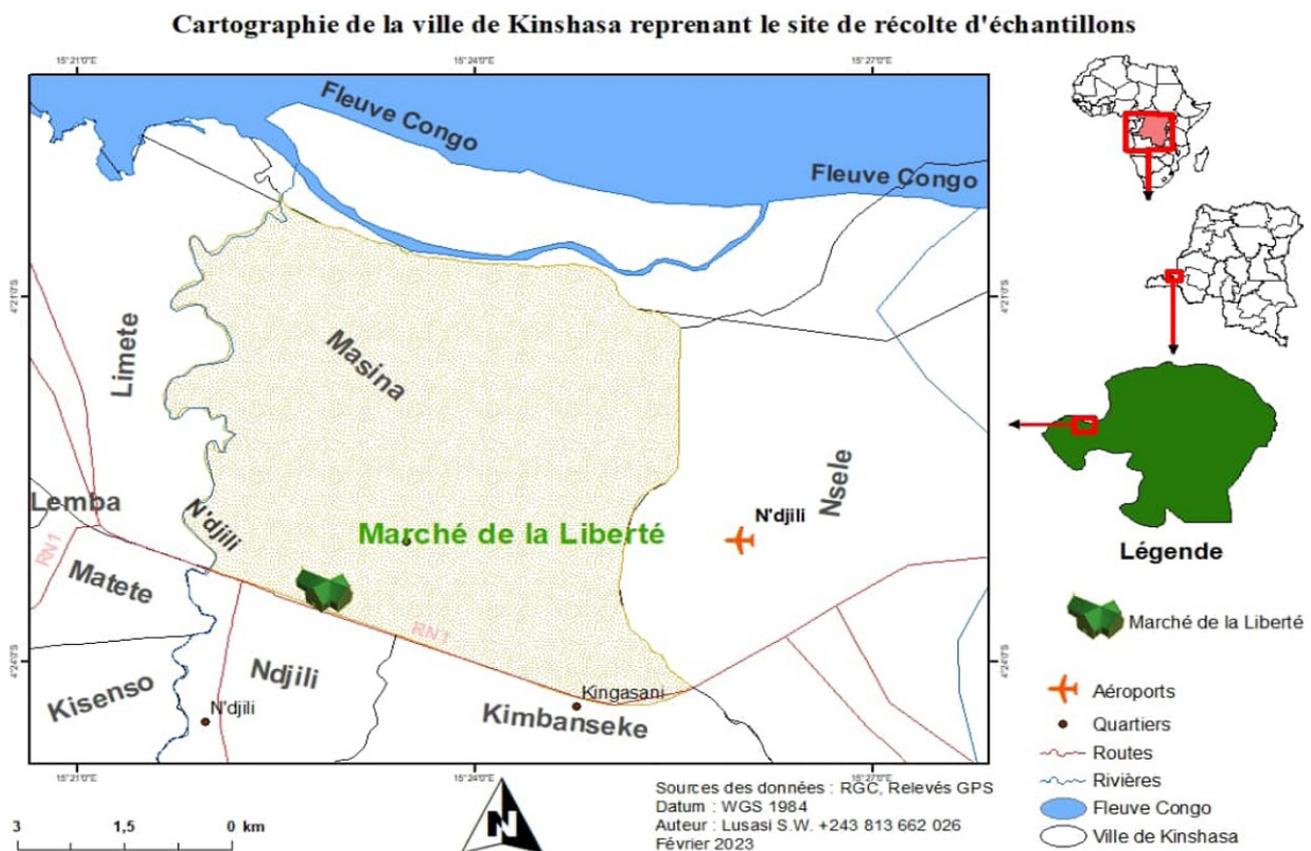


Figure 1: Localisation géographique du site d'achat des feuilles de *Lippia multiflora* Moldenke

Liebermann-Burchardat alors que les quinones libres sont identifiées à l'aide du réactif de Borntrager (Mpiana *et al.*, 2007; Mpiana *et al.*, 2008; Mpiana *et al.*, 2010).

Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux de nos extraits a été déterminée en utilisant la méthode de Folin-Ciocalteu (Tshibangu *et al.*, 2016). La quantité des polyphénols totaux est exprimée en mg équivalents d'acide gallique (GAE)/g d'extrait sec en utilisant l'équation suivante issue de la droite d'étalonnage: $y = 0,0037x + 0,0218$ ($R^2 = 0,9899$). Où x est la concentration et y l'absorbance de l'acide gallique (mg/g). La droite d'étalonnage pour le dosage de polyphénols totaux est reprise dans la figure 2.

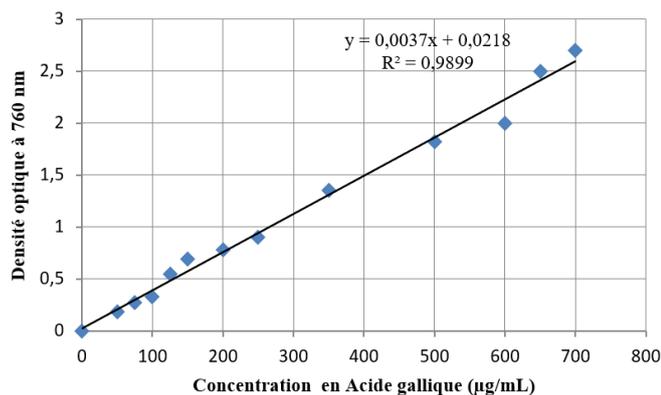


Figure 2: Droite d'étalonnage pour le dosage de polyphénols totaux

Dosage des flavonoïdes totaux

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux a été faite par spectrophotométrie UV-visible à 415 nm grâce au trichlorure d'aluminium qui forme un complexe jaune avec les flavonoïdes (Tshibangu *et al.*, 2016). La teneur en flavonoïdes est évaluée à partir de l'équation: $y = 0,0542x - 0,0367$ ($R^2 = 0,987$) (Figure 3). Où x est l'absorbance et y l'équivalent de quercétine (mg/g).

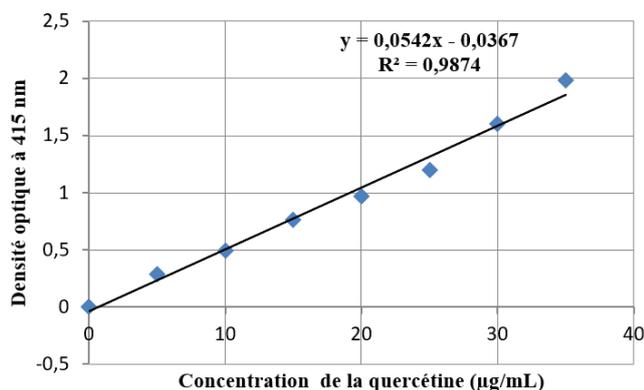


Figure 3: Droite d'étalonnage pour le dosage de flavonoïdes totaux

Dosage des anthocyanes

Le dosage des anthocyanes a été fait selon la méthodologie de Lebreton *et al.*, (1967). La longueur d'onde de travail (maximum) a été identifiée à partir du spectre d'absorption de l'extrait n-butanolique de 480 à 600 nm. Le taux (%) d'anthocyanes est calculé par la formule:

$$\text{Tanthocyanes} = (\gamma A / \epsilon) \times M \times V \times d / p$$

Avec γ : facteur de correction = 6; A: absorbance de l'extrait à la longueur d'onde maximale; ϵ : coefficient d'absorption molaire du cyanidol (=34700); M: masse molaire du leucocyanidol (=306) (g/mol); V: volume de la solution n-butanolique (mL); d: dilution; p: masse de matière sèche du matériel végétal (g).

Dosage des tanins condensés

Ce dosage est effectué au moyen de la vanilline 1% en milieu acide sulfurique 70% (Price *et al.*, 1978). Le pourcentage en tanins condensés est calculé à partir de la formule:

$$T (\%) = 5,2 \cdot 10^{-2} \times A \times V / P$$

Avec: T(%): pourcentage de tanins condensés; $5,2 \cdot 10^{-2}$: constante exprimée en équivalents de cyanidines; A: Absorbance; V: Volume de l'extrait phénolique utilisé; P: poids de l'échantillon.

Dosage des tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables sont dosés par la méthode de Mole et Waterman (1987) basée sur une réaction avec le chlorure de fer (III): FeCl_3 0,01 M dans du HCl 0,001M). L'absorbance est mesurée à 660 nm et le pourcentage en tanins hydrolysables est calculé suivant la formule:

$$T(\%) = A \times M \times V / \epsilon \text{ mole} \times P$$

Où T(%): pourcentage des tanins hydrolysables; A: Absorbance; ϵ Mole: 2169 (l'acide gallique); M: 300; V: volume de l'extrait utilisé; P: poids de l'échantillon.

Profilage par chromatographie sur couche mince

La détermination de différents métabolites secondaires par CCM (chromatographie sur couche mince) a été réalisée comme précédemment réalisée (Ngbolua *et al.*, 2021a).

Recherche des flavonoïdes et acides phénoliques

La poudre des feuilles de *Lippia multiflora* (1 g) est d'abord extraite sous agitation par du méthanol pendant 10 minutes et le filtrat est utilisé pour la CCM en utilisant le Silicagel F 254 comme phase stationnaire: Deux phases mobiles sont utilisées: Phase mobile 1 (acétate d'éthyle-acide formique-méthanol-eau, 40:1:5:4 v/v) avec comme témoin, l'acide chlorogénique et la rutine (1 mg/mL dans le méthanol). La phase mobile 2 est constituée des solvants dichlorométhane-acide formique-acétone (40:5:10 v/v) avec pour témoin l'acide gallique, la quercétine, le kampfèrol et l'acide rosmarinique (1 mg/mL dans le méthanol). Les composés recherchés sont identifiés par la présence de spots fluorescents de couleurs diverses en fonction de leurs structures moléculaires. En présence du réactif de Neu (DPBAE/PEG), les acides phénoliques donnent une fluorescence bleue tandis que flavonoïdes donne la fluorescence jaune, orange ou verte.

Recherche des Iridoïdes

Dans la recherche des iridoïdes, la phase stationnaire est le Silicagel F 254 tandis que la phase mobile est constituée par le mélange des solvants suivants: acétate d'éthyle-méthanol-eau (50:6,75:5 v/v). L'acide sulfurique à 5% dans l'éthanol est utilisé comme révélateur après chauffage du chromatogramme à 100 °C pendant 10 minutes. Les iridoïdes vrais donnent des colorations et les autres terpènes se colorent en noir.

Recherche des Anthocyanes

La phase mobile est constituée du mélange des solvants acétate d'éthyle-acide formique-eau (50:5:20 v/v). La D-catéchine est utilisée comme témoin tandis que le révélateur est la vanilline phosphorique. Après chauffage du chromatogramme à 100 °C pendant 10 minutes, les anthocyanes donnent des colorations roses.

Anthraquinones (hétérosides anthracéniques)

La phase mobile le mélange acétate d'éthyle-méthanol-eau (50:6,75:5 v/v). Le révélateur est le KOH éthanolique à 10%. Les anthraquinones sont colorées en rouge et donnent une fluorescence rouge à 366 nm tandis que les anthrones (aloïnes) donnent une couleur jaune.

Terpènes

La matière végétale (1 g) est d'abord extraite sous agitation pendant 15 minutes par 6 mL d'acétate d'éthyle. La phase mobile est le mélange binaire toluène-acétate d'éthyle (27:3 v/v).

Le thymol, le menthol et l'acide oléanolique (1 mg/mL dans le méthanol) sont utilisés comme témoins tandis que la vanilline sulfurique est utilisée comme révélateur. Après chauffage du chromatogramme à 100 °C pendant 10 minutes, les terpènes sont diversement colorés.

Coumarines

La solution préparée au test des terpènes est utilisée pour l'exécution de ce test. La phase mobile est le mélange toluène-éther (1 : 1, saturé avec l'acide acétique 10%). Pour l'obtenir, on mélange 10 mL de toluène, 10 mL d'éther et 10 mL d'acide acétique à 10% dans une ampoule à décanter. La phase inférieure est éliminée et la phase supérieure est utilisée comme phase mobile et le révélateur est le KOH éthanolique à 10%. Les coumarines donnent une fluorescence bleue.

Évaluation de l'activité anti-radicalaire

Décoction

10 g de poudre végétale sont mélangés avec 100 mL d'eau puis portés à l'ébullition pendant 3 à 5 minutes. Après filtration, l'extrait est concentré à l'évaporateur rotatif puis évaporé à sec à l'étuve pendant 24 heures et ensuite conserver à +4 °C.

Percolation

10 g de poudre sont d'abord mouillés avec le mélange méthanol/dichlorométhane (1:1) pendant 15 minutes puis la poudre mouillée est placés dans un percolateur et 20 mL du solvant ont été ajoutés et laisser macérer pendant 48 heures. Le mélange des solvants a été renouvelé jusqu'à épuisement total (volume final 200 mL de percolât). Le percolât a été évaporé à sec à l'évaporateur rotatif puis l'extrait sec obtenu est conservé à +4 °C.

Préparation des échantillons pour analyse

10 mg d'extrait sec (décocté ou percolât) sont dissouts dans 1 mL de méthanol pour les extraits organiques et dans 1 mL du mélange DMSO-Eau (1:1) pour les extraits aqueux (solution A: 10 mg/mL). Des dilutions sont ensuite réalisées pour obtenir les concentrations suivantes: 0,5 mg/mL, 0,4 mg/mL, 0,3 mg/mL, 0,2 mg/mL et 0,1 mg/mL.

Test au radical ABTS

Le radical ABTS est préparé en dissolvant dans 500 µL d'eau distillée une quantité du réactif ABTS correspondant à 20 millimoles (solution A). Ensuite, on dissout dans 500 µL d'eau distillée une quantité persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$) correspondant à 10 millimoles (solution B). Les solutions A et B sont ensuite mélangées à volume égal (solution mère du radical ABTS) et garder à l'abri de la lumière pendant 12 à 16 heures.

Pour réaliser le test, la solution mère du radical est diluée avec le méthanol (densité optique: 0, 6-0,8). Pour réaliser le test, on place dans un tube à essais, 20 µL de méthanol et 1980 µL du radical ABTS (contrôle négatif) ou 20 µL d'extrait et 1980 µL de la solution du radical ABTS (échantillon). Le mélange est incubé à l'abri de la lumière pendant 30 minutes et la densité optique est lue à 734 nm. Le taux d'inhibition du radical ABTS est déterminé à l'aide de la formule:

$$\%Inhibition = \frac{DO \text{ contrôle négatif} - DO \text{ échantillon}}{DO \text{ contrôle négatif}} \times 100$$

Les valeurs des CI50 de différents échantillons sont déterminées par régression linéaire à l'aide du logiciel Origin 8.5 Pro. L'expérience est réalisée en triple et les valeurs sont des moyennes ± écarts-types.

Test au DPPH

3,2 mg de radical DPPH sont dissous dans 100 mL de méthanol 80% puis la solution est gardée à l'abri de la lumière pendant au moins une heure. L'absorbance de cette solution est ensuite ajustée à $0,70 \pm 0,05$ à l'aide du méthanol 80%. Pour réaliser le test, 20 µL de méthanol ou d'extrait (à différentes concentrations) sont mélangés avec 1980 µL de la solution du radical DPPH puis incubés à l'abri de la lumière pendant 30 minutes. L'absorbance est lue à 517 nm et le taux d'inhibition du radical DPPH par l'échantillon est calculé comme dans la formule précédente. L'expérience est réalisée en triple et les valeurs sont présentées sous forme de moyenne ± écart-type (Ngbolua *et al.*, 2019).

Test anti-inflammatoire

Le test est réalisé selon la méthode décrite par Kumari *et al.*, (2015) avec légère modification et consiste en la dénaturation thermique de l'ovalbumine. Le mélange réactionnel est constitué de 200 µL d'albumine d'œuf, de 1600 µL de tampon phosphate salin [PBS: 137 mM NaCl (8,0 g/L), 2,7 mM KCl (0,2 g/L), 10 mM Na_2HPO_4 (1,44 g/L), 1,76 mM KH_2PO_4 (0,24 g/L); pH 6,8] et de 1000 µL d'eau distillée ou de l'extrait (250 µg/mL). Ensuite, le mélange est incubé à 37 °C pendant 15 minutes puis chauffé à 70 °C pendant 5 minutes. Après refroidissement, l'absorbance est mesurée aux longueurs d'ondes d'absorption au spectrophotomètre UV-visible à 650 et 690 nm. Le Diclofénac sodique (250 µg/mL) est utilisé comme contrôle positif tandis que l'eau distillée est utilisée comme témoin négatif. Le taux d'inhibition de la dénaturation thermique de l'ovalbumine est calculé à partir de la relation:

$$\%Inhibition \text{ de la dénaturation} = \frac{DO \text{ témoin négatif} - DO \text{ échantillon}}{DO \text{ témoin négatif}} \times 100$$

L'expérience est réalisée en triple et les valeurs sont des moyennes ± écarts-types.

Test de cytotoxicité qualitative

Ce test évalue les dommages causés à la membrane des globules rouges par l'extrait ou la drogue. La capacité d'induction de l'apoptose de l'extrait de *Lippia multiflora* sur les érythrocytes humains a été évaluée en traitant les échantillons de sang avec 0,1% d'extrait pendant 1 heure à la température ambiante et en utilisant le NaCl 0,9% comme témoin. Les frottis sanguins ont ensuite été préparés, séchés, fixés et colorés par la méthode May-Grunwald-Giemsa. Les frottis sanguins sont observés au microscope optique (OPTIKA) et les images des globules rouges sont prises en utilisant un téléphone de marque iPhone X (Prajiha et Thoppil, 2017).

Test de cytotoxicité quantitative

Le test est réalisé en mélangeant 1 mL de sang dilué à 2,5% (avec du NaCl 0,9%: 2,5 mL de sang total plus 100 mL de la solution physiologique) avec 1 mL d'extrait (1 mg/mL). Le contrôle positif est constitué du mélange l'eau distillée (1 mL) avec du sang dilué (2,5% dans NaCl 0,9%) tandis que le contrôle négatif est constitué de la solution physiologique (NaCl 0,9%: 1 mL) avec du sang dilué (2,5% dans NaCl 0,9%: 1 mL). Les différents mélanges sont incubés à la température ambiante pendant 30 minutes puis centrifugés à 380 g pendant 5 minutes. La densité optique (DO) du surnageant est lue à 540 nm au spectrophotomètre UV-visible. Pour l'extrait organique, le contrôle négatif: 1 mL NaCl 0,9% plus une goutte de DMSO. Le taux d'hémolyse est évalué à l'aide de la formule suivante:

$$\%H = \frac{DO \text{ Extrait} - DO \text{ Contrôle négatif (NaCl 0,9\%)}}{DO \text{ Contrôle positif} - DO \text{ Contrôle négatif}} \times 100$$

L'extrait est considéré comme cytotoxique lorsqu'à 10 µg/mL, le taux d'hémolyse est $\geq 50\%$ (Ngbolua *et al.*, 2011a, b; Gbolo *et al.*, 2022).

Test d'Emmel

La recherche d'activité anti-falcémiant est effectuée sur du sang drépanocytaire fraîchement prélevé après électrophorèse d'hémoglobine sur gel d'acétate de cellulose à pH alcalin (tampon Tris 100 mM, pH 9). Le métabisulfite de sodium à 2% (eau physiologique) est utilisé pour créer l'hypoxie. Les préparations microscopiques sont réalisées en plaçant sur la lame porte-objet une goutte de sang (dilué 3 fois avec le métabisulfite de sodium à 2% isotonique) et une goutte de la drogue. La solution est recouverte par une lamelle et les bords des lamelles sont recouverts avec la paraffine en surfusion en vue de créer l'hypoxie. Les différentes préparations sont observées au microscope optique après 24 heures d'incubation (Mpiana *et al.*, 2007; Mpiana *et al.*, 2008).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Micrographie

La figure 4 donne les caractéristiques micrographiques de *Lippia multiflora*.

L'analyse micrographique de la poudre de *Lippia multiflora* par le réactif de Steimetz a permis d'identifier les cellules épidermiques (a), les stomates (b), les fragments de vaisseaux spiralés (c) et les trichomes unicellulaires non glanduleux (d).

Screening chimique

Le tableau 1 donne les grands groupes chimiques contenus dans *Lippia multiflora*.

Le screening chimique en solution réalisé sur les feuilles de *Lippia multiflora* a permis de d'identifier les composés phénoliques (tels que les flavonoïdes, les anthocyanes, les leuco-anthocyanes, les tanins et les quinones liés), les saponines, les stéroïdes. Il faut cependant noter l'absence des alcaloïdes, triterpènes et quinones libres. Selon Allo *et al.*, (2020), *Lippia multiflora* cultivé en Côte d'Ivoire contient les alcaloïdes, les tanins, les coumarines et est dépourvu des saponines et des triterpènes. La variation dans la composition chimique de différents écotypes de *Lippia multiflora* peut s'expliquer par la différence des conditions bioclimatiques, de l'environnement géologique des sites de récolte des échantillons qui induisent les modifications épigénétiques chez la plante (Ngbolua *et al.*, 2011a,b).

Tableau 1: Résultat du screening phytochimique

Métabolites secondaires	Résultats
1. Polyphénols	+
○ Flavonoïdes	+
○ Anthocyanes	+
○ Leucoanthocyanes	+
○ Tanins	+
○ Quinones liées	+
2. Alcaloïdes	-
3. Saponines	+
4. Triterpénoïdes	-
5. Stéroïdes	+
6. Quinones libres	-

Légende: (+) présence ; (-) absence

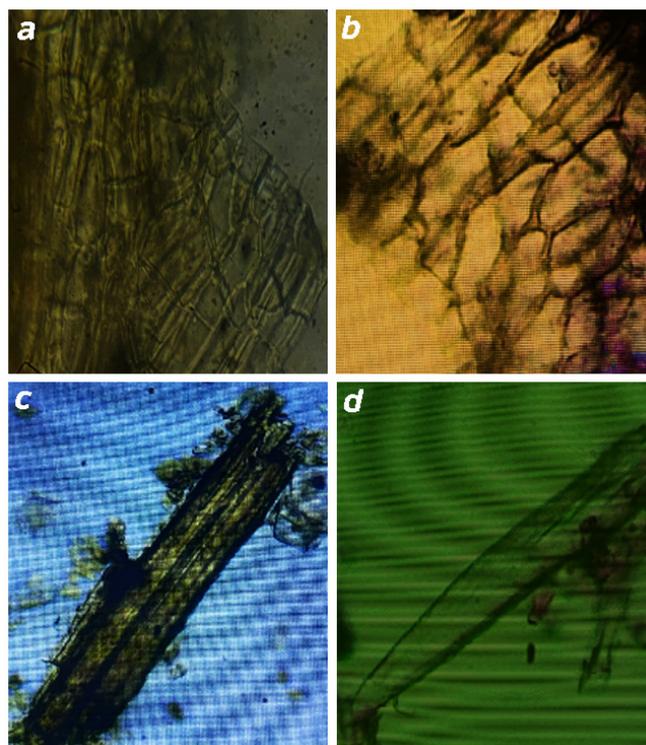


Figure 4: Micrographie optique de poudre des feuilles de *Lippia multiflora* Moldenke (Grossissement: 500X)

Profil chromatographique sur couche mince

Les figures 5 (a) à 5 (g) ci-dessous illustrent le chromatogramme des composés identifiés dans *Lippia multiflora* Moldenke.

Le chromatogramme de la figure 5 (a) illustre 1 spot vert citron et 1 spot rose pour les acides phénoliques et la figure 5 (b) donne l'image du chromatogramme des flavonoïdes qui illustre 1 spot bleu fluorescence. Les coumarines ont été identifiées sur le chromatogramme de la figure 5 (c) avec 3 spots roses à différents R_f, 2 spots bleus et 1 spot rouge-brun. La figure 5 (d) illustre 3 spots roses, 4 spots bleus fluorescents et un spot rouge-brun pour le chromatogramme de triterpénoïdes. Le chromatogramme de la figure 5 (e) donne l'image d'un seul spot bleu des anthocyanes et la figure 5 (f) des anthraquinones a été identifier et a présenté 2 spots rouge-brun tandis que le chromatogramme de figure 5 (g) donné qu'un seul spot bleu pour les iridoïdes.

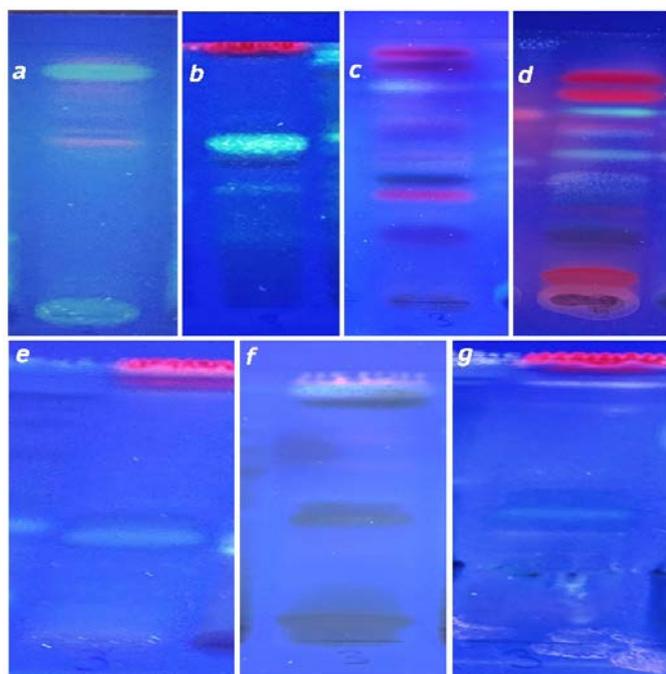


Figure 5: Chromatogramme CCM des composés identifiés dans *Lippia multiflora* Moldenke

Teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux

Le tableau 2 ci-dessous donne les valeurs moyennes de concentrations en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux de l'espèce *Lippia multiflora*.

Il ressort de ce tableau que la teneur en polyphénols totaux est de $336,2 \pm 1,93$ mg EAG/g tandis que celle des flavonoïdes totaux est de $6,60 \pm 0,16$ mg EQ/g. La teneur en anthocyanes est de $0,111 \pm 0,014$ et les tanins (condensés et hydrolysables) sont respectivement de l'ordre de $0,425 \pm 0,052\%$ et $0,093 \pm 0,003\%$. Les études menées par Dabire et al., (2015) sur la même espèce cultivée au Burkina Faso ont relevé une concentration 13 fois inférieure ($26,0 \pm 0,10$ mg EAG/g d'extrait) que celle de la présente étude. Il a été

remarqué que la concentration en flavonoïdes a été proche ($7,55 \pm 0,10$ mg EQ/g) de celle de l'espèce sous étude. La différence des teneurs peut être expliquée par la variabilité du métabolisme phénolique dans les différentes parties de la plante qui peut changer pendant la période de croissance, ceci peut être lié aux conditions climatiques et environnementales (sécheresse, température chaude, forte exposition solaire, salinité), qui stimulent la biosynthèse de métabolites secondaires (Ngbolua et al., 2011a, b). Il s'en déduit donc que, *Lippia multiflora* récolté en RDC sont riches en polyphénols totaux et flavonoïdes, et cela justifierait leur utilisation en pharmacopée d'autant plus que ces deux métabolites possèdent plusieurs activités biologiques (Tshilanda et al., 2019; Middleton et al., 2000; Gbolo et al., 2022).

Propriétés anti-radicalaires de *Lippia multiflora*

La figure 6 donne l'évolution du taux d'inhibition du radical DPPH en fonction de la concentration en extrait de *L. multiflora*.

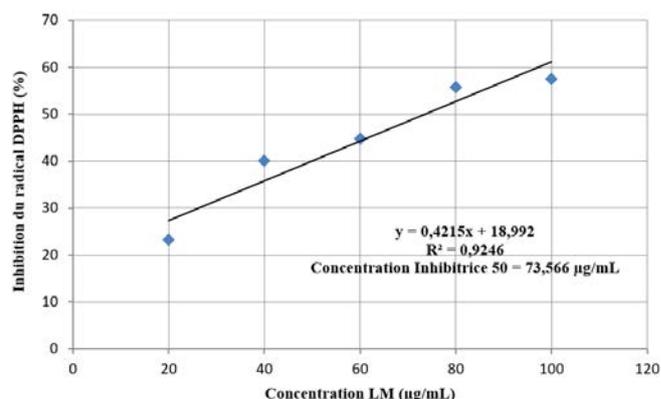


Figure 6: Taux d'inhibition du radical DPPH en fonction de la concentration en extrait (percolât) de *L. multiflora*

La figure 7 donne le taux d'inhibition du radical DPPH par le percolât et le décocté (Figure 7a) et l'inhibition du radical ABTS par le percolât de *L. multiflora* (Figure 7b).

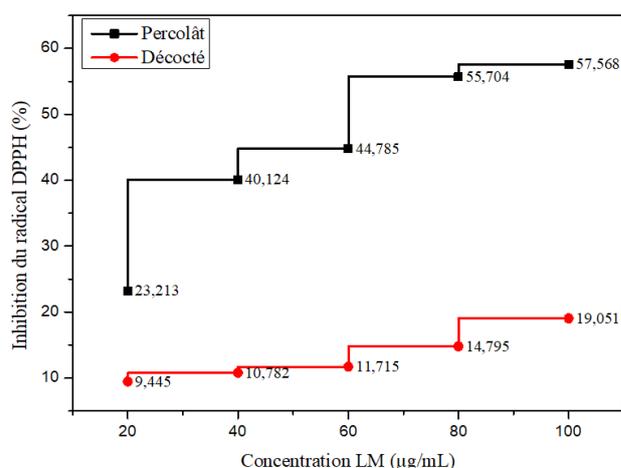


Figure 7a: Taux d'inhibition du radical DPPH par le percolât et le décocté

Tableau 2: Teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux de *Lippia multiflora*

Polyphénols totaux (mg EAG/g d'extrait)	Flavonoïdes totaux (mg EQ/g d'extrait)	Anthocyanes (%)	Tanins condensés (%)	Tanins hydrolysables (%)
$336,2 \pm 1,93$	$6,61 \pm 0,161$	$0,111 \pm 0,014$	$0,425 \pm 0,052$	$0,093 \pm 0,003$

Il ressort de cette figure 7a que le taux d'inhibition du radical DDPH est dose-dépendant. La valeur de CI50 calculée par régression linéaire est de 73,6 µg/mL. Notons cependant que la décoction diminue l'activité anti-radicalaire de *L. multiflora*. En effet, il est bien établi que la chaleur détruit les composés bioactifs thermolabiles (Barkat et Kadri, 2011). La figure 7b montre que la percolation est le meilleur moyen pour isoler les composés anti-radicalaire contenus dans cette plante. A 100 µg/mL, le taux d'inhibition du radical DDPH est de 57,6 % pour le percolât de *L. multiflora* contre 19,0% seulement pour le décocté. Alors qu'à cette même dose, le taux d'inhibition du radical ABTS est de 97,3 %.

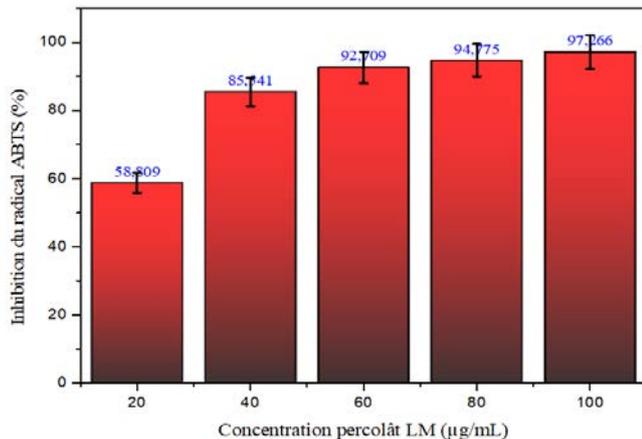


Figure 7b: Taux d'inhibition du radical ABTS par le percolât

La figure 7c donne l'évolution du taux d'inhibition du radical ABTS en fonction de la concentration de *L. multiflora* (décocté).

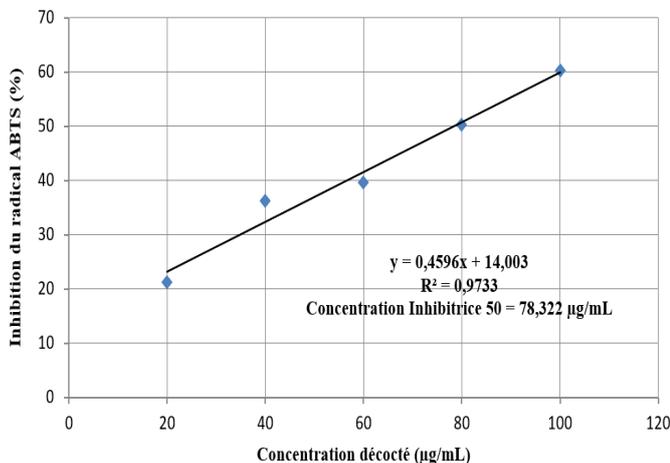


Figure 7c: Taux d'inhibition du radical ABTS en fonction de la concentration de *L. multiflora* (décocté)

Il ressort de cette figure que la valeur de CI50 du décocté est de 78,3 µg/mL. L'ensemble de ces résultats montre que *L. multiflora* est doué des propriétés anti-radicalaires, ce qui permet de justifier son utilisation en médecine traditionnelle pour soigner la drépanocytose. Ce pouvoir anti-radicalaire est dû à la présence des composés phénoliques contenus dans cette plante. Selon les études menées par Balaya (2014) sur les huiles essentielles de *Lippia multiflora*, celles-ci ont présenté un effet antioxydant important avec le radical DPPH ($42,2 \pm 2,73$ µg/mL) et ($10,2 \pm 0,02$ µg/mL) pour le radical ABTS par rapport aux feuilles de *Lippia multiflora* utilisées dans la présente étude.

Propriétés anti-inflammatoires de *Lippia multiflora*

La figure 8 ci-dessous donne le taux d'inhibition de la dénaturation thermique de l'ovalbumine *in vitro* (%I) par *Lippia multiflora*.

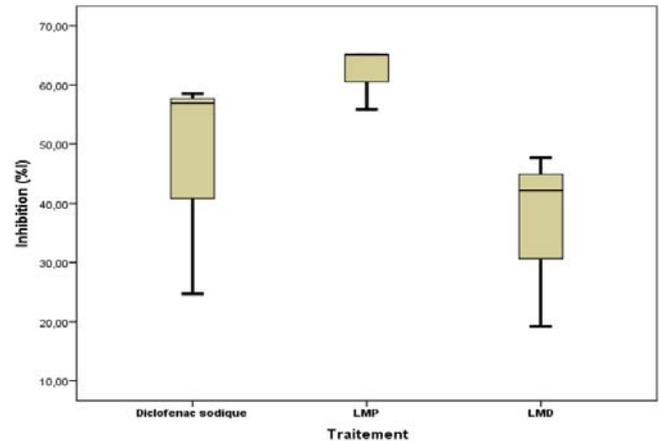


Figure 8: Taux d'inhibition de la dénaturation thermique de l'ovalbumine *in vitro* par *Lippia multiflora*

L'activité anti-inflammatoire d'une drogue peut être évaluée à partir de son taux d'inhibition de la dénaturation thermique de l'ovalbumine *in vitro* (%I). Ainsi, lorsque $\%I < 0$ (Effet hyperchrome), le produit est dit inactif; Lorsque $0 < \%I < 46,7 \pm 19,1$ (Diclofenac sodique: contrôle positif), le produit est faiblement actif; Lorsque $46,7 \pm 19,1 < \%I < 75,0$, le produit est actif et si $75 < \%I < 100$, il est très actif. Il ressort de cette étude que le décocté de *Lippia multiflora* (LMD: $36,3 \pm 15,1\%$) est faiblement actif tandis que son percolât (LMP: $62,1 \pm 5,3\%$) est actif.

La drépanocytose est associée à une inflammation chronique qui peut à terme provoquer des insuffisances au niveau des organes vitaux tels que le foie, les reins, le cœur, etc. Cette inflammation peut être due à une activation anormale des monocytes. En effet, l'hémoglobine S libérée lors de l'hémolyse de l'érythrocyte peut se lier aux récepteurs TLR4 localisés à la surface des monocytes et déclencher l'inflammation (Nader, 2019). Cette dernière est une composante clé que l'on doit prendre en compte lors de la définition des stratégies thérapeutiques pour la prise en charge symptomatologique de la drépanocytose. Il faut en outre noter que l'inflammation est entretenue chez les sujets drépanocytaires par la falciformation des érythrocytes, les infections microbiennes et les radicaux libres. Elle se caractérise sur le plan clinique par une élévation du taux sérique de la protéine C-réactive, de l'alpha 1 glycoprotéine acide et une diminution du taux de la transferrine (Sangare *et al.*, 1991).

Dans le cas particulier du stress oxydatif, l'organisme considère les radicaux libres excessifs comme des agents pathogènes (responsables de l'hyperplasie intinale des vaisseaux sanguins) et déclenche une réponse inflammatoire pour tenter de les éliminer (Masengo *et al.*, 2021b). Il a été ainsi démontré que l'inflammation chez les drépanocytaires peut être modulée par le facteur de transcription NF-κB via les voies de transduction des signaux impliquant les protéines p38 MAPK et JNK ainsi que les éicosanoïdes (Masengo *et al.*, 2021b). A cet effet, la protéine C-réactive, l'alpha 1 glycoprotéine acide, le récepteur TLR4, le facteur de transcription NF-κB, la xanthine oxydase et la cyclo-

oxygénase constituent des cibles moléculaires de choix pour le développement des médicaments anti-drépanocytaires en sus de l'hémoglobine S, la 2,3-DPG mutase et le canal potassique de Gardos.

Propriétés cytotoxiques de *Lippia multiflora*

La cytotoxicité a été évaluée en utilisant les érythrocytes comme modèle biologique.

La figure 9 ci-dessous donne le pourcentage d'hémolyse des extraits aqueux et organique *Lippia multiflora*.

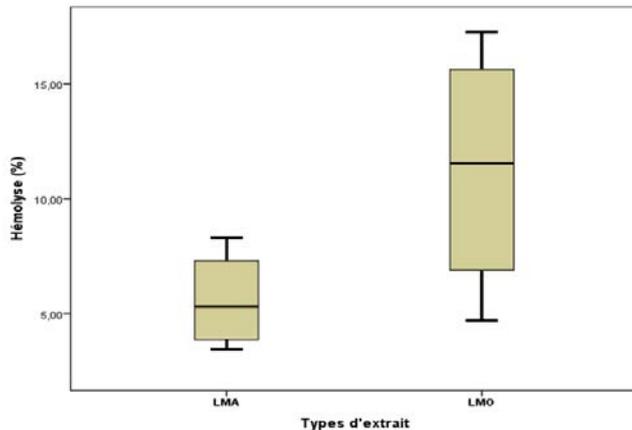


Figure 9: Taux d'hémolyse des érythrocytes en fonction d'extraits (aqueux et organique) de *Lippia multiflora*

Il ressort de cette figure que l'extrait aqueux est moins hémolytique (% hémolyse = $5,6 \pm 1,1$) que l'extrait organique (% hémolyse = $11,3 \pm 2,75$). Il faut cependant noter qu'à 1000 $\mu\text{g/mL}$, le taux d'hémolyse est inférieur à 50%, ce qui montre que *Lippia multiflora* n'est pas très toxique. L'analyse statistique (ANOVA à 1 facteur) a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les deux types d'extraits.

Propriétés anti-drépanocytaires de *Lippia multiflora*

Les figures 10A et 10B ci-dessous donnent les micrographies du sang SS non traité et du sang SS en présence de l'extrait aqueux de *Lippia multiflora*.

Comme on peut le constater sur la figure 10 (A), la majorité des érythrocytes présente un phénotype drépanocytaire. Cette falciformation en conditions d'hypoxie est une preuve que le sang utilisé provient d'un sujet drépanocytaire. Cependant, dans les mêmes conditions opératoires, les drépanocytes reprennent la forme circulaire biconcave caractéristique des érythrocytes normaux. Ces résultats

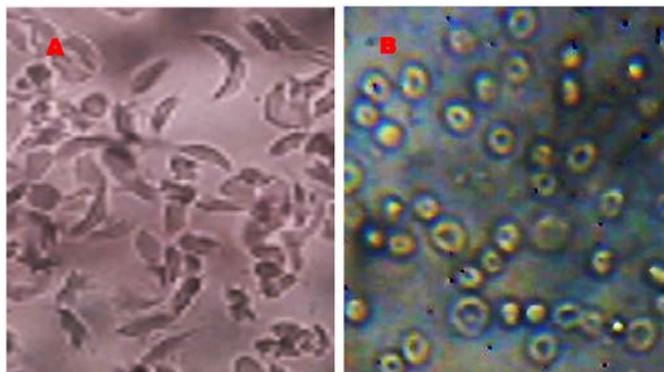


Figure 10: Micrographie optique du sang SS non traité (A) et du sang SS en présence de l'extrait aqueux de *Lippia multiflora* (B)

montrent que *L. multiflora* est doué des propriétés anti-drépanocytaires et confirment donc les travaux antérieurs (Masengo et al., 2022). Cette activité est due à la présence des composés phénoliques et/ou triterpéniques présents dans cette plante (Mpiana et al., 2008; Ngbolua et al., 2015; Tshilanda et al., 2015; Tshilanda et al., 2016; Gbolo et al., 2022). Masengo et al., (2023) ont également démontré *in silico* que cette activité peut être attribuée aux facteurs antinutritionnels tels que les acides oxalique et phytique présents dans les feuilles de *L. multiflora*.

La médecine alternative peut constituer ainsi un atout pour la couverture sanitaire universelle (CSU) en République démocratique du Congo (RDC). La CSU est une politique internationale qui vise à ce que chaque personne puisse accéder aux services de santé de qualité dont elle a besoin, «au bon moment et au bon endroit», sans que cela génère pour elle de difficultés financières (WHO, 2023). En effet, en RDC, le coût lié à la prise en charge de la drépanocytose est exorbitant aggravant la pauvreté des familles et détruisant ainsi leur avenir et celui de leurs enfants. Il est bien établi qu'en Afrique, plus de 80% de la population recourt à la médecine traditionnelle pour se soigner et constitue de ce fait un moyen pour se soigner à moindre frais. En outre, la capacité des pays Africains à produire ses propres médicaments est faible (plus de 95 % des médicaments étant importés).

Les résultats obtenus dans cette étude démontrent à suffisance que la médecine traditionnelle basée sur les évidences scientifiques peut aider à améliorer efficacement le besoin de la RDC et du continent en produits pharmaceutiques en vue d'atteindre l'objectif de développement durable n°3 des Nations Unis: «Bien-être et santé» pour tous à l'horizon 2030. Ainsi, en conjuguant sa riche biodiversité végétale, l'héritage médicinal traditionnel transmis par divers peuples au fil des années, et les recherches scientifiques modernes, la RDC a toutes les clés en main pour résoudre ses problèmes de santé. A cet effet, le financement de la recherche scientifique et des unités de transformation des plantes médicinales et aromatiques en médicaments essentiels pour couvrir le besoin du pays (accessibilité et faible coût) peut, en outre, faciliter le développement socio-économique à travers une initiative industrielle agronomique à l'échelle communautaire (Masengo et al., 2022). En outre, les sujets drépanocytaires ont besoin d'une couverture sanitaire urgente au bon moment quelle que soit le lieu où ils se trouvent en RDC (ville ou milieu rural). La stratégie basée sur la prise en charge par les médicaments à base des plantes alimentaires sauvages tel que *Lippia multiflora* est une alternative crédible pour les malades aussi bien sur le plan des évidences scientifiques que sur le plan culturel (Ngbolua et al., 2021b; Masengo et al., 2021c). Ainsi, la domestication de cette plante sauvage, permet de lutter aussi contre les changements climatiques par la création d'un puits carbone visant la réduction des gaz à effet de serre comme le recommande le protocole de Kyoto (Ngbolua, 2020).

Limitations de l'étude

Les études scientifiques sur les effets de *Lippia multiflora* sur la drépanocytose sont encore très limitées, mais certaines recherches ont montré que cette plante peut aider à réduire la douleur et l'inflammation associées à la maladie. En effet, Abena et al., (2003) ont montré que les extraits de *L. multiflora* peuvent réduire la douleur et l'inflammation

chez les rats ce qui démontre que cette plante pourrait avoir un potentiel thérapeutique pour le traitement de la douleur chronique chez les patients atteints de drépanocytose.

Il a été rapporté aussi que les espèces du genre *Lippia* (dont *L. multiflora*) peuvent aider à prévenir les complications telles que les ulcères de la peau qui sont récurrentes dans la drépanocytose. Les chercheurs ont attribué ces effets aux propriétés anti-oxydantes et anti-inflammatoires de la plante (Pacual *et al.*, 2001; Masengo *et al.*, 2021b), activités également démontrées *in vitro* dans cette étude. Cependant, il convient de noter que ces études ont été menées *in vitro* et sur des animaux de laboratoire et que des études biocliniques sont donc nécessaires pour déterminer l'efficacité et la sécurité de *L. multiflora* chez les humains atteints de drépanocytose. Par conséquent, avant de considérer l'utilisation de *L. multiflora* pour le traitement de la drépanocytose, une étude clinique à grande échelle est nécessaire.

CONCLUSIONS

Dans le présent travail, nous nous sommes assignées comme objectif de déterminer la composition chimique en quelques métabolites secondaires de *Lippia multiflora*, identifier ces derniers par CCM; évaluer son activité: antioxydante, anti drépanocytaire, inflammatoire et sa cytotoxicité pour se rassurer de son innocuité.

De cette étude, il a été trouvé que:

- L'analyse micrographique de la poudre de *Lippia multiflora* par le réactif de Steimetz a permis d'identifier les cellules épidermiques, les stomates, les fragments de vaisseaux spiralés et les trichomes unicellulaires non glanduleux;
- Du point de vue phytochimique, cette plante contient les acides phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanes, les leuco-anthocyanes, les quinones liées, les coumarines, les anthraquinones, les iridoïdes, les saponines, les stéroïdes et les tri-terpènes;
- L'activité anti-oxydante du percolât est supérieure à celle du décocté et qu'en outre les feuilles de *L. multiflora* ne sont pas cytotoxiques;
- Ces feuilles sont douées en outre des propriétés anti-inflammatoires et anti-drépanocytaires *in vitro*.

Cette plante bioactive étant probablement non cytotoxique, elle peut être développée et proposée comme candidat aliment fonctionnel pour le traitement symptomatique des crises drépanocytaires. Son activité pharmaco-biologique peut en outre être améliorée par bio-optimisation en l'associant à d'autres plantes alimentaires sauvages.

RÉFÉRENCES

Abena, A.A., Diatwa, M., Gakosso, G., Gbeassor, M., Hon-di-Assah, T., Ouamba, J.M. (2003). Analgesic, antipyretic and anti-inflammatory effects of essential oil of *Lippia multiflora*. *Fitoterapia*, 74: 231-236.

Allo F.Y., Konan A.B., Méité S., Datté J.Y. (2020). Acute and sub-acute toxicity studies of the aqueous leaf extract of *Lippia multiflora* from the Bélier Region (Côte d'Ivoire). *Asian Journal of Emerging Research*, 2: 43-53.

Barkat M., Kadri F. (2011). Impact de deux modes de cuisson sur la teneur en polyphénols solubles de six légumes. *Revue de génie industriel*, 6: 41-45.

Bayala B. (2014). Étude des propriétés anti-oxydantes, anti-inflammatoires, anti-prolifératives et anti-migratoires des huiles essentielles de quelques plantes médicinales du Burkina Faso sur des lignées cellulaires du cancer de la prostate et de glioblastomes. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, France.

Dabire C.M., Bationo R.K., Hema A., Nebie R.C., Pale E., Dhannabal S.P., Nacro M. (2015). Total phenolics content, flavonoids profiling and antioxidant activity of *Lippia multiflora* leaves extracts from Burkina Faso. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 5: 28-33.

Gbolo Z., Ciala N., Ngbolua K., Tshibangu D., Tshilanda D., Memvanga B., Mpiana P. (2022). Profilage phytochimique par chromatographie sur couche mince haute performance d'extraits de flavonoïdes totaux du Drepanoalpha® et évaluation de leur activité antidrépanocytaire *in vitro*. *Annales Africaines de Médecine*, 16: e4882-e4898.

Giroit M., Begué P., Galacteros F. (2003). La Drépanocytose. Editions John Libbey, Eurotext, Paris, France.

Ksouri R., Megdiche W., Debez A., Falleh H., Grignon C., Abdelly C. (2007b). Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 244-249.

Kumari C.S., Yasmin N., Hussain M.R., Babuselvam M. (2015). *In vitro* anti-inflammatory and anti-artheritic property of *Rhizopora mucronata* leaves. *International Journal of Pharma Sciences and Research*, 6: 482-485.

Laguerre M., Lecomte J., Villeneuve P. (2007). Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. *Progress in Lipid Research*, 46: 244-282.

Lebreton P., Bouchez M.-P. (1967). Recherches chimiotaxinomiques sur les plantes vasculaires—V.: Distribution des composés polyphénoliques chez les pariétales. *Phytochemistry*, 6: 1601-1608.

Lemogoum D., Van Bortel L., Van de Borne P. (2008). Aspects vasculaires de la drépanocytose. *Sang Thrombose Vaisseaux*, 20: 191-196.

Masengo A.C., Ngbolua K.N., Gbolo B.Z., Inkoto L.C., Baholy R., Iteku B.J., Ilumbe B.G., Mpiana P.T. (2021a). Drépanocytose: Approche bioclinique, cibles biologiques d'intérêt thérapeutique et perspectives. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 28: 539-545.

Masengo A.C., Lengbiye M.E., Inkoto L.C., Gbolo Z.B., Tshilanda D.D., Tshibangu D.S.T., Robijaona R.B., Ilumbe B.G., Ngbolua K.N., Mpiana P.T., Mudogo V. (2021b). Literature Review on the Phytochemistry and Pharmaco-Biological, Nutritional and Cosmetic Properties of *Lippia multiflora* and New Research Perspectives. *South Asian Research Journal of Natural Products*, 4: 35-38.

Masengo C.A., Bongo G.N., Robijaona B., Ilumbe G.B., Ngbolua K.N., Mpiana P.T. (2021c). Etude ethnobotanique quantitative et valeur socio-culturelle de *Lippia multiflora* Moldenke (Verbenaceae), à Kinshasa, République Démocratique du Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires* 9: 93-101.

Masengo C.A., Ngbolua K.N., Ipepe D., Mbembo B.M., Djolu R. D., Inkoto C.L., Tshilanda D.D., Tshibangu D.S.T., Ilumbe G. B., Mpiana P.T. (2022). Enquête socio-économique et activité antifalcémiant de thé de Gambie (*Lippia multiflora* Moldenke, Verbenaceae) à l'Ouest de la République Démocratique du Congo. *Revue Congolaise des Sciences & Technologies*, 01: 24-34.

Masengo A.C., Ngbolua K.N., Kwevi M.N., Kilembe T.J., She-tonde M.O., Kabena N.O., Tshilanda D.D., Tshibangu D.S.T., Ilumbe B.G., Mpiana P.T. (2023). Quantitative Determination of Oxalic and Phytic Acids of *Lippia Multiflora* Moldenke (Verbenaceae) Leaves and In Silico Study of Their Interaction with Haemoglobin S and 2,3-DPG-Mutase. *Sumerian Journal of Biotechnology*, 6: 1-10.

Middleton E., Kandaswami C., Theoharides T.C. (2000a). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological reviews*, 52: 673-751.

- Mole S., Waterman P.G. (1987). A critical analysis of techniques for measuring tannins in ecological studies. *Oecologia*, 72: 137-147.
- Mpiana P.T., Mudogo V., Tshibangu D.S.T., Kitwa E.K., Kanan-gila A.B., Lumbu J.B.S., Ngbolua K.N., Atibu E.K., Kakule M. K. (2008). Antisickling activity of anthocyanins from *Bombax pentadrum*, *Ficus capensis* and *Ziziphus mucronata*: Photodegradation effect. *Journal of ethnopharmacology*, 120: 413-418.
- Mpiana P.T., Ngbolua K.N.N., Bokota M.T., Kasonga T.K., Atibu, E.K., Tshibangu D.S., Mudogo V. (2010). *In vitro* effects of anthocyanin extracts from *Justicia secunda* Vahl on the solubility of haemoglobin S and membrane stability of sickle erythrocytes. *Blood transfusion*, 8: 248.
- Mpiana P. T., Tshibangu D.S.T., Shetonde O.M., Ngbolua K.N. (2007). *In vitro* antidrepanocytary activity (anti-sickle cell anemia) of some congolese plants. *Phytomedicine*, 14: 192-195.
- Mpiana P.T., Ngbolua K.N., Tshibangu D.S.T. (2016). Les aliments et la drépanocytose: Une mini-revue. *Comptes Rendus Chimie*, 19: 884-889.
- Nader E. (2019). Modulateurs de la rhéologie érythrocytaire et de l'éryptose dans la drépanocytose: pierre angulaire entre microparticules érythrocytaires et dysfonction vasculaire? *Santé*. Université de Lyon. Français.
- Ngbolua K.N., Rakotoarimanana H., Rafatro H., Urverg R.S., Mudogo V., Mpiana P.T., Tshibangu D.S.T. (2011a). Comparative antimalarial and cytotoxic activities of two *Vernonia* species: *V. amygdalina* from the Democratic Republic of Congo and *V. cinerea* subsp *vialis* endemic to Madagascar. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5: 345-353.
- Ngbolua K.N., Rafatro H., Rakotoarimanana H., Urverg R.S., Mudogo V., Mpiana P.T., Tshibangu D.S.T. (2011b). Pharmacological screening of some traditionally-used antimalarial plants from the Democratic Republic of Congo compared to its ecological taxonomic equivalence in Madagascar. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5: 1797-1804.
- Ngbolua K.N., Rafatro H., Rakotoarimanana H., Mudogo V., Mpiana P.T., Tshibangu D.S.T., Tshilanda D.D. (2015). *In vitro* anti-erythrocyte sickling effect of lunularic acid of natural origin. *International Blood Research & Reviews*, 4: 1-6.
- Ngbolua K.N., Lengbiye M.E., Mbembo M.B., Bongo N.G., Mutwale K.P., Ngombe K.N., Messi M., Ming M.J., Pegyemb E.D., Mpiana P.T. (2019). Selenium Content, Anthelmintic, Antioxidant and Antibacterial Activities of *Artocarpus heterophyllus* Lam. From Ubangi Ecoregion in Democratic Republic of the Congo. *American Journal of Biomedical Science & Research*, 6(2).
- Ngbolua K.N. (2020). Quantitative ethnobotany: Methodological approach for the evaluation and valorization of endogenous knowledge in tropical regions. Sciancia Scripts Publisher: Mauritius.
- Ngbolua K.N., Behundo M., Mbembo B., Inkoto C., Masengo A.C., Kilembe J., Amogu J., Falanga C., Asimonyio J., Mutwale P., Ngombe N., Mpiana P. (2021a). Micrographic Profiling and Phytochemical Analysis of Some Plants Consumed by *Okapia johnstoni* (Giraffidae: Mammalia) in Democratic Republic of the Congo. *Journal of Biomedical and Life Sciences*, 1(1).
- Ngbolua K.N., Molongo M.M., Libwa M.T.B., Amogu J.J.D., Kutshi N.N., Masengo C.A. (2021b). Enquête ethnobotanique sur les plantes sauvages alimentaires dans le Territoire de Mobayi-Mbongo (Nord-Ubangi) en République Démocratique du Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9: 261-267.
- Ngbolua K.N., Djolu R., Masengo C., Iteku J., Mpiana P., Mudogo J.C. (2023). Valeurs ethno-médicale et socio-économique de *Irvingia tenuinucleata* à Gbado-Lite, République démocratique du Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 11: 40-48.
- Nijveldt R.J., Van Nood E.L.S., Van Hoorn D.E., Boelens P.G., Van Norren K., Van Leeuwen P. A. (2001). Flavonoids: A review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American journal of clinical nutrition*, 74: 418-425.
- Pascual M.E., Slowing K., Carretero E., Sánchez Mata D., Villar A. (2001). *Lippia*: traditional uses, chemistry and pharmacology: a review. *Journal of Ethnopharmacology*, 76: 201-214.
- Prajitha V., Thoppil J.E. (2017). Cytotoxic and apoptotic activities of extract of *Amaranthus spinosus* L. in *Allium cepa* and human erythrocytes. *Cytochemistry*, 69:123-133.
- Price M.L., Van Scoyoc S., Butler G.L. (1978). A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.*, 26: 1214-1218.
- Sangare A., Monnet D., Diallo I., Yapo A.E. (1991). Intérêt clinique du dosage de la protéine c-réactive, de l' α -1-glycoprotéine acide et de la transferrine au cours de la drépanocytose homozygote. *Médecine d'Afrique Noire*, 38: 415-419.
- Tshibangu D.S.T., Ngbolua K.N., Lengbiye E.M., Tshilanda D.D., Mvingu B.M., Iteku B.J., Mbala B.M., Mudogo V., Mpiana, P.T. (2016). Chemical composition and bioactivity of *Canarium schweinfurthii* stem bark extracts from DR Congo against Sickle cell disease and associated bacteria. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 5:181-187.
- Tshilanda D.D., Onyamboko D.N.V., Babady P.V., Ngbolua K.N., Tshibangu D.S.T., Dibwe E.F., Mpiana P.T. (2015). Anti-sickling Activity of Ursolic Acid Isolated from the Leaves of *Ocimum gratissimum* L. (Lamiaceae). *Nat. Prod. Bioprospect.*, 5: 215-221.
- Tshilanda D.D., Inkoto C.L., Mpongu K., Mata S., Mutwale P. K., Tshibangu D. S.-T., Bongo G.N., Ngbolua K.N., Mpiana P. T. (2019). Microscopic studies, phytochemical and biological screenings of *Ocimum canum*. *International Journal of Pharmacy and Chemistry*, 5: 61-67.
- Tshilanda D.D., Mutwale Kapepula P., Onyamboko D.V., Frederick M., Ngbolua K.N., Mpiana P.T. (2016). Chemical fingerprint and anti-sickling activity of Rosmarinic acid and Methanolic extracts from three Species of *Ocimum* from DR Congo. *Journal of Biosciences and Medicines*, 4: 59-68.
- WHO (2023). Couverture sanitaire universelle. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/universal-health-coverage-\(uhc\)](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/universal-health-coverage-(uhc)).
- Yousfi H., Tahri E.H., Amrani E., Caid S.H. (2007). Étude de l'effet antioxydant des anthocyanes de l'olive, du raisin rouge, du chou rouge et de la fraise. *Biochimie, Substances naturelles et Environnement. Congrès international de Biochimie*. Agadir, 09-12 mai 2006, 452-455.

Connaissances et perspectives de recherche sur *Detarium senegalense*, une espèce vulnérable en Afrique

P. TREKPO¹, G. H. A. HOUENON², G. HOUNSOU-DINDIN³, A. NATTA⁴, A. C. ADOMOU², K. KOKOU¹

(Reçu le 31/07/2023; Accepté le 17/08/2023)

Résumé

Detarium senegalense est un arbre fruitier sauvage largement utilisé en Afrique. L'espèce est majoritairement utilisée pour l'alimentation, la médecine traditionnelle et comme bois d'œuvre. Dans le but de synthétiser les connaissances existantes, d'identifier les lacunes dans ces connaissances sur *D. senegalense* afin de proposer des perspectives de recherches futures, des documents scientifiques ont été consultés dans des bases de recherches comme Web of science, Scopus, Oare, Dimensions et Google Scholar. Après différentes opérations de filtres, 32 articles ont été retenus comme éligibles. A ces documents obtenus en ligne, 8 autres documents scientifiques dont 5 thèses et 5 livres, jugés pertinents ont été consultés dans des bibliothèques, soit un total de 42 documents utilisés pour la réalisation de cette revue. Ces documents ont couvert la période de 1932 à 2021. Les résultats ont montré que les principales thématiques abordées sur l'espèce sont la phytochimie, les activités biologiques et l'ethnobotanique. La pulpe du fruit de l'espèce est riche en vitamine C et est utilisée dans la préparation de nombreux mets. Quant aux amandes, elles font l'objet d'un commerce international. Les tiges, feuilles, écorces et racines sont employées dans le traitement de plusieurs affections dont les maux de ventre, la dysenterie et la dermatose. Cette revue a confirmé la surexploitation des individus de *D. senegalense*. Dans ce contexte, des perspectives de recherches futures devraient s'orienter sur sa biologie de reproduction afin de promouvoir son utilisation durable.

Mots clés: *D. senegalense*, taxonomie, écologie, ethnobotanique, menaces

Current knowledge and conservation perspectives of *Detarium senegalense*, a vulnerable species in Africa

Abstract

Detarium senegalense is a wild fruit tree widely used in Africa. The species is mainly used for food, traditional medicine and timber. The aim of this review is to synthesize existing knowledge, identify gaps in this knowledge on *D. senegalense* and suggest prospects for future research. Scientific documents were downloaded from databases such as Web of science, Scopus, Oare, Dimensions and Google Scholar. After various filtering operations, 32 articles were selected as eligible. In addition to these online documents, 8 other relevant scientific documents, including 5 thesis and 5 books, were consulted in libraries. A total of 42 documents were used for this review. All documents covered the period from 1932 to 2021. The results showed that the main topics covered on the species are phytochemistry, biological activities and ethnobotany. The fruit pulp is rich in vitamin C and is used in the preparation of many dishes. The almonds are traded internationally. Stems, leaves, bark and roots are used to treat several ailments, including stomach aches, dysentery and dermatitis. This review confirmed the overexploitation of *D. senegalense* individuals. In this context, future research should focus on its reproductive biology in order to promote its sustainable use.

Keywords: *D. senegalense*, taxonomy, ecology, ethnobotany, threats

INTRODUCTION

Les écosystèmes naturels fournissent aux communautés locales des ressources utilisées à des fins diverses: alimentaires, artisanales, médicinales et spirituelles (Lykke *et al.*, 2004; IPBES, 2019). Les forêts sont des écosystèmes qui, outre le bois, offrent d'autres ressources que sont les produits forestiers non ligneux (PFNL). Les espèces ligneuses alimentaires regroupent tous les ligneux qui procurent des feuilles, des fleurs, des fruits, des graines ou autres parties utilisées pour la consommation humaine (Ouédraogo, 2010). Ces produits forestiers non ligneux connaissent un regain d'intérêt ces dernières décennies au vu du grand nombre d'études et de rencontres scientifiques qui leurs sont consacrées (Loubégnon *et al.*, 2011; Mbaye *et al.*, 2020). Les PFNL représentent souvent, pour les communautés locales, la manifestation la plus évidente de la valeur de la forêt en tant que capital-nature, et un facteur important dans la conservation de l'ensemble des ressources de la forêt, notamment de sa diversité génétique (FAO, 2018).

Historiquement une grande variété de produits provenant de la forêt est utilisée par les communautés autochtones et rurales (Wong *et al.*, 2001), pour la satisfaction de leurs

besoins fondamentaux. D'autres plantes ou certains de leurs organes sont utilisés dans la médecine traditionnelle. Des extraits de plantes sont utilisés dans l'industrie pharmaceutique pour la fabrication de médicaments. L'importance des produits forestiers non ligneux n'est donc plus à démontrer, du fait que leur mise en valeur peut générer une plus-value pour les communautés locales (Bikoue et Essomba, 2007). La conservation des espèces végétales en général et celles fournissant des produits forestiers non ligneux se révèle encore plus urgente de nos jours.

Selon Schreckenber *et al.* (2006) la communauté scientifique est préoccupée par la conservation des ressources phytogénétiques puisqu'on observe un nombre de plus en plus croissant de publications sur la contribution des PFNL à la lutte contre la pauvreté, les voies et moyens pour leur conservation effective. Certains travaux ont démontré l'existence de marchés importants pour des PFNL aussi bien dans les circuits commerciaux intérieurs qu'extérieurs. C'est le cas de Codja *et al.* (2003), ayant révélé l'importance des PFNL dans l'alimentation humaine en Afrique. Parmi les espèces fournissant des PFNL figurent en bonne place *D. senegalense*, une espèce de la famille des

¹ Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo

² Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

³ Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

⁴ Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

Fabaceae qui produit des fruits globulaires (Adenkunle *et al.*, 2011). Elle est appelée arbre à suif ou ditax au Sénégal. C'est une angiosperme dicotylédone à usages multiples notamment pour ses fruits très nutritifs (El-Kamali, 2011). *D. senegalense* est également utilisée à des fins médicinales (Cissé *et al.*, 2010). Au Sénégal, *D. senegalense* est l'une des espèces fruitières forestières les plus importantes dans l'économie d'exploitation. Les pieds de *D. senegalense* poussent de façon sauvage en Casamance et dans les Iles du Sine-Saloum (Diop *et al.*, 2010).

Malgré les multiples services que fournissent l'espèce, elle est sujette à d'énormes pressions anthropiques au Bénin (Adomou, 2005; Dangbo *et al.*, 2019a; Dossa *et al.*, 2020a). Il s'agit notamment de la coupe des individus de l'espèce pour la réalisation des charpentés et de l'existence des circuits de commercialisation des amandes en direction du Nigéria, du Ghana et du Togo (Neuenschwander *et al.*, 2011). Au Togo, les amandes de *D. senegalense* font l'objet d'un commerce international (Atato *et al.*, 2010) impliquant même les hommes dans une récolte collective. Dans ce contexte, il apparaît urgent de définir des solutions de gestion durable pour l'espèce. L'objectif de cette étude est de synthétiser les connaissances scientifiques disponibles sur *D. senegalense*, identifier les lacunes dans les connaissances et discuter des axes de recherche pour une meilleure valorisation et domestication de l'espèce.

MÉTHODOLOGIE

Collecte des données

Les recherches documentaires ont été menées sur les plateformes Web of sciences, Scopus, Oare, Dimensions et Google Scholar, à partir de AGORA. Les terminologies utilisées sur les plateformes sont: biologie de conservation, écologie, distribution, importance socio-économique, fruits toxiques, fruits comestibles, richesse en vitamine C, usage alimentaire, médecine traditionnelle etc. en combinaison avec *Detarium senegalense*. La première étape (sans filtre) de la recherche a consisté à spécifier la présence du terme «*Detarium senegalense*» dans n'importe quelle partie des documents (thèse, livre, article, fiches techniques, etc.) disponibles. Cependant, la deuxième étape (avec filtre) a consisté à rechercher le terme «*Detarium senegalense*» dans les titres, résumés et mots-clés exclusivement dans ces documents. Les résultats obtenus à partir de ces étapes sont présentés dans le tableau 1.

Analyse des données

La base de 214 documents a été retenue pour la suite du processus. Ainsi ces documents ont été importés dans l'application Zotero. Après l'apurement (suppression des doublons) la collection finale affiche au total 139 documents constitués des articles et thèses. Cette collection a

été ensuite traitée avec l'application CADIMA qui est une application qui sélectionne et classe les documents selon l'importance, le titre, l'auteur, l'année de publication, les mots clés et le lien de téléchargement de la version PDF. De l'analyse de cette base, 32 documents scientifiques composés de 31 articles et 1 thèse ont été retenus comme éligibles. A ces documents obtenus en ligne, 8 autres documents scientifiques dont 5 thèses et 5 livres, jugés pertinents ont été consultés dans des bibliothèques. Soit un total de 42 documents utilisés pour la réalisation de cette revue. Tous ces documents ont couvert la période de 1932 à 2021.

RÉSULTATS

Thématiques abordées sur *D. senegalense*

Les résultats des extractions des documents retenus montrent que les thématiques abordées sur l'espèce sont relatives à l'ethnobotanique, les caractéristiques dendrométriques, l'historique taxonomique, l'habitat et la distribution géographique et la biologie de reproduction (Figure 1).

Taxonomie et description botanique de *D. senegalense*

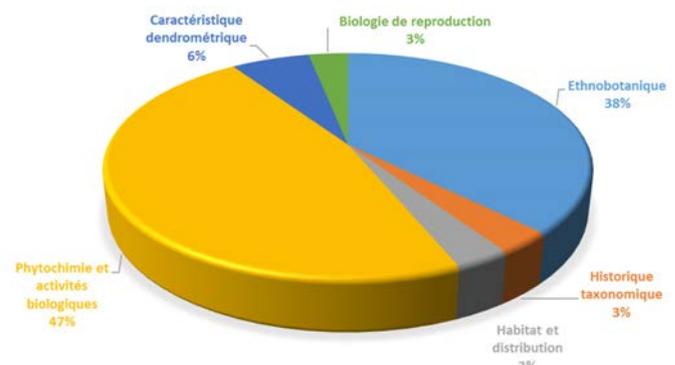


Figure 1: Fréquence relative des thématiques étudiées sur l'espèce

D. senegalense est une espèce d'Angiosperme, appartenant à la classe des Dicotylédones, et à la famille des Fabaceae. C'est un grand arbre multicaule dont la hauteur varie de 12 à 30 voire 40 m, à fût droit, à cime arrondie et assez dense (Arbonnier, 2019). Ses feuilles sont composées paripennées avec 5 à 6 paires de folioles opposées disposées de manière alterne. Les folioles sont longues de (4 à 6) cm et larges de (3 à 4) cm, ovales à elliptiques, arrondies aux extrémités et émarginées au sommet. Le limbe est mince, souple, finement coriace, à nervation pennée et vert en dessous. L'inflorescence est en panicule, de couleur blanc-crème avec un pédicelle court, fleur apétale, 4 sépales, 10 étamines, ovaire ovoïde pubescent. Le calice en bouton est glabre ou glabrescent (Cavin, 2007). Le fruit est une drupe

Tableau 1: Données synthèses des résultats de recherches documentaires obtenus en ligne

Plateformes	Résultats	
	Sans filtres/critères	Avec filtres (titre, résumé, mots-clés)
Web of Sciences, Web of Science Core Collection	12	11
Scopus https://www.scopus.com/home.uri	26	21
Oare https://www.fao.org/agora/en/...oare	92	56
Dimensions, https://app.dimensions.ai/	380	30
Google scholar, www.scholar.google.com	502	96
Total	1012	214

globuleuse ou subglobuleuse, aplatie, de 5 à 7 cm de diamètre. L'épicarpe se craquelle à maturité, et le mésocarpe verdâtre est entremêlé de fibres insérées sur le noyau, pulpe farineuse verdâtre, graine unique.

Historique et clarification taxonomique de *D. senegalense*

Le tout premier nom attribué à *D. senegalense* est «Detar du Sénégal», dans le document: Genera de Jussieu (1789) du genre *Detarium*. Cependant, aucune trace de ce nom n'a été retrouvée dans le célèbre ouvrage d'Adanson intitulé «Famille des Plantes» dont la première édition est datée de 1763. Bien plus tard, le même auteur a signalé l'existence de différentes espèces de Detar dans un catalogue resté inédit, découvert par le Professeur Chevalier lors de ses recherches biographiques sur Adanson. Les recherches se sont poursuivies et il est revenu à Gmelin, auteur de l'édition XIII du Systema (1788-1791), de nommer, suivant les règles de la jeune nomenclature binaire, *D. senegalense* qui n'est rien d'autre que la traduction latine de «detar», un nom emprunté aux Sénégalais par Adanson. S'agissant de Baillon, il a, à son tour, décrit une espèce entre 1865-1866 d'après des échantillons récoltés dans Je Rio-Nunez (Guinée Française) par Heudelot, espèce qu'il dénomma *D. heudelotianum* dont les fruits seraient toxiques. Mais Baillon, après en avoir livré les caractéristiques spécifiques notamment la forme, la taille, la consistance et l'état des surfaces de ses différents organes, a précisé que cette plante n'est rien d'autre qu'une forme de *D. senegalense*. Il poursuit en révélant que ce qui pourrait faire la différence entre ces deux espèces α (*D. senegalense*) et β (*D. heudelotianum*) n'est rien d'autre que la taille des folioles dont la longueur oscille entre 38 à 64 mm pour le type α et de 50 à 76 voire 130 mm pour β . Il a conclu que ces caractéristiques correspondent bien aux plantes dénommées Detar et Danh chez les Wolofs. Plusieurs autres auteurs se sont invités dans ce débat scientifique sur l'existence ou non de deux formes de Detar. C'est ainsi que Kennedy du Nigeria, n'a identifié que *D. senegalense* Gmelin comme arbre de savane boisée et occasionnellement de forêt ombrophile. De son côté, Aubréville (1936) a distingué dans la flore forestière de la Côte-d'Ivoire une espèce dite de forêt galerie et de savanes boisées appelée Tamba et qui correspond à *D. senegalense* et une espèce de forêt communément appelée Bodo et à laquelle il a attribué le nom *D. heudelotianum*. Ainsi, Aubréville et Trochain (1937) considèrent quant à eux que *D. heudelotianum* était le synonyme de *D. senegalense*, ce dernier comportant deux variétés: l'une à fruits comestibles, l'autre à fruits à saveur amère (toxique). En décrivant l'espèce *D. senegalense*, Guillemin *et al.* (1830-1833) ont observé que cet arbre pouvait produire des fruits comestibles ou toxiques. Pour désigner le fruit toxique, certains auteurs parlent de faux detah (Paris *et al.*, 1947) ou alors de «variété à fruits amers de *D. senegalense*» (Heckel *et al.*, 1889; Adam *et al.*, 1991). Selon Kerharo *et al.* (1962) et D'Almeida (1984), il s'agirait de «variété à fruits toxiques de *D. senegalense*». Pour Paris et Moyse-Mignon (1947), les fruits toxiques appartiendraient à l'espèce *D. heudelotianum* alors que les fruits comestibles correspondraient à l'espèce *D. senegalense*. Toutefois, Sambuc (1887) et Heckel et Schlagdenhauffen (1889) étudièrent les fruits réputés toxiques sans mettre en évidence le principe vénéneux (Adam *et al.*, 1991).

En somme, on pourrait retenir que la question du rang taxonomique de la forme toxique est encore d'actualité avec beaucoup de controverses au sujet des caractéristiques morphologiques et autres critères de différenciation spécifique des arbres qui produiraient des fruits toxiques et comestibles. Certains auteurs continuent de soutenir la thèse selon laquelle il s'agit de deux espèces différentes, tandis que d'autres estiment qu'il s'agit simplement d'une seule espèce produisant les deux formes ou variétés de fruits. Des études approfondies de caractéristiques morphologiques sur des arbres provenant de diverses zones phytogéographiques pourraient contribuer à élucider davantage la question.

Distribution et écologie

D. senegalense est répandue du Sénégal jusqu'au Soudan ainsi qu'en Afrique orientale (Lock, 1989). Elle est de plus en plus retrouvée dans la forêt tropicale humide guinéo-congolaise où la pluviométrie est plus élevée que dans la zone soudano-guinéenne (Cavin, 2007). L'espèce préfère les lieux frais des savanes humides et les forêts galeries. Aussi selon Dangbo *et al.* (2019b), les individus de *D. senegalense* se développent dans différents milieux (forêt galerie, forêt sèche, jachère. Ses habitats naturels sont les savanes arborées et les forêts galeries forestières de la zone soudano-guinéenne et plus spécifiquement les bas-fonds humides et les sols frais. On la retrouve dans la partie ouest du climat sahélo-soudanien qui est caractérisée par un climat d'alizés maritimes avec une température moyenne annuelle oscillant entre 26 et 31°C, et un climat sec avec des variations considérables d'humidité (Diop, 2013). Au Bénin, la présence de *D. senegalense* a été signalée dans les phytodistricts de Bassila et de Borgou-Sud en zone soudano-guinéenne, de Pobè et Plateau en zone guinéenne (Akoègninou *et al.*, 2006; Adomou *et al.*, 2011; Dossa *et al.*, 2019). Selon Dangbo *et al.*, (2019b), *D. senegalense* est présente dans les zones écologiques II, III, IV et V correspondantes aux zones sèches (précipitations entre 800 et 1100 mm), subhumides (précipitations variant de 1400 à 1700 mm) et humides (pluviométrie de 1200 à 1500 mm) du Togo. Selon ces mêmes auteurs, l'espèce habite différents sites géomorphologiques dont les terrains plats en haut de versant ou mi de versant, sur les berges des cours d'eau et dans les vallées alluviales. Selon Evy (1995), *D. senegalense* vit jusqu'à 1200 m d'altitude sous une pluviométrie de 800 à 2500 mm/an et sur des terrains naturels faits de forêts denses semi-sèches, lisières des forêts denses humides, forêts galeries, et les savanes humides boisées.

Caractéristiques structurales des individus de *D. senegalense*

La conservation d'une espèce, nécessite une connaissance détaillée de ses caractéristiques structurales (Atato, 2010). Ainsi, les travaux de Dossa *et al.* (2019) ont révélé que l'espèce présente une très faible densité ($1,85 \pm 0,57$ pieds/ha; Tableau 2). En ce qui concerne ses traits morphologiques, un diamètre moyen de $53,8 \pm 7,18$ cm a été enregistré pour l'espèce à travers les trois zones agroécologiques (II, IV et V) du Togo (Dangbo *et al.*, 2019). Cette valeur est similaire à celle ($50,5 \pm 1,86$ cm) enregistrée par Dossa *et al.* (2019) au Bénin.

Usages de *D. senegalense*

Plusieurs organes de *D. senegalense* sont utilisés à des fins alimentaires, médicinales, de bois d'œuvre et de services en Afrique (Wang et al., 1996; Sowemimo et al., 2011; Dossa et al., 2020a; Houénon et al., 2021). C'est est une espèce qui produit des fruits sauvages très prisés par les populations riveraines de certaines réserves du Togo (Atsri et al., 2018; Dangbo et al., 2019a). Ces fruits sont utilisés pour la production de jus de boisson (El-Kamali, 2011). D'autres organes telles que la feuille, l'écorce de tiges, la racine sont également utilisés à des fins médicinales (Cissé et al., 2010) et le bois est utilisé pour des travaux comme bois de service. Le tableau 3 résume quelques utilisations de *D. senegalense*.

Propriétés phytochimiques et activités biologiques de *D. senegalense*

Le tableau 4 présente la synthèse de quelques résultats des extraits de l'espèce. Il a été prouvé que l'extrait de l'écorce de la tige de *D. senegalense* est utilisé pour le traitement des eaux usées et dans la production énergétique (Olayiwola, 2020; Amaku et al., 2021). Aussi, des propriétés antimicrobiennes, antibactériennes et antifongiques ont été révélées sur l'espèce (Dieye et Sarr, 2020; Sowemimo et al., 2013).

Biologie de *D. senegalense*

Phénologie

La période de floraison de *D. senegalense*, dure de février à mai (Cavin, 2007). Selon Hutchinson et al. (1958); Kerharo et Adam (1974); Berhaut (1975) et Arbonnier (2019), la floraison a lieu en seconde moitié ou en fin de saison sèche. Aussi, la fructification de l'espèce débute vers la fin de la saison sèche et la maturation des fruits intervient entre novembre et décembre (Malgras, 1992; Aubreville, 1950). Dossa et al. (2020a), ont observé une variabilité dans la période de fructification de l'espèce au Bénin.

En ce qui concerne la dissémination des fruits, les éléphants les mangent et dispersent les noyaux, ou l'épizoochorie selon Chatelain et al. (2001). Aussi, selon Alexandre (1978), les fruits de *D. senegalense* remplissent les conditions pour être consommés et disséminés par l'éléphant.

Reproduction sexuée et asexuée de *D. senegalense*

Selon Dangbo et al., (2019a), les semences de l'espèce germent sans trop de difficultés. Un taux de germination de 71% a été enregistré par ces auteurs au Bénin. Au Togo, les graines de *D. senegalense*, trempées dans l'eau pendant 1 heure présentent la meilleure capacité de germination de 81 % après 9 jours et les plants ont une taille d'environ 60 cm avec 10 feuilles au 140^{ème} jour (Sogo et al., 2017). Ces auteurs concluent que *D. senegalense* se régénère facilement par graines. Cependant, la durée prolongée de conservation des graines constitue un handicap pour la production des plants en grands nombre.

Les travaux de Soloviev et Gaye (2004) ont permis de déterminer la période propice pour réaliser des essais de greffage chez *D. senegalense* au Sénégal. Selon ces auteurs, la période optimale de greffage pour *D. senegalense* est la fin de la saison sèche avec le greffage anglaise simple comme étant celui ayant donné de meilleurs résultats (71 % de taux de réussite pour des greffons issus de jeunes sujets et 43 % pour des provenances adultes).

Menaces sur *D. senegalense*

Malgré ses multiples usages, plusieurs menaces pèsent de plus en plus sur *D. senegalense*. Selon Dossa et al. (2020), la coupe de tiges et l'effet des feux de végétation sont les principales pressions anthropiques auxquelles sont soumis les individus de *D. senegalense*. A cela s'ajoute la commercialisation de ses amandes en direction des marchés du Nigéria, du Ghana et du Togo (Neuenschwander et al., 2011).

Par ailleurs, la collection systématique des amandes de l'espèce pour la commercialisation, la consommation et la fabrication des produits cosmétiques constitue également de véritable menace qui pèse aussi sur la survie de cette espèce. Ces différentes pressions humaines se poursuivent aujourd'hui dans les différents habitats de l'espèce qui sont accessibles aux communautés locales. L'espèce est reconnue très vulnérable dans le Dahomey Gap (Adomou, 2005; Dangbo et al., 2019b; Dossa et al., 2020a).

Tableau 2: Caractéristiques structurales des individus de *D. senegalense* au Bénin et au Togo

Paramètres structuraux		Densité (pieds/ha)	Diamètre moyen (cm)	Hauteur moyenne (m)	Surface terrière (m ² /ha)	Structure démographique
Togo (Dangbo et al., 2019b)	Zone II	-	54,8 ± 21,4	26,00 ± 7,5	-	Structure en cloche avec une dominance des espèces intermédiaires
	Zone IV	-	63,5 ± 19,0	21,00 ± 5,7	-	Structure en cloche avec une dominance des espèces intermédiaires
	Zone V	-	43 ± 9,6	12,8 ± 1,7	-	Structure en cloche avec une prédominance des individus de classes de diamètre compris entre 30 et 50 cm soit de l'ensemble du peuplement
	Moyenne ± Ecart-type	-	53,8 ± 7,18	19,93 ± 4,75	-	-
Bénin (Dossa et al., 2019)	Forêt dense	2,07 ± 1,6	47,7 ± 18,9	18,3	0,4	Structure en cloche
	Forêt galerie	2,48 ± 2,1	51,3	20,0	0,67	Structure en cloche
	Agrosystème	1 ± 0	52,5 ± 7,78	20,0	0,22	Structure en cloche
	Moyenne ± Ecart-type	1,85 ± 0,57	50,5 ± 1,86	19,5 ± 0,77	0,43 ± 0,16	-

GAPS DE CONNAISSANCES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHES

Les études antérieures conduites sur *D. senegalense* en Afrique ont abordé plusieurs aspects: alimentaires, médicinales, pharmacologiques, cosmétiques, transformation du fruit en nectar, bois d'œuvre et de services (Cavin, 2007; Diop *et al.*, 2010; Sowemimo *et al.*, 2011; Diop *et al.*, 2013; Sabaly, 2014; Sanni *et al.*, 2018; Dangbo *et al.*, 2019a,b; Dossa *et al.*, 2020a; Amaku *et al.*, 2021; Olatundji *et al.*, 2021; Houénon *et al.*, 2021). Bien que Dossa *et al.*, (2019) et Dangbo *et al.*, (2019b), ont abordé les caractéristiques structurales de l'espèce, des données écologiques pouvant aider à une gestion et utilisation durables des populations de l'espèce sont encore limitées. Il s'en dégage donc l'impérieuse nécessité de caractériser les habitats naturels et la structure de l'espèce afin d'appréhender au mieux les

modalités pour une gestion de *D. senegalense*. De même, les variabilités morphologiques, moléculaires et leur interaction avec le climat restent d'autres pistes de recherches à explorer. Par ailleurs la phénologie de *D. senegalense* dont la maîtrise pourrait aider à mieux planifier des actions pour une meilleure assistance à la régénération naturelle de l'espèce et une probable domestication est à documenter davantage. *D. senegalense* présente une très faible régénération en milieu naturelle (Dossa *et al.*, 2019). Ainsi des perspectives de recherches devraient s'intéresser à la détermination de l'influence des facteurs abiotiques sur le taux de régénération naturelle de l'espèce. Dans un contexte de valorisation et de gestion durable de *D. senegalense*, il serait important d'étudier la production fruitière afin d'assurer la disponibilité en matière première pouvant approvisionner l'unité de production de jus ou pulpe de l'espèce.

Tableau 3: Diversité des usages de *D. senegalense*

Catégories d'usages	Organes	Utilisations	Mode d'emploi	Ethnie /Pays
Médecine	Fruits	Lèpre	Malaxage des fruits bien mûrs avec de l'eau jusqu'à l'obtention d'une masse semi-pâteuse.	Peul
		Maux de reins chroniques; lumbago	Fruits utilisés en friction locale	-
		Rhume, angine, et maladies de poitrine	Employer la pulpe du fruit comme substitut du sucre	Soudan
		Tonique et stimulant lors du voyage	Consommation des fruits frais	Nord du Nigéria
	Racines	Analgésique	Infusion à froid, utilisée comme boisson ou en bain corporel	Gambie
		Constipation	Décoction, utilisée comme boisson ou en bain corporel	-
		Dysenterie	Décoction, utilisée comme boisson ou en bain corporel	Côte d'Ivoire, Haute-Volta
		Action sur l'intestin, anorexie et anémie	Différentes préparations	Sénégal
	Feuilles	Fièvre	Jeunes feuilles bouillies et administrées en même temps que la nourriture	Sierra Léone, Nigéria
		Conjonctivite	Nettoyage des yeux	-
		Dysenterie	-	Est-Nigéria
		Fractures	Onguent fait à partir d'argile et des jeunes feuilles et appliqué en cataplasme	Sierra Léone, Nigéria
		Expulsion du placenta	Décoction donnée aux femmes après l'accouchement	
		Maux de ventre à caractère grave : coliques, occlusion intestinale	Décoction, donnée en boisson	Diola de Basse-Casamance
	Écorce de tiges	Tuberculose	Administration per os	-
		Pneumonie	En association avec d'autres plantes	.-
			Ecorce pulvérisée en application externe	Côte d'Ivoire
		Fortifiant de la faiblesse et l'anémie	Infusion concentrée	.
		Analgésique	Infusion concentrée	.
		Conservation du vin de palme local	L'extrait d'écorces de tige à l'éthanol fournit un alcaloïde anthocyanidine	Sud-Est du Nigéria
		Hémostatique post-partum	.	Igbo du Nigéria
Graines	Éjection du placenta	Décoction donnée aux femmes après l'accouchement	Libéria	
	Anti-moustiques	Graines brûlées	Sénégal	
Plante entière	Traitement lors d'atteinte par une flèche empoisonnée	Tégument de la graine	Nord du Nigeria	
	Dermatose		Sénégal	

Tableau 3 (suite): Diversité des usages de *D. senegalense*

Catégories d'usages	Organes	Utilisations	Mode d'emploi	Ethnie /Pays
Alimentaire	Pulpe		La pulpe du fruit mûr est sucrée et riche en vitamine C. Elle est consommée frais ou en confiseries	Région soudano-guinéenne, Haute-Volte, Nigeria, Soudan
		-	La pulpe du fruit est utilisée comme substitut du sucre	Soudan
	Graines	Épaississant soupes et ragoûts	-	Est-Nigéria
		Tégument de la graine consommé en tant qu'aliment	-	Tenda du Sénégal-Guinée, Libéria
		Favorise la fermentation de la bière de millet	-	Côte d'Ivoire, Haute-Volta
Feuilles	-	Utiliser comme légumes feuilles	Soudan; Niger	
Vestimentaire	Graines	Confection de colliers et de ceintures		Wolof
	Racine	Parfum	Racine chauffée, dégage un parfum agréable	-
	Résine gommeuse	Parfum	Résine gommeuse exsudée de l'écorce est brûlée pour parfumer les huttes et les habits	-
Bois d'œuvre et de services	Bois		Bois particulièrement résistant aux termites et utilisé pour la réalisation des charpentes	Mali, Togo, Bénin
			Employer pour confectionner des portiers, meubles, barrières, outils, pirogues	-
Bois de feu			Utiliser comme bois-énergie (bois bruts) ou pour la fabrication du charbon de bois	Mali, Togo, Bénin
Autres	Graines	Empoisonnement des flèches	-	Est-Nigéria

Sources: Cavin (2007), Diop et al. (2010), Arbonnier (2019); Dangbo et al., (2019a), Dossa et al. (2020a); Malami et al., (2020); Houénon et al. (2021)

Tableau 4: Propriétés phytochimiques et biologiques de *D. senegalense*

Organes/ Extraits	Richesse/ Action/Effet	Propriétés	Références
Adsorbant de schiste enrobé d'extrait d'écorce de tige	-	Traitement des eaux usées à grande échelle au Chrome	Amaku et al. (2021)
Lignine de l'écorce	-	Liquéfaction de la biomasse pour la production chimique ou énergétique	Olayiwola (2020)
Extraits au solvant d'écorce et de racine	Tuberculeuse	Extraits bruts inhibent la croissance de <i>Mycobacterium bovis</i> [BCG]	Olatunji et al. (2021)
Huile de l'amande, en mélange avec l'huile d'agrumes	Protection contre les rayons solaires	-	Iloмуanya et al. (2020)
Ecorce/Molécules (2-méthoxyamine -3,4,5,7 – tétrahydroxyanthocynadines)	Souches tests = <i>Klebsiella pneumoniae</i> (CLIN)	Protection antimicrobienne	Dieye et Sarr (2020)
Graines	-	Activité antibactérienne significative contre <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Micrococcus kristinae</i> , <i>Streptococcus faecalis</i> , <i>Shigella flexneri</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Serratia marcescens</i> et une activité antifongique contre <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus niger</i> et <i>Penicillium notatum</i>	Sowemimo et al. (2013)
Ecorces/Alcaloïde anthocyanidine (2-méthoxyamine 3, 4, 5, 7 - tétrahydroxy anthocynadines)	-	Inhibition avec succès <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Proteus mirabilis</i> et <i>Klebsiella pneumoniae</i> . Ce résultat authentifie l'utilisation de la plante en phytothérapie pour le traitement des infections	Okwu et al. (2008)

CONCLUSION

Cette synthèse bibliographique a permis de faire le point des travaux conduits sur *D. senegalense* dans plusieurs pays notamment en Afrique de l'Ouest. Les organes de l'espèce sont majoritairement sollicités dans des usages alimentaires et médicaux. Aussi le bois de *D. senegalense* est employé comme bois de feu et également utilisé dans les constructions et pour la fabrication des meubles. Ces nombreux usages soumettent les populations de l'espèce à une forte pression anthropique. Il serait donc plus évident que de nouvelles pistes de recherches soient explorées en Afrique de l'Ouest sur la biologie de conservation de l'espèce.

RÉFÉRENCES

- Adam F., Adam J.C., Hasselot N. (1991). Intoxication par ingestion de Ditakh (Sénégal). *Med. Trop.*, 51: 455-458.
- Adenkunle A., Afolayan A., Okoh B., Omotosho T., Pendota C., Sowemimo A.A. (2011). Chemical composition, antimicrobial activity, proximate analysis and mineral content of the seed of *Detarium senegalense* J.F. Gmelin. *African Journal of Biotechnology*, 10: 9875-9879.
- Adomou C.A. (2005). Vegetation Patterns and Environmental gradients in Benin. Implications for biogeography and conservation, Ph.D. Thesis. Wageningen University.
- Adomou C.A., Agbani O.P., Sinsin B. (2011). Plants. In: Neuenchwander P., Sinsin B., Goergen G. (eds) Protection de la nature en Afrique de l'Ouest: Une Liste Rouge pour le Bénin. Nature Conservation in West Africa: Red List for Benin. International Institute of Tropical Agriculture, pp 21-46
- Akoègninou A., Van der Burg W.J. Van der Maesen L.J.G. (2006). Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. 1034 pp.
- Alexandre D.Y. (1978). Le rôle disséminateur des éléphants en forêt de Taï, Côte-d'Ivoire. *Revue d'Écologie*, 1: 47-72.
- Amaku J.J.F., Ngwu C.M., Ogunbare S.A., Akpomie K.G., Edozie O.I., Conradie J. (2021). Thermodynamics, kinetics and isothermal studies of chromium (VI) biosorption onto *Detarium senegalense* stem bark extract coated shale and the regeneration potentials. *International Journal of Phytoremediation*. 23: 1486-1496.
- Arbonnier M. (2019). Arbres, arbustes et lianes de zones sèches d'Afrique de l'Ouest, 2e éd., CIRAD, Paris, France, 541 p.
- Atato A., Wala K., Batawila K., Woegan A.Y., Akpagana K. (2010). Diversité des fruitiers spontanés du Togo. Fruit, vegetable and cereal science and biotechnology 4, Global Science Books, (special Issue 1), 1 - 9.
- Atsri K.H., Konko Y., Sanchez C.A., Abotsi E.K., Kokou K. (2018). Changes in the West African forest-savanna mosaic, insights from central Togo. *PLoS one*, 13(10), e0203999.
- Aubréville A. (1936). La Flore Forestière de la Côte d'Ivoire. Vol. 1. La Rose Editeurs, Paris,
- Aubréville A., Trochain J. (1937). Les espèces du genre *Detarium* (Leg. Cæsal.) en A. O. F. en AOF. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 84: 487-494.
- Aubréville A. (1950). Flore forestière soudano-guinéenne. AOF. Cameroun. AEF. 244 p.
- Baillon H. (1865-1866). *Adansonia* - Recueil Périodique d'Observations Botaniques. Tome 6. Éditions E. Martinet, Paris, p. 200-202.
- Berhaut J. (1975). Flore Illustrée du Sénégal - Ficoïdées à Légumineuses. Tome IV. Gouvernement du Sénégal, Direction des Eaux, Dakar, p. 375-382.
- Bikoue M.A.C., Essomba H. (2007). Gestion des ressources naturelles fournissant les PFNL alimentaire en Afrique centrale, 104p.
- Cavin A. L. (2007). Contribution à la connaissance taxonomique et chimique de fruits africains du genre *Detarium* (Fabaceae - Caesalpinoïdeae): *D. microcarpum* Guill. et Perr. et des formes comestibles et toxiques de *D. senegalense* J.F. Gmel. Thèse de doctorat, Univ. Genève, no. Sc. 3838.
- Chatelain C., Kadjo B., Kone I., Refisch J. (2001). Relation Faune – Flore dans le Parc National de Taï: une étude bibliographique. Tropembo – Côte d'Ivoire Série 3.
- Cisse M., Dieme O., Diop N., Dornier M., Ndiaye A., Sock O. (2010). Le ditax (*Detarium senegalense* J. F. Gmel.): Principales caractéristiques et utilisations au Sénégal. *Fruits*, 65: 293-306.
- Codjia C.J., Assogbadjo A.E., Ekue M.R. (2003). Diversité et valorisation au niveau local des ressources végétales forestières alimentaire de Bénin. *Cahier Agriculture*, 12: 321-331.
- D'Almeida P.A. (1984). Trente-trois Cas d'Intoxication par les Plantes Observés au Service de Pédiatrie de l'Hôpital Principal de Dakar, Département de Pharmacie. Hôpital Principal de Dakar, Thèse de doctorat, Sénégal, pp.124-170.
- Dangbo F.A., Adjonou K., Kokou K., Blaser J. (2019a). The socio-economic contribution of *Detarium senegalense* seeds to rural livelihoods in Togo (West Africa). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13: 1582-1595.
- Dangbo F.A., Adjonou K., Kokou K., Blaser J. (2019b). Ecological Sustainability of Detar (*Detarium senegalense* J. F. Gmel) in Togo (West Africa). *American Journal of Plant Sciences*, 10: 417-432.
- De Jussieu A. L. (1789). *Genera Plantarum – Secundum Ordines Naturales Disposita*, Ed. Herissant & Barrois, Paris, France, 365p.
- De Souza S. (1988). Noms des plantes dans les langues nationales Béninoises, p 283-284.
- Dieye I.P., Sarr O.S. (2020). État de la recherche de molécules cibles antimicrobiennes issues des plantes en Afrique. *Afrique Science*, 16: 348 - 374.
- Dieye I.P., Sarr O.S. (2021). Lutte contre la COVID-19: la phytothérapie africaine au secours de la médecine moderne en panne. *Afrique Science*, 18: 13 - 21.
- Diop N., Ndiaye A., Cisse M., Dieme O., Dornier M., Sock O. (2010). Le ditax (*Detarium senegalense* J. F. Gmel.): principales caractéristiques et utilisations au Sénégal. *Fruits*, 65: 293-306.
- Diop N. (2013). Caractérisation du ditax (*Detarium senegalense* J.F.Gmel) et étude de sa transformation en nectar. Thèse de Doctorat Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 165 p.
- Dossa A.K.B., Ouinsavi C., Houetcheignon T., Sourou N.B. (2019). Caractérisation structurale des peuplements naturels de *Detarium senegalense* J.F. Gmel. (Caesalpiniaceae) au Bénin, Afrique de l'Ouest. *Sciences de la vie, de la terre et agronomie*, 7(1).
- Dossa B.A.K., Ouinsavi C., Houetcheignon T., Sourou N.B. (2020a). Knowledge points and research perspectives on *Detarium Senegalense*, a vulnerable species in Benin. *International Journal of Research Studies in Biosciences*, 8: 4-12.
- Dossa A.K.B., Ouinsavi C., Houetcheignon T., N. Sourou N. B. (2020b). Germination of Seeds and Growth in the Nursery and Field of Seedlings of *Detarium senegalense* in Benin. *European Scientific Journal*, 16: 12.
- El-Kamali H.H. (2009). Ethnopharmacology of Medicinal Plants Used in North Kordofan (Western Sudan). *Ethnobotanical Leaflets*, 24.
- Evy (1995). Principaux ligneux (Agro-) Forestiers de la Guinée, Zone de transition; RoBdort.
- FAO (2018). Derrière la définition de la forêt par la FAO, des tromperies et des destructions.
- Guillemin J.B.A., Perrotet G.S., Leprieur F.M.R., Richard A. (1833). *Florae Senegambiae tentamen: seu Historia plantarum in diversis Senegambiae regionibus a peregrinatoribus Perrotet et Leprieur detectarum. Tomus primus (Vol. 1)*. Treuttel et Wurtz.
- Heckel E., Schlagdenhauffen F. (1889). Sur les deux variétés de *Detarium senegalense* à fruits comestibles et à fruits amers au point de vue botanique et chimique. *J. Pharm. Chim.*, 21: 401-414.
- Houénon G.H.A., Djossou A.K., Kouhinkpo E.Y., Salako K.V., Tchobo F.P., Adomou A.C., Yédomonhan, H. (2021). Parataxonomy, perceived dynamics and diversity of uses of two *Detarium* species in Benin (West Africa). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68: 2627-2654.
- Hutchinson G.E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22: 415-427.

- Ilomuanya M.I., Ekerebe Z., Cardoso-Daodu I., Sowemimo A. (2020). Formulation and Evaluation of Sunscreen Cream Using *Detarium senegalense* Oil as Base. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 4: 141-145.
- IPBES (2019). Communiqué de presse: le dangereux déclin de la nature: un taux d'extinction des espèces «sans précédent» et qui s'accélère. Paris, France.
- Kerharo J., Adam J.G. (1974). La pharmacopée sénégalaise traditionnelle: plantes médicinales et toxiques, Ed. Vigot Frères, Paris, France, 285-287.
- Lougbegnon T.O., Tente B.A.H., Amontcha M., Codjia J.T.C. (2011). Importance culturelle et valeur d'usage des ressources végétales de la réserve forestière marécageuse de la vallée de Sitatunga et zones connexes. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 70.
- Lykke A.M., Kristensen M.K., Ganaba S. (2004). Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel. *Biodiversity Conserv.*, 13: 1961-1990.
- Malami I., Jagaba N.M., Abubakar I.B., Muhammad A., Alhassan A.M., Peter M.W., Yahaya P.M., Mshelia I.Z., Mathias H.E.S.N. (2020). Integration of medicinal plants into the traditional system of medicine for the treatment of cancer in Sokoto State, Nigeria. *Heliyon*, 6: e04830.
- Malgras D. (1992). Arbres et Arbustes Guérisseurs des Savanes Maliennes. Editions Karthala et ACCT, Paris, pp. 228-230.
- Mbaye E., Badiane S.D. (2019). Circulation des produits forestiers non-ligneux à Dakar: Logiques et fonctionnement des filières de *Detarium senegalense* et *Saba senegalensis*. *Géocarrefour*, 93(2).
- Neuenschwander, P., Sinsin, B., Goergen, G. (eds). 2011. Protection de la Nature en Afrique de l'Ouest: Une Liste Rouge pour le Bénin. Nature Conservation in West Africa: Red List for Benin. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 365 p.
- Okwu D.E., Uchegbu R. (2008). Isolation, characterization and antibacterial activity screening of methoxyamine tetrahydroxyanthocyanidines from *Detarium senegalense* Gmelin stem bark. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 3: 1-5.
- Olatunji K.T., Aliyu A., Ya'aba, Y.M., Shehu B., Oladosu P. (2021). Phytochemical Analysis and Anti-Tuberculosis Activity of Extracts of *Detarium senegalense* Bark and Root. *Journal of Advances in Microbiology*, 21:44-50.
- Olayiwola Y. B (2020). Effect Of Solvents on *Detarium Senegalense* Bark and Characterization of the Resulting Bio-oil for pf Resinssystem. *Pro Ligno*, 16: 19-26.
- Ouédraogo I. (2010). Fonctions et services des phytocénoses de la réserve partielle de faune de Pama-nord et des zones riveraines. Mémoire de DEA en sciences biologiques appliquées. Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 50p.
- Paris R., Moyse-Mignon H. A (1947). Reputedly toxic Leguminosa of French West Africa "false detah" *D. heudelotianum*. *Ann. Pharm.*, 5: 11-16.
- Sabaly K. (2014). Contexte et utilisations locales des fruits de *Adansonia digitata* et *Detarium senegalense* au Sine Saloum au Sénégal. Mémoire de Master en Gestion des Ressources Naturelles et Développement Durable au Sénégal, 61 p.
- Sambuc M.C (1887). Contribution à la flore et à la matière médicale de la Sénégalie, Ec. Sup. Pharm., Thèse, Montpellier, France, pp. 84-94.
- Sanni F.S., Onyeyili, P.A., Hamza H.G., Sanni S. Enefe N.G. (2018). Effects of *Detarium senegalense* J.F. Gmelin aqueous stem bark extract on castor oil induced diarrhoea in albino rats. *Sokoto Journal of Veterinary Sciences*, 16: 3.
- Schlagdenhauffen F. (1889). Sur les deux variétés de *Detarium senegalense* à fruits comestibles et à fruits amers au point de vue botanique et chimique. *J. Pharm. Chim.*, 21: 401-414.
- Sogo M., Etse K.D., Kamou H., Bammite D., Padakali E., Guelly K.A. 2017. Caractéristiques germinatives des graines et vitesse de croissance des jeunes plants de deux espèces forestières au Togo: *Detarium senegalense* J. F. Gmel. (Fabaceae) et *Mansonia altissima* (A. chev.) A. Chev. (Sterculiaceae). *Afrique Science*, 13: 275 - 285.
- Soloviev P., Gaye A. (2004). Optimisation du greffage pour trois espèces fruitières de cueillette des zones sahélo-soudaniennes: *Balanites aegyptiaca*, *Detarium senegalense* et *Tamarindus indica*. *Tropicicultura*, 22: 199-203
- Sowemimo A.A., Pendota C., Okoh B., Omotosho T., Idika N., Adekunle A.A., Afolayan A.J. (2011). Chemical composition, antimicrobial activity, proximate analysis and mineral content of the seed of *Detarium senegalense* J.F. Gmelin. *African Journal of Biotechnology*, 10: 9875-9879.
- Wang Q., Ellis P.R., Ross-Murphy S.B., Burchard W. (1997). Solution characteristics of the xyloglucan extracted from *Detarium senegalense* Gmelin. *Carbohydr. Polym.*, 33: 115-124.
- Wong J.L.G., Thornber K., Baker N. (2001). Évaluation des ressources en produits forestiers non ligneux: expériences et principes de biométrie. FAO, Rome, 118p.

Effets de la pulvérisation foliaire de la jacinthe d'eau (*Pontederia crassipes*) au chlorure de sodium sur la communauté des macro-invertébrés benthiques

H. H. AKODOGBO¹, C. F. ABIMBOLA¹, N. C. GUEZO², K. S. ABAHI³, E. D. FIOGBE²

(Reçu le 04/05/2023; Accepté le 15/08/2023)

Résumé

La présente étude vise à évaluer les effets indirects de la pulvérisation foliaire de la jacinthe d'eau par le chlorure de sodium sur la communauté des macroinvertébrés benthiques dans un étang. Le dispositif expérimental a été composé de deux milieux distincts: eau sous-jacinthe (ESJ) pulvérisé et eau libre (EL) sans traitement. Les échantillons ont été prélevés avant et un mois après le traitement dans chaque milieu, et les macroinvertébrés ont été identifiés au niveau taxonomique le plus bas possible. Les tests non paramétriques de Wilcoxon ont été réalisés pour comparer au seuil de 5% l'abondance des macroinvertébrés avant et après pulvérisation. Les résultats montrent une diminution de la diversité des macroinvertébrés dans l'eau sous-jacinthe, ainsi qu'une modification de la composition taxonomique avec une augmentation de la densité plus marquée dans l'ESJ après pulvérisation. Malgré ces changements, la richesse taxonomique globale n'a pas présenté de différence significative entre l'eau sous-jacinthe et l'eau libre. En conclusion, cette méthode de lutte a entraîné une augmentation de la densité globale de certains taxons mais une diminution de la diversité des taxons, particulièrement ceux associés à la jacinthe d'eau, ce qui pourrait avoir des implications pour l'équilibre écologique de l'écosystème aquatique.

Mots clés: Pulvérisation foliaire, NaCl, *Pontederia crassipes*, Macroinvertébrés benthiques, Étang

Effects of foliar spraying of water hyacinth (*Pontederia crassipes*) with sodium chloride on the benthic macroinvertebrate community

Abstract

The present study aims to evaluate the indirect effects of foliar spraying of water hyacinth with sodium chloride on the benthic macroinvertebrate community in a pond at the Wetland Research Laboratory of the University of Abomey-Calavi, Benin. The experimental setup included two distinct environments: water under hyacinth (ESJ) subjected to spraying and untreated open water (EL). Samples were collected before and one month after the treatment in each environment, and macroinvertebrates were identified at the lowest possible taxonomic level. Non-parametric Wilcoxon tests were conducted to compare macroinvertebrate abundance before and after spraying at a significance level of 5%. The results showed a decrease in macroinvertebrate diversity in the sprayed water under hyacinth, as well as a taxonomic composition shift with a more pronounced density increase in ESJ after spraying. Despite these changes, the overall taxonomic richness did not show a significant difference between ESJ and EL. In conclusion, this control method led to an overall increase in density for certain taxa but a decrease in taxonomic diversity, particularly of those associated with water hyacinth, which may have implications for the ecological balance of the aquatic ecosystem.

Keywords: Foliar spraying, NaCl, *Pontederia crassipes*, Benthic macroinvertebrates, Pond

INTRODUCTION

Les écosystèmes aquatiques jouent un rôle essentiel dans le maintien de la biodiversité et dans la préservation de la santé environnementale. Cependant, ces écosystèmes sont de plus en plus menacés par l'invasion de plantes aquatiques envahissantes, dont la jacinthe d'eau (*Pontederia crassipes* Mart., 1823); une espèce végétale originaire d'Amérique du Sud (Robles et Martínez, 2021). La jacinthe d'eau se développe rapidement dans les plans d'eau, formant des tapis denses à la surface, ce qui entraîne une diminution de la lumière et de l'oxygène dissous, une augmentation des solides dissous et perturbe l'équilibre écologique de l'écosystème (Coetzee *et al.*, 2020; Gezie *et al.*, 2018). Elle peut causer des changements dans la composition et la structure de l'écosystème, ainsi que dans la disponibilité des ressources.

Pour lutter contre la propagation de la jacinthe d'eau et limiter son impact néfaste sur les écosystèmes aquatiques, diverses mesures ont été mises en place. Les méthodes d'élimination comprennent l'élimination mécanique (coupe), le traitement chimique (herbicide, sel...) ou la lutte biologique (agents de biocontrôle tels que les poissons

et insectes herbivores) (Guézo *et al.*, 2022; Thiemer *et al.*, 2021) des méthodes basées sur le chlorure de sodium NaCl ont été mises au point pour lutter contre la prolifération de cette macrophyte envahissante.

Cette étude évalue l'impact de la technique mise au point sur la qualité physico-chimique de l'eau et présente l'état physico-chimique de l'eau d'un écosystème semi-artificiel (étang). Ces mesures peuvent avoir d'autres incidences sur le fonctionnement de l'écosystème comme la réduction de la biodiversité (Misteli *et al.*, 2023) et la prolifération de moustiques (Thiemer *et al.*, 2021; Gezie *et al.*, 2018). L'une de ces mesures est l'utilisation du chlorure de sodium (NaCl) en pulvérisation foliaire. Cependant, cette pratique peut entraîner une modification de la physico-chimie du milieu, notamment une diminution de l'oxygène dissous dans le milieu et une augmentation de la conductivité de l'eau, de la DCO et de la DBO₅ à la suite de la décomposition des plantes de jacinthe (Guézo *et al.*, 2022). Ceci soulève des interrogations quant à ses effets indirects sur la faune aquatique, notamment sur la communauté des macroinvertébrés benthiques. En effet, les macroinvertébrés jouent un rôle important dans les écosystèmes aquatiques en tant que

¹ Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée, École Polytechnique d'Abomey-Calavi, University d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

² Laboratoire de Recherches sur les Zones Humides, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

³ Laboratoire d'Écologie, Santé et Production Animales, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

maillons de la chaîne alimentaire et en participant à des processus écologiques tels que la décomposition des matières organiques (Bonacina *et al.*, 2023). Ainsi, comprendre comment cette méthode, utilisant le NaCl, affecte les macroinvertébrés aide à évaluer l'efficacité de cette mesure de lutte spécifique et à identifier d'éventuels effets indésirables ou non intentionnels sur d'autres composantes de l'écosystème. Cela peut contribuer à développer des approches de gestion plus durables et respectueuses de l'environnement. Des études ont essayé d'évaluer les effets de cette méthode de lutte sur les communautés de macroinvertébrés, mais elles se sont limitées aux familles (Garcia *et al.*, 2021); notre étude abordera les taxons les plus inférieurs possibles. Cela favorisera une meilleure compréhension des écosystèmes et une gestion plus efficace et durable de la biodiversité. Ainsi, cette étude vise à évaluer l'impact de l'utilisation du chlorure de sodium contre le développement de la jacinthe d'eau sur la densité et la diversité des macroinvertébrés benthiques dans un étang.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu d'étude

Tous les travaux se sont déroulés sur le site du Laboratoire de Recherche sur les Zones Humides (LRZH) situé à l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin (Figure 1). L'expérimentation s'est tenue dans un étang d'une surface de 33 m² et d'une profondeur 1,5 m. Le choix d'un étang comme milieu d'étude offre un compromis entre la facilité de contrôle expérimental, la reproductibilité des résultats, la facilité d'accès et de suivi, et la possibilité d'observer les interactions trophiques dans un cadre relativement contrôlé. L'étang regorgeait des organismes aquatiques tels que le phytoplancton, le zooplancton, les macroinvertébrés benthiques et quelques espèces de poissons (des familles

cichlidae et cannidae) (Guézo *et al.*, 2022), permettant ainsi de prendre en compte les interactions trophiques et par conséquent leur effet sur la dynamique de l'écosystème dans son ensemble. Un contexte plus complet de l'écosystème est donc pris pour l'étude.

Dispositif expérimental et application de traitement

Le dispositif expérimental (Figure 2) était constitué de deux milieux: eau sous-jacinthe (ESJ) et eau libre (EL). Le milieu «eau sous jacinthe» a été formé à l'aide de trois cages flottantes (paniers) de 1m de diamètre d'ouverture dans lesquelles ont été ensemencées des plantes de jacinthe d'eau. L'eau libre est dépourvue de plantes de jacinthe et n'a pas subi de pulvérisation. 11,3 litres d'eau de mer ont servi à faire la pulvérisation foliaire des plantes de jacinthe ensemencées en une même journée, par cage, suivant la méthode utilisée par Guézo *et al.* (2022).

Échantillonnage de la communauté de macroinvertébrés

La méthode d'échantillonnage «avant et après traitement» a été utilisée. Un échantillonnage a été fait avant pulvérisation puis un mois après la pulvérisation dans chaque milieu. A l'aide d'un filet troubleau de 500 µm de vide de maille, la surface du fond d'étang a été raclée en suivant le diamètre des paniers. Trois prélèvements ont été faits au niveau de chaque milieu (ESJ et EL) permettant d'avoir 6 échantillons à chaque échantillonnage.

Les échantillons recueillis ont été conservés dans des bouteilles puis fixés au laboratoire avec du formol 10%. Au laboratoire, les échantillons ont été rincés, triés à la loupe binoculaire (Abahi *et al.*, 2018) avant d'être identifiés au niveau taxonomique le plus bas possible grâce aux guides de Durand et Lévêque (1980) et Moisan (2010) et aux articles suivants: Kotzian et do Amaral (2013), Doannio

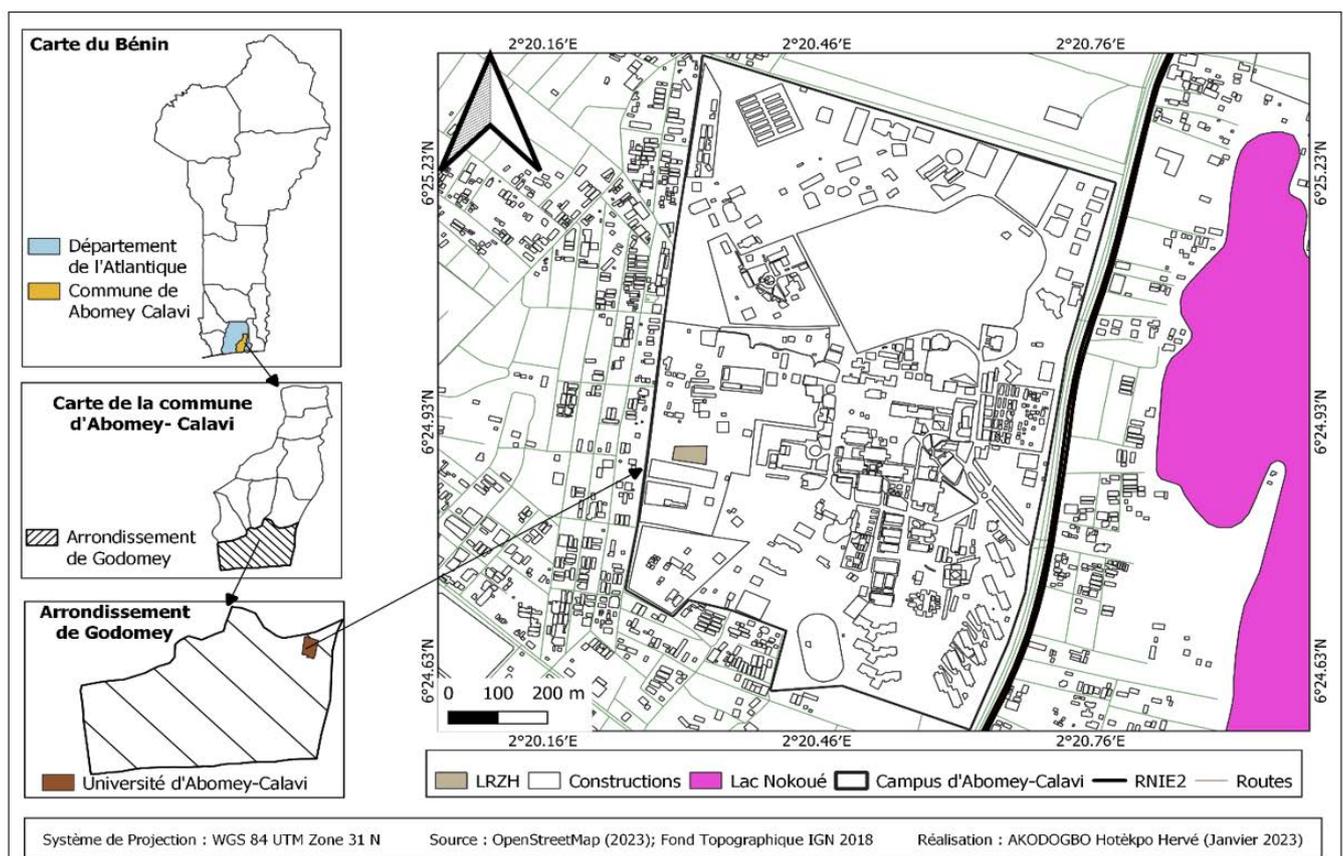


Figure 1: Localisation du Laboratoire de Recherche sur les Zones Humides sur le campus d'Abomey-Calavi

et al. (2011). La base de données globale sur les noms scientifiques Catalogue of Life (COL, 2023) a été utilisée pour la vérification et la mise à jour des noms et des classifications des taxons.

Analyses statistiques

Les indices de diversité de Shannon-Wiener (H), d'Équitabilité de Pielou (J) et la richesse taxonomique (S) ont été calculés avec le package Vegan version 2.6-4 (Oksanen et al. 2022), à l'aide du logiciel R version 4.3.0, pour évaluer la biodiversité des macroinvertébrés dans les différents milieux avant et après la pulvérisation de la jacinthe d'eau. L'indice de diversité de Shannon-Wiener (H) a permis d'évaluer l'étendue de la diversité des espèces du milieu. Un indice élevé de Shannon-Wiener indique une grande diversité d'espèces et une répartition équilibrée entre elles. L'indice d'Équitabilité de Pielou (J) a permis de mesurer l'équitabilité (ou équirépartition) des espèces du peuplement par rapport à une répartition théorique égale pour l'ensemble des espèces (Odountan et Abou, 2016). Un indice égal à 1 indique une répartition équilibrée, tandis qu'un indice proche de 0 suggère une distribution inégale. La richesse taxonomique (S) mesure simplement le nombre total de taxons présents dans chaque milieu. Le test de Wilcoxon à échantillons appariés a été fait pour comparer l'abondance des macroinvertébrés avant et après pulvérisation dans chaque milieu (ESJ et EL). Le test de Wilcoxon à échantillons indépendants a été effectué pour comparer l'abondance des macroinvertébrés avant pulvérisation dans les deux milieux (ESJ et EL), puis après pulvérisation. Les tests statistiques ont été réalisés au seuil de 5%, avec le logiciel R version 4.3.0 (2023-04-21 ucrt).

RÉSULTATS

Influence du traitement sur la diversité des macroinvertébrés benthiques

Richesse taxonomique

Le peuplement de macroinvertébrés relevés au cours de l'expérimentation appartient aux familles: Thiaridae, Libellulidae, Lymnaeidae, Coenagrionidae, Chironomidae, Naididae et Belostomatidae; en plus des Hydracariens (sous-ordre des Prostigmata) qui n'ont pas été identifiés jusqu'au niveau de la famille.

Avant pulvérisation, la richesse taxonomique était plus élevée en ESJ qu'en EL; en effet, un total de 8 taxons puis de 6 taxons ont été identifiés respectivement au niveau de

l'eau sous-jacinthe et de l'eau libre. Après pulvérisation, nous avons constaté qu'elle a diminué au niveau de l'eau sous-jacinthe (5 taxons) et l'eau libre (5 taxons) (Figure 3).

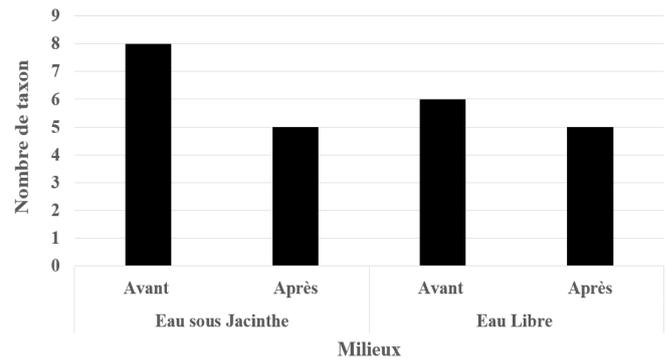


Figure 3: Richesse taxonomique dans les différents milieux avant et après traitement

Indices de diversité

Les valeurs des indices de diversité (Shannon et Pielou) après pulvérisation sont inférieures à celles avant pulvérisation dans chaque milieu. Ces différents indices ont nettement diminué après la pulvérisation. L'indice de Shannon (H) passe d'une valeur de 0,57 à 0,24 en eau sous-jacinthe et de 0,59 à 0,35 en eau libre après pulvérisation. L'indice d'Équitabilité de Pielou (J) diminue d'une valeur de 0,27 à 0,15 en eau sous-jacinthe et une valeur de 0,33 à 0,02 en eau libre. Bien que l'indice de Shannon soit inférieur à 3 bits, témoignant ainsi d'une faible diversité dans tous les milieux tout au long de l'expérimentation, la valeur la plus faible a été obtenue en eau sous jacinthe après pulvérisation (Figure 4).

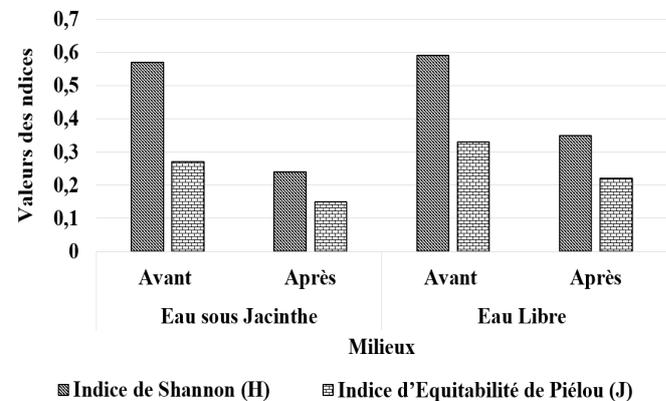


Figure 4: Indices de diversité des taxons dans les différents milieux avant et après traitement

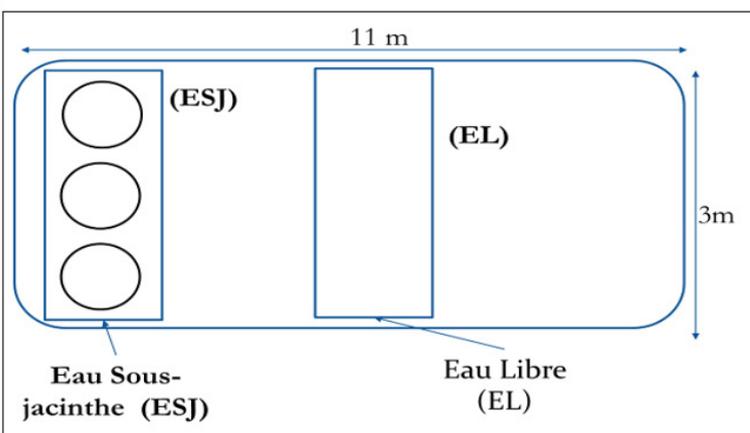


Figure 2: Dispositif expérimental

Légende: Les cercles en noirs représentent les paniers contenant les plants de jacinthes d'eau

La même tendance est observée pour l'indice d'Équité de Pielou qui traduit une inégale répartition des taxons dans les milieux durant l'expérimentation mais cette inégale répartition est beaucoup plus remarquable en eau sous-jacinthe après pulvérisation.

Influence du traitement sur la densité des macroinvertébrés benthiques

Densité globale

La figure 5 nous montre que la densité moyenne globale a augmenté nettement dans chaque milieu après la pulvérisation; elle varie de 133,7 à 465,7 individus en eau sous-jacinthe et de 38,7 à 88,0 individus en eau libre. Mais cette différence observée n'est pas statistiquement significative au seuil de 5% dans chaque milieu. La densité moyenne est plus élevée en ESJ qu'en EL, avant et après pulvérisation. Mais la différence n'est significative au seuil de 5%.

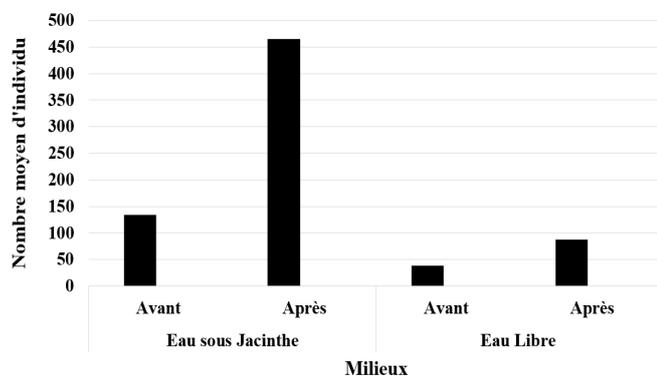


Figure 5: Densité des espèces dans les différents milieux avant et après traitement

Abondance relative des taxons

Le tableau 1 présente les abondances relatives des taxons recensés avant et après le traitement. Le taxon le plus abondant avant et après pulvérisation est *Melanoïdes* spp, représentant au moins 80% de l'abondance totale dans tous les milieux. Il connaît une augmentation de son abondance après pulvérisation. Le deuxième taxon le plus abondant avant pulvérisation était *Chironomus plumosus* (10,7%), mais il a connu une forte diminution de son abondance après pulvérisation en eau sous-jacinthe. Les hydracariens n'ont été retrouvés qu'en eau sous-jacinthe avant pulvérisation avec une faible abondance.

DISCUSSION

Le peuplement de macroinvertébrés relevé au cours de l'expérimentation appartient aux familles: Thiaridae, Libellulidae, Lymnaeidae, Coenagrionidae, Chironomidae, Naididae et Belostomatidae; en plus des Hydracariens (sous-ordre des Prostigmata). Les Coenagrionidae, Belostomatidae et Chironomidae ont également été reportés comme familles inventoriées par Rhodes et Martinez (2021) dans un milieu infesté par la jacinthe d'eau. Après la pulvérisation, la richesse taxonomique et les indices de diversité (Shannon et Pielou) ont diminué dans les deux milieux. La diminution était plus prononcée dans l'eau sous-jacinthe, pour les trois paramètres de mesure de la diversité, témoignant ainsi d'une plus faible diversité et d'une forte inégale répartition des taxons dans l'eau sous-jacinthe après pulvérisation. Ceci peut être attribué à l'effet du traitement au chlorure de sodium. En effet, l'élimination des plants de jacinthe d'eau entraîne une pollution organique (Guézo *et al.*, 2022), ce qui favoriserait la dominance des taxa polluo-tolérants au détriment des taxa polluo-sensibles d'où leur inégale répartition. Ces observations corroborent avec celles de Misteli *et al.* (2023), qui ont remarqué que l'enlèvement des macrophytes dans les écosystèmes aquatiques peut affecter négativement la diversité globale du milieu. La faible diminution de la richesse taxonomique et l'augmentation de la densité en eau libre non pulvérisé, observées, peuvent être dues à des facteurs liés à la dynamique temporelle naturelle de la communauté de macroinvertébrés. Cependant, la richesse spécifique était plus élevée en ESJ qu'en EL avant pulvérisation. Ceci peut s'expliquer par le fait que la jacinthe d'eau sert de biotope pour certaines espèces qui y sont associés. En effet les hydracariens, par exemple n'ont été échantillonnés que dans l'eau sous jacinthe et, avant pulvérisation. Des taxons d'hydracariens sont connus pour vivre associés aux plants de jacinthe d'eau (Ermilov, 2021). Quant à la densité moyenne plus élevée dans l'eau sous-jacinthe que dans l'eau libre, tant avant qu'après la pulvérisation, elle peut s'expliquer par le fait que l'eau sous-jacinthe offre un habitat plus favorable aux macroinvertébrés que l'eau libre. La présence de la jacinthe d'eau peut fournir des surfaces d'attache (Thiemer *et al.*, 2021), des abris et des sources de nourriture supplémentaires pour les macroinvertébrés, même après la pulvérisation pour les taxons polluo-tolérants, ce qui favorise leur présence et leur

Tableau 1: Abondances relatives (%) des taxons recensés avant et après le traitement

Familles	Genre/espèce	Eau sous-jacinthe		Eau libre	
		Avant	Après	Avant	Après
Thiaridae	<i>Melanoïdes</i> spp.	84,8	95,3	86,2	92,8
Lymnaeidae	<i>Racesina luteola</i>	3,24	2,08	2,59	2,27
Libellulidae	<i>Cratilla metallica</i>	0,25	0,64	0,00	0,76
Coenagrionidae	<i>Pericnemis triangularis</i>	0,25	0,00	0,86	0,00
Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	10,7	0,07	3,45	2,65
Naididae	<i>Tubifex tubifex</i>	0,25	1,86	6,03	1,52
Belostomatidae	<i>Diplonychus</i> sp.	0,25	0,00	0,86	0,00
Sous-ordre des Prostigmata (Hydracariens)		0,25	0,00	0,00	0,00

abondance. Avant et après la pulvérisation, le taxon le plus abondant était *Melanoides* spp, qui représentait au moins 80% de l'abondance totale dans tous les milieux. En effet, *Melanoides* spp est un genre de mollusque d'eau douce, connu pour sa capacité à s'adapter à une large gamme de conditions environnementales (Patang *et al.*, 2018). Après la pulvérisation, son abondance a augmenté, tandis que *Chironomus plumosus* a connu une forte diminution de son abondance dans l'eau sous-jacinthe. Cet effet d'augmentation de l'abondance d'un taxon et de diminution d'un autre après la disparition des plantes a été rapporté par des études en milieu naturel lentique (Misteli *et al.*, 2023). La diminution de l'abondance de *Chironomus plumosus* après pulvérisation peut s'expliquer par le fait que les Chironomidae sont des taxons qui utilisent les macrophytes comme substrat (Thiemer *et al.*, 2021). Les taxons de la famille des Chironomidae sont souvent présents dans les peuplements de *P. crassipes* (Robles et Martínez, 2021). Ainsi l'élimination des plants de jacinthe d'eau, revient à une destruction d'un habitat optimal ou privilégié de ces taxons. Mais l'élimination des jacinthes d'eau entraîne une intensification de la pollution organique dans le milieu (Guézo *et al.*, 2022); ce qui aurait favorisé l'augmentation de *Melanoides* spp après pulvérisation.

CONCLUSION

La présente étude contribue à la compréhension des effets de la pulvérisation foliaire de la jacinthe d'eau au chlorure de sodium sur la communauté des macroinvertébrés benthiques dans un étang. Cette pulvérisation a eu des effets indirects sur la communauté des macroinvertébrés. Elle a entraîné une diminution de la diversité des espèces de macroinvertébrés dans l'eau sous-jacinthe, ainsi que des changements dans la composition taxonomique des populations. Malgré ces changements, la richesse taxonomique globale n'a pas présenté de différence significative entre l'eau sous-jacinthe (ESJ) et l'eau libre (EL). L'eau sous-jacinthe a été impactée par la pulvérisation, avec une nette diminution de la diversité des macroinvertébrés associée à la disparition des espèces étroitement liées à la présence de la jacinthe d'eau. Les résultats de cette étude soulignent l'importance de considérer les effets indirects des traitements de lutte contre les espèces envahissantes sur les écosystèmes aquatiques. Ils ont mis en évidence l'importance de protéger la biodiversité et l'équilibre des écosystèmes aquatiques tout en cherchant à contrôler la propagation de la jacinthe d'eau. Des recherches supplémentaires seront nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à ces changements et pour évaluer leurs impacts à long terme sur la biodiversité et le fonctionnement de l'étang.

RÉFÉRENCES

- Abahi K.S., Gnohossou P., Akodogbo H.H., Orou Piami Z., Adje D., Tchaou C., Okoya J. (2018). Structure et diversité des macroinvertébrés benthiques de la partie supérieure du fleuve Ouémé au Bénin. *Afrique Science: Revue internationale des sciences et technologie*, 14: 259–270.
- Bonacina L., Fasano F., Mezzanotte V., Fornaroli R. (2023). Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: a systematic review. *Biological Reviews*, 98: 191–221.
- Coetzee J.A., Langa S.D.F., Motitsoe S.N., Hill M.P. (2020). Biological control of water lettuce, *Pistia stratiotes* L., facilitates macroinvertebrate biodiversity recovery: a mesocosm study. *Hydrobiologia*, 847: 3917–3929.
- COL (2023). The Catalogue of Life consulté en ligne sur <https://www.catalogueoflife.org/> le 30/07/2023.
- Doannio J.M.C., Konan K.L., Dosso F.N., Koné A.B., Konan Y.L., Sankaré Y., Ekaza E., Coulibaly N.D., Odéhour K.P., Dosso M., Sess E.D., Marsollier L., Aubry J. (2011). *Micronecta* sp (Corixidae) et *Diplonychus* sp (Belostomatidae), deux hémiptères aquatiques hôtes et/ou vecteurs potentiels de *Mycobacterium ulcerans* agent pathogène de l'ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire. *Médecine tropicale*, 71: 53–57.
- Durand J.-R., Lévêque C. (1980). Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahelo-Soudanienne (Tome II), Editions de l'ORS-TOM. ed. Paris, France. 482 p.
- Ermilov S.G. (2021). Taxonomic notes on Malaconothridae (Acari, Oribatida) associated with water hyacinth in Egypt. *Zootaxa*, 4949: 589–590.
- Garcia J., Reyes A.D., David L., Simondac-Peria A. (2021). Diversity of benthic macroinvertebrates in Quiaoit and Baroro River Watersheds, Ilocos Region, Philippines. *Ecosystems and Development Journal*, 11: 32–47.
- Gezie A., Assefa W.W., Getnet B., Anteneh W., Dejen E., Mereta, S.T. (2018). Potential impacts of water hyacinth invasion and management on water quality and human health in Lake Tana watershed, Northwest Ethiopia. *Biological Invasions*, 20: 2517–2534.
- Guézo N.C., Fiogbé E.D., Bokossa H.K.J., Ouattara A., Assogba V.A., Kouamelan P.E. (2022). Impact de l'utilisation du chlorure de sodium utilisé en pulvérisation pour lutter contre le développement de la jacinthe d'eau *Eichhornia crassipes* sur la qualité physico-chimique d'un écosystème semi-artificiel. *VertigO*.
- Kotzian C.B., do Amaral A.M.B. (2013). Diversity and distribution of mollusks along the Contas River in a tropical semi-arid region (Caatinga), Northeastern Brazil. *Biota Neotropica*, 13: 299–314.
- Misteli B., Pannard A., Aasland E., Harpenslager S.F., Motitsoe S., Thiemer K., Llopis S., Coetzee J., Hilt S., Köhler J., Schneider S.C., Piscart C., Thiébaud G. (2023). Short-term effects of macrophyte removal on aquatic biodiversity in rivers and lakes. *Journal of Environmental Management*, 325: 1–42.
- Moisan J. (2010). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010: surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Développement durable, environnement et parcs Québec, Canada, 82p.
- Odountan H., Abou Y. (2016). Structure and Composition of Macroinvertebrates during Flood Period of the Nokoue Lake, Benin. *Open Journal of Ecology*, 6: 62–73.
- Oksanen J., Simpson G., Blanchet F., Kindt R., Legendre P., Minchin P., O'Hara R., Solymos P., Stevens M., Szoecs E., Wagner H., Barbour M., Bedward M., Bolker B., Borcard D., Carvalho G., Chirico M., De Caceres M., Durand S., Evangelista H., FitzJohn R., Friendly M., Furneaux B., Hannigan G., Hill M., Lahti L., McGlenn D., Ouellette M., Ribeiro Cunha E., Smith T., Stier A., Ter Braak C., Weedon J. (2022). *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-4.
- Patang F., Soegianto A., Hariyanto S. (2018). Benthic Macroinvertebrates Diversity as Bioindicator of Water Quality of Some Rivers in East Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Ecology*, 1-12.
- Robles W., Martínez E.L. (2021). A case study of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) control in Puerto Rico using glyphosate and hand removal. *Invasive Plant Science and Management*, 14: 196–203.
- Thiemer K., Schneider S.C., Demars B.O.L. (2021). Mechanical removal of macrophytes in freshwater ecosystems: Implications for ecosystem structure and function. *Science of The Total Environment*, 782: 1–17.

Transmission des trypanosomoses animales africaines (TAA) et prévalence trypanosomienne dans les cheptels en zone soudanaise de Côte d'Ivoire

B. D. KOMONO¹, L. S. YAO¹, F. K. KOUAME¹, B. G. GRAGNON²

(Reçu le 12/05/2023; Accepté le 21/07/2023)

Résumé

La situation entomologique et parasitologique des Trypanosomoses Animales Africaines (TAA) a été évaluée en zone soudanaise de Côte d'Ivoire, suite à l'arrêt des activités de lutte dû à la guerre survenue en 2002 dans le pays. L'étude s'inscrit dans le cadre de la mise en œuvre du projet d'urgence initié par la FAO pour relancer cette lutte. Les travaux ont été réalisés dans des localités issues des régions de la zone des savanes (Korhogo, Ferkessedougou). Pour étudier la transmission, les paramètres entomologiques déterminés (densité, âges physiologiques, infection), proviennent de l'échantillonnage de glossines à l'aide du piège Vavoua. Concernant l'étude parasitologique, la prévalence trypanosomienne a été évaluée à partir de données issues des prélèvements sur des animaux dont les traitements trypanocides datent d'au moins trois mois. Les trypanosomes pathogènes ont été mis en évidence sur frottis sanguins et caractérisés par PCR. En zone soudanaise de Côte d'Ivoire, la transmission des TAA est permanente à cause de la présence notable des populations de *Glossina palpalis gambiense* et des trois principaux agents pathogènes (*Trypanosoma vivax*, *Trypanosoma congolense*, *Trypanosoma brucei*) qui y circulent. Ainsi, les prévalences trypanosomiennes demeurent notables malgré les activités de lutte (antivectorielle, traitements trypanocides) menées dans les cheptels.

Mots clés: TAA, Transmission, Prévalence, Zone soudanaise, Côte d'Ivoire

Transmission of African animal trypanosomoses (AAT) and trypanosome prevalence in livestock in the Sudanese zone of Côte d'Ivoire

Abstract

The entomological and parasitological situation of Animal African Trypanosomiasis (AAT) was assessed in the Sudanese zone of Côte d'Ivoire, following the cessation of control activities due to the war that occurred in 2002 in the country. The study is part of the implementation of the emergency project initiated by the FAO to revive this control. The work was carried out in localities from the regions (Korhogo, Ferkessedougou) of the savannah area. To study transmission, entomological parameters (density, physiological ages, infection) were determined by sampling tsetse flies using the Vavoua trap. For the parasitological study, trypanosomian prevalence was assessed from data obtained from samples taken from animals that had been treated with trypanocides for at least three months. The pathogenic trypanosomes were detected on blood smears and characterized by PCR. In the Sudanese zone of Côte d'Ivoire, the transmission of AAT is permanent because of the significant presence of *Glossina palpalis gambiense* populations and the three main pathogens (*Trypanosoma vivax*, *Trypanosoma congolense*, *Trypanosoma brucei*) circulating there. Thus, trypanosomiasis prevalence remains high despite the control activities (vector control, trypanocide treatments) carried out in livestock.

Keywords: AAT, Transmission, Prevalence, Sudanese zone, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Les trypanosomoses animales africaines (TAA) sont des affections parasitaires largement répandues sous forme endémique. Elles sont provoquées par des protozoaires du genre *Trypanosoma* et transmises aux animaux, principalement par les glossines (Genre *Glossina*) ou mouches tsé-tsé (Bruce, 1895; Hoare, 1972). Les TAA se développent en zone humide et subhumide d'Afrique subsaharienne, spécifiquement dans l'aire de distribution des glossines (Laveissière *et al.*, 2000; WHO, 2004). Elles menacent environ 50 millions de bovins et 70 millions de petits ruminants (Geerts et Holmes, 1998; Swallow, 2000; Kamuanga *et al.*, 2005). En Côte d'Ivoire, l'incidence des TAA est plus élevée en zone soudanaise et notable en secteur pré-forestier où l'élevage du bétail est plus développé, qu'en zone forestière qui enregistre un faible taux du cheptel (Anonyme, 1980; Le Guen, 2004; Tanguy, 2008).

A la conférence sur l'alimentation tenue à Rome (Italie) en 1974, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a recommandé aux pays africains d'engager des actions de lutte pour juguler les impacts des trypanosomoses sur la production animale. C'est ainsi

qu'en 1978, la Côte d'Ivoire a mis en place le programme national de lutte contre les Trypanosomoses Animales Africaines et les Vecteurs (PNLTAV), dont les activités étaient concentrées en secteur pré-forestier et en zone soudanaise (Anonyme, 2004). La stratégie adoptée était basée sur la lutte antivectorielle, à l'aide du piège Vavoua imprégné de pyréthrine. Jusqu'à 2001, les activités de lutte ont été financées par l'État ivoirien, la Coopération Allemande (GTZ), la Banque Allemande pour le développement et le crédit (KfW), la FAO et le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD). De 1998 à 2001, une phase de dévolution s'est opérée. Elle a consisté à laisser désormais le financement des activités du programme à la seule charge de l'État ivoirien qui, par ailleurs, va en assurer le suivi en milieu paysan. La lutte proprement dite utilisait la méthode communautaire basée sur la participation active des paysans. Pour ce faire, plus de six cents (600) comités villageois de lutte contre les trypanosomoses animales ont pu être créés. Cela a permis d'obtenir une quasi-élimination des glossines (80% à 90%, voire 100%) sur une superficie de plus de 50 000 Km², représentant environ 35% de la surface totale (145 000 Km²) de l'espace (zone soudanaise, secteur pré-forestier) couverte par la lutte.

¹ UFR-Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

² Laboratoire Régional de Korhogo, Côte d'Ivoire

Malheureusement, la guerre et les troubles politiques de 2002 ont conduit à l'arrêt des activités de lutte, annihilant ainsi tous les efforts déjà fournis. En effet, des missions d'évaluation des impacts de la crise sur la production animale, effectuées en 2007 et en 2008 par l'État ivoirien et la FAO en zone soudanaise et en secteur pré-forestier, ont montré que les TAA constituaient à nouveau des entraves au développement de l'élevage en Côte d'Ivoire. La FAO a donc initié en 2009, un projet d'urgence intitulé «Projet d'appui à la lutte contre les trypanosomoses animales en Côte d'Ivoire» afin d'aider à la relance des activités de lutte contre les TAA sur le territoire ivoirien. Le projet consiste principalement à encadrer des paysans en vue de les amener à utiliser des pièges imprégnés de pyréthrinoides pour lutter contre les TAA. Dans ce cadre alors, 8 000 pièges de lutte ont été distribués dans toute la zone de lutte.

Ainsi, la présente étude s'inscrit dans le cadre du protocole de suivi et évaluation mis en place pour contrôler la mise en œuvre des activités du projet d'urgence initié par la FAO. Il s'agit d'évaluer principalement, du point de vue entomologique et parasitologique, la situation des TAA en zone soudanaise, suite à l'arrêt des activités de lutte du PNLTAV dû à la guerre et aux troubles politiques survenus en 2002 en Côte d'Ivoire.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude

Le climat de la zone soudanaise de Côte d'Ivoire est caractérisé par deux principales saisons (Eldin, 1971; Anonyme, 2005): une saison sèche (de novembre à avril) et une saison des pluies (de mai à octobre) avec un pic en août. La saison sèche est marquée particulièrement par la présence intermittente de l'harmattan (vent frais et sec) entre les mois de décembre et février. Les moyennes annuelles des précipitations sont comprises entre 1200 mm et 2500 mm d'eau et les températures moyennes annuelles varient entre 25°C et 35°C, sauf en période d'harmattan en saison sèche, où la température peut descendre jusqu'à 15°C. La végétation caractéristique de la région, est la savane parsemée de forêts claires (Monnier, 1983; Brou, 2005) et de quelques forêts-galeries le long des cours d'eau (Guillaumet et Adjanooun, 1971). Ce type de biotope représente des lieux de développement privilégiés pour les glossines (Laveissière *et al.*, 2000). Du point de vue hydrographique, la région des savanes s'étend dans le bassin versant du fleuve Bandama où de nombreux cours d'eau définissent un grand nombre de galeries forestières. Dans cette zone, ce sont les petits barrages qui constituent la principale ressource en eau

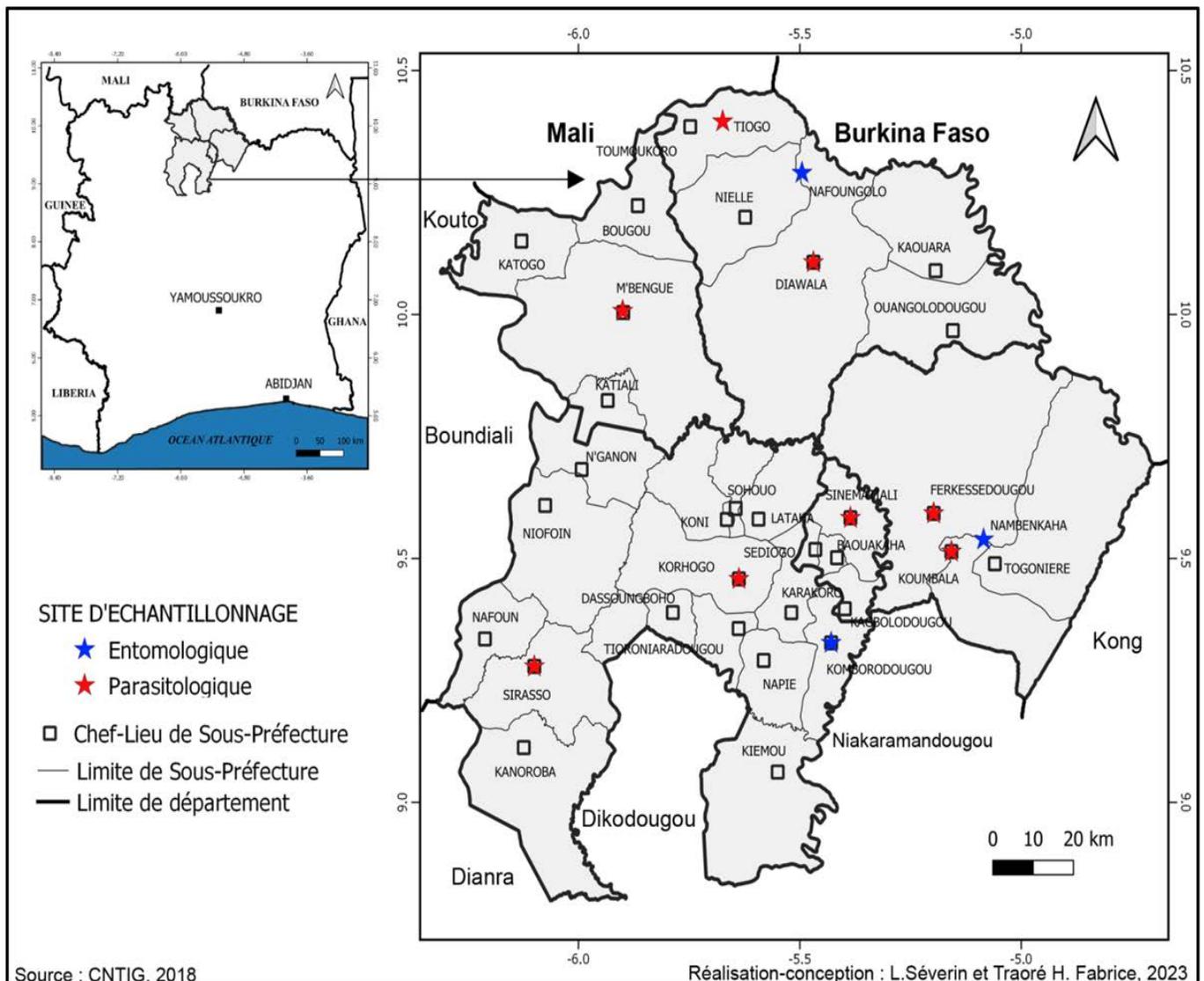


Figure 1: Zone d'étude, localisation des sites d'échantillonnage pour l'étude entomologique et de prélèvements du bétail pour l'évaluation parasitologique

(Anonyme, 1992a; Anonyme, 1992b; Da Costa *et al.*, 1998; Le Guen, 2004). Ils sont localisés essentiellement dans les bassins fluviaux du Bandama et de la Comoé, mais aussi de la Volta noire. La plus forte densité de ces barrages est observée dans la région des savanes avec comme épice, le département de Korhogo.

La population autochtone est constituée d'une multitude de communautés qui se répartissent du point de vue linguistique, en deux grands groupes: les Gur ou Voltaïques et les mandés du Nord (Marguerat, 1982). La population comprend également d'autres groupes autochtones (Mandés du Sud, Akan), ainsi que des allogènes Maliens, Nigériens et Burkinabés. Les activités de la zone d'étude, principalement agricoles, sont basées sur la culture de vivriers notamment les céréales (sorgho, mil, maïs, riz), l'igname et les cultures maraîchères, mais aussi des cultures industrielles (coton, mangue, noix de cajou). On y pratique également l'élevage surtout de bovins (MIRAH, 2014) qui servent, par ailleurs, de bêtes de culture attelée. Secondairement enfin, la population pratique la pêche dans les petits barrages (Anonyme, 1992a; Da Costa *et al.*, 1998), ainsi que le commerce tenu par les "Dioulas" (Marguerat, 1982).

Les expérimentations se sont déroulées principalement dans les régions de Korhogo (9°27'29"N/5°37'47"W) et de Ferkessédougou (9°35'34"N/5°11'40"W) (Figure 1) où il existe une plus longue expérience dans la pratique des activités agropastorales, par rapport aux autres localités du territoire ivoirien (Le Guen, 2004).

Protocole d'étude entomologique

L'étude sur la transmission des TAA a été menée du 6 au 19 avril 2010. Les travaux ont été effectués dans trois circonscriptions, représentées par les localités suivantes: Komborodougou dans le département de Korhogo, Nambonkaha dans le département de Ferkessédougou et Nafoungolo dans le département de Ouangolodougou (Figure 1). Les glossines ont été capturées à l'aide du piège Vavoua (Laveissière, 1988; Laveissière et Grébaud, 1990). A la station d'étude créée à l'occasion pour permettre le traitement des collectes, les espèces de glossines récoltées ont été identifiées à l'aide de clé (Pollock, 1982) sous une loupe binoculaire. Les spécimens ont été ensuite triés par sexe, comptabilisés puis répertoriés. Sur la base de ces données, on a déterminé la densité apparente des populations (DAP), équivalent au nombre de glossines par piège et par jour (g/p/j), et le sex-ratio, c'est-à-dire, le taux de femelles ou la proportion de femelles par rapport aux mâles (Laveissière *et al.*, 2000).

Par ailleurs, une fraction des collectes a été disséquée pour rechercher les trypanosomes au microscope au niveau des pièces buccales, des glandes salivaires et de l'intestin moyen. Les espèces de trypanosomes infectant les glossines sont alors identifiées sur la base du cycle de ces parasites chez le vecteur (Mulligan, 1970; Laveissière *et al.*, 2000; Duvallat, 2001). Les espèces ciblées sont: *T. vivax* qui se développe dans le proboscis uniquement, *T. congolense* présent dans l'intestin moyen et dans le proboscis en cas d'infection mûre et, enfin, *T. brucei* s.l. trouvé dans l'intestin, puis dans les glandes salivaires et/ou le proboscis en cas d'infection mûre. En outre, les glossines gorgées ont été identifiées, comptabilisées et réper-

toriées. Chez les femelles disséquées, particulièrement, les ovaires sont en plus observés à la loupe binoculaire pour déterminer l'âge physiologique des populations. Les paramètres d'âges physiologiques évalués sont l'âge moyen ainsi que les taux des nullipares, des jeunes pares et des vieilles pares (Itard, 1966). Le taux de glossines ténères a été également déterminé. Il s'agit des insectes qui n'ont pas encore pris leur premier repas de sang sur un hôte vertébré (Buxton, 1955). Au niveau des paramètres d'infection, les indices calculés sont la proportion de glossines parasitées (taux d'infestation) et le taux de spécimens gorgés. Il n'a pas été possible d'effectuer des analyses biomoléculaires basées sur la technique PCR, les échantillons ayant été entièrement détruits lors des événements postélectorales de 2011.

Protocole d'étude parasitologique

Les sites d'étude ont été sélectionnés suivant un échantillonnage aléatoire, à l'aide du logiciel de cartographie et de système d'information géographique Quantum Gis 2.8. Il permet la sélection des villages en superposant dans un environnement donné, les éléments relatifs aux bovins, à la trypanosomose bovine et aux vecteurs. Les sites sont alors localisés en utilisant les coordonnées GPS (Global Position System) déterminées, par correspondance sur une carte administrative. En définitive, les villages retenus sont ceux qui, en plus d'être les plus accessibles, présentent un risque important de transmission des TAA du fait de leur proximité avec les gîtes de glossines. Ainsi, huit sites d'études ont été retenus. Ils sont répartis de manière égale dans les deux régions de la zone des savanes qui ont abrité les investigations. Il s'agit de Sinématiali, Sirasso, Mbengué et de Korhogo dans la région de Korhogo, puis de Koumbala, Diawala, Niellé et de Ferkessédougou dans la région de Ferkessédougou (Figure 1).

Les animaux exploités proviennent de troupeaux sédentaires (bœufs de culture attelés (BCA), bœufs des parcs d'unité de garde) ou des bœufs en divagation. Les animaux prélevés sont ceux dont les derniers traitements datent d'au moins trois mois. Dans chaque localité visitée, 20 animaux ont été prélevés sauf à Sinématiali. Dans cette localité, les troupeaux qui ont pu être exploités n'ont permis de prélever que 13 bœufs, les autres troupeaux ayant été traités aux trypanocides (Acéturate de Diminazène) moins de deux semaines avant notre passage. Sur chaque animal, une goutte de sang prélevée à la base de l'oreille à l'aide d'une lancette, a été étalée sur une lame porte-objet pour confectionner un frottis sanguin (fixé au méthanol, puis coloré au Giemsa). Les lames constituées sont observées au microscope (grossissement x100). Des échantillons de sang ont été en outre récoltés sur du papier Wattman au moment des prélèvements. Les papiers Wattman contenant les prélèvements ont été ensuite conservés au congélateur, dans des boîtes contenant du silicagel. Puis, ils ont été transportés au laboratoire pour des analyses biomoléculaires à l'aide de PCR (Polymerase Chain Reaction). Le protocole appliqué est l'extraction de l'ADN au Chelex-100 à partir du papier filtre. Le test PCR a été réalisé à l'aide du thermocycleur de marque VWR UNO 96. Les couples d'amorces spécifiques utilisés sont: TBR1-2 (couple d'amorces spécifique de *T. brucei*), TCS1-2 (couple d'amorces spécifique de *T. congolense* groupe Savane) et TVW1-2 (couple d'amorces

spécifique de *T. vivax*). Les paramètres parasitologiques déterminés sont les taux de prévalence (ou taux de positivité) des espèces de trypanosomes identifiées, ordinairement exploités pour étudier la prévalence des trypanosomes animaux dans les cheptels:

$$\text{Taux de prévalence} = \frac{\text{Effectif de bovins parasités (positifs)}}{\text{Effectifs de bovins prélevés}} \times 100$$

L'analyse des résultats a été opérée à l'aide des logiciels Excel et Statistica 7.1. Les différentes comparaisons effectuées ont été réalisées avec le test χ^2 de Pearson pour les valeurs supérieures à 5. Pour les valeurs inférieures à 5, nous avons utilisé le test de Fisher. Les tests ont été considérés comme significatifs au seuil de 5%.

RÉSULTATS

Pour l'étude entomologique, 441 glossines ont été capturées au total à l'aide du piège Vavoua. Elles ont permis d'identifier deux espèces (*G. p. gambiensis*, *G. tachinoides*), l'essentiel des captures (97,7%) appartenant à l'espèce *G. p. gambiensis*. Cette espèce est représentée dans la capture par 431 spécimens dont 260 femelles et 171 mâles. Le reste des récoltes (2,27%), soit 10 glossines (4 femelles, 6 mâles), représentent l'espèce *G. tachinoides*. La sous-espèce *G. p. gambiensis* est présente dans les collectes au niveau des trois localités visitées (Komborodougou, Nambonkaha, Nafoungolo), tandis que *G. tachinoides* n'a pu être capturé que dans la seule localité de Nafoungolo. Globalement, la DAP de l'ensemble des glossines capturées est de l'ordre de 1,22 g/p/j, avec des valeurs du sex-ratio évaluées à 59,9%, soit 1,49 femelles pour 1 mâle. La sous-espèce *G. p. gambiensis* présente des valeurs de la DAP (1,20 g/p/j) du même ordre que celles observées pour l'ensemble des glossines capturées dans la zone d'étude. La valeur du sex-ratio s'élève à 60,2%, soit 1,52 femelles pour 1 mâle. Pour *G. tachinoides*, la valeur de la DAP est négligeable et celle du sex-ratio est inférieure à 50%. Les valeurs de la DAP et du sex-ratio varient au niveau des localités. Pour *G. p. gambiensis*, la DAP est notable à Komborodougou (1,23 g/p/j) et à Nafoungolo (1,38 g/p/j). Elle est faible à Nambonkaha (0,97 g/p/j). De même, le sex-ratio est supérieur à 60% dans les premières

localités (Komborodougou: 66,9%, Nafoungolo: 62,6%) et inférieur à 50% à Nambonkaha (48,7%). L'âge moyen des populations de *G. p. gambiensis* est évalué à 32,5 jours. Les jeunes pares sont largement majoritaires aussi bien pour l'ensemble de la zone d'étude (74,3%) que pour chacune des localités visitées: Komborodougou (73,8%), Nambonkaha (77,8%) et Nafoungolo (87,6%). Le taux des nullipares (12,1%) et celui des vieilles pares (13,6%) sont faibles et du même ordre (Tableau 1). A Nafoungolo, les deux femelles de *G. tachinoides* qui ont pu être disséquées sont des jeunes pares âgées de 24 jours. Par ailleurs, le taux de glossines ténérales est toujours compris entre 3% et 7% chez *G. p. gambiensis*, que ce soit pour l'ensemble de la zone d'étude que pour chacune des localités visitées. Aucune glossine ténérale n'a pu être observée au niveau des dissections effectuées chez *G. tachinoides*. Par ailleurs, chez *G. p. gambiensis*, les infestations enregistrées sont localisées spécifiquement au niveau des pièces buccales et de l'intestin moyen. Aucune infestation n'a été notée dans les glandes salivaires. La majorité des infestations a été observée au niveau des pièces buccales, que ce soit pour l'ensemble de la zone d'étude que pour chacune des localités visitées (Tableau 2). Aucun cas d'infestation concomitante des organes par des trypanosomes n'a pu être mis en évidence chez les glossines disséquées. Enfin, pour l'ensemble de la zone d'étude, le taux de glossines gorgées enregistré est de l'ordre de 3,26%. Ces glossines appartiennent à la sous-espèce *G. p. gambiensis*. Elles proviennent de Komborodougou et de Nafoungolo, avec une prédominance de celles de Komborodougou. Aucune mouche tsé-tsé gorgée n'a pu être observée parmi les spécimens disséqués à Nambonkaha.

Pour les analyses parasitologiques, un effectif de 239 bovins ont été prélevés dans les localités des régions de Korhogo et de Ferkessedougou. Sur la base des examens de frottis sanguins, 20 animaux ont été trouvés porteurs d'infections trypanosomiennes. Les espèces et sous-espèces identifiées sont *T. vivax*, *T. congolense* et *T. brucei* s. l. La comparaison des différentes valeurs de la prévalence trypanosomienne montre des différences significatives (P<0,05). Globalement, la prévalence est de 8,37% pour l'ensemble des trois espèces de trypanosomes prélevées

Tableau 1: Paramètres de densité de *Glossina palpalis gambiensis* en zone de savane de Côte d'Ivoire

Localités	Effectifs				Paramètres entomologiques de densité				
	Total des captures	Femelles	Mâles	Femelles disséquées	DAP (g/j/p)	Sex-ratio (%)	Nullipares (%)	Jeunes pares (%)	Vielles pares (%)
Komborodougou	148	99	49	61	1,23	66,9	9,83	73,8	16,4
Nambonkaha	117	57	60	27	0,97	48,7	11,1	77,8	11,1
Nafoungolo	166	104	62	52	1,38	62,6	15,4	84,6	11,5
TOTAL	431	260	171	140	1,20	60,3	12,2	74,3	13,6

Tableau 2: Infestation de *Glossina palpalis gambiensis* par les trypanosomes en zone de savane de Côte d'Ivoire

Localités	Effectifs		Taux (%) d'infestation de <i>Glossina palpalis gambiensis</i> par les trypanosomes			
	Glossines disséquées	Glossines parasitées	Taux global d'infestation	Infestation des pièces buccales	Infestation des glandes salivaires	Infestation de l'intestin moyen
Komborodougou	89	9	10,1	8,98%	0	1,13%
Nambonkaha	60	1	1,66	1,66%	0	0
Nafoungolo	96	9	9,37	5,20%	0	4,17%
TOTAL	245	19	7,75	5,71%	0	2,04%

sur le bétail dans la zone d'étude. Par région, les parasites infectent le bétail plus à Korhogo (10,5%) qu'à Ferkessédougou (8,37%). Dans la zone de Korhogo, le plus grand nombre de bovins infectés par les trypanosomes a été enregistré dans les localités de Korhogo (17,1%) et de M'bengué (12,8%). Ce nombre est nul dans le reste des localités visitées (Sinématiali, Sirasso). Dans la zone de Ferkessédougou, la prévalence est notable dans la localité de Ferkessédougou (8,70%). Ailleurs à Koumbala, Diawala et Niellé/Torio, elle est faible et du même ordre (4,35%). Par rapport aux espèces de trypanosomes, le taux de prévalence est de 2,51% pour *T. vivax*, 3,77% pour *T. congolense* et de 2,09% pour *T. brucei* (Tableau 3).

La comparaison des taux de prévalence enregistrés par espèce de trypanosome montre des différences significatives ($P < 0,05$). Au niveau des régions, le taux de prévalence de *T. vivax* est du même ordre à Korhogo (2,42%) et à Ferkessédougou (2,61%), contrairement à celui de *T. congolense* qui est pratiquement 2 fois plus élevé à Ferkessédougou (4,84%). Concernant *T. brucei*, l'espèce infecte plus les animaux à Korhogo (3,23%) où le taux de prévalence est pratiquement 4 fois plus fort que celui de Ferkessédougou (0,87%) (Figure 2). Enfin, dans les localités de Korhogo, M'bengué et de Ferkessédougou où les trois espèces de

trypanosomes sont rencontrées, *T. congolense* présente les plus forts taux de prévalence (1,26% à Korhogo et à M'bengué, 0,84% à Ferkessédougou). *T. vivax* et *T. brucei* apparaissent avec des taux comparables, d'une part à Korhogo (0,84%) et, d'autre part, à Ferkessédougou (0,42%), contrairement à M'bengué où c'est *T. brucei* qui est majoritaire (Figure 3).

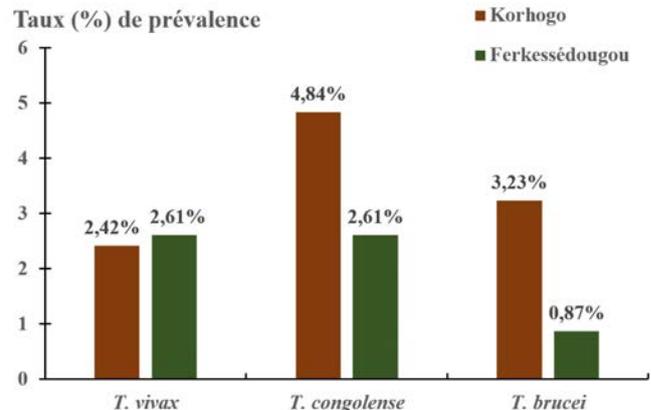


Figure 2: Comparaison du taux de prévalence par espèce de trypanosomes chez le bétail dans les régions de Korhogo et de Ferkessédougou

Tableau 3: Prévalence trypanosomienne dans les cheptels en zone de savane de Côte d'Ivoire

Région	Localités	Effectifs		Prévalence globale (%)	Effectifs de bovins parasités et prévalence selon l'espèce de trypanosome					
		bovins prélevés	bovins parasités		<i>T. vivax</i>		<i>T. congolense</i>		<i>T. brucei</i>	
					Effectifs	Prévalence (%)	Effectifs	Prévalence (%)	Effectifs	Prévalence (%)
Korhogo	Korhogo	41	7	17,1	2	4,88	3	7,32	2	4,88
	Sinématiali	13	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sirasso	23	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mbengué	47	6	12,8	1	2,13	3	6,38	2	4,26
Total région de Korhogo		124	13	10,5	3	2,42	6	4,84	4	3,23
Ferkessédougou	Ferkessédougou	46	4	8,70	1	2,17	2	4,35	1	2,17
	Koumbala	23	1	4,35	1	4,35	0	0	0	0
	Diawala	23	1	4,35	1	4,35	0	0	0	0
	Niellé/Tiogo	23	1	4,35	0	0	1	4,35	0	0
Total région de Ferkessédougou		115	7	6,09	3	2,61	3	2,61	1	0,87
TOTAL		239	20	8,37	6	2,51	9	3,77	5	2,09

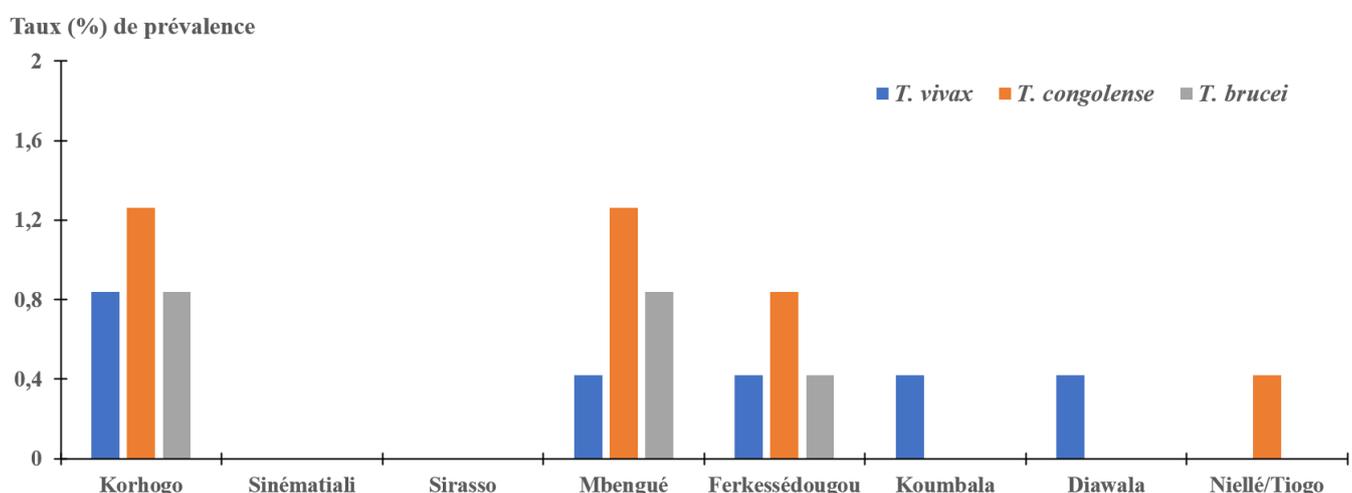


Figure 3: Comparaison du taux de prévalence des espèces de trypanosomes dans les cheptels selon les localités en zone de savane de Côte d'Ivoire

DISCUSSION

G. p. gambiensis et *G. tachinoides* sont les espèces de glossines rencontrées dans la zone d'étude. Les collectes ont été effectuées dans les galeries forestières le long des cours d'eau qui, selon les travaux de différents auteurs, représentent le milieu de vie typique de *G. p. gambiensis* et de *G. tachinoides* (Nékpéni *et al.*, 1989; Penchenier et Laveissière, 2000). C'est le lieu d'indiquer que *G. p. gambiensis* constitue, avec *G. p. palpalis*, les deux sous-espèces du complexe *G. palpalis*. En Côte d'Ivoire, la première espèce vit en secteur pré-forestier et en savane soudanaise, tandis que la seconde espèce (*G. p. palpalis*) se développe principalement en zone forestière (Nékpéni *et al.*, 1989). En outre, la galerie forestière de Nafoungolo où *G. tachinoides* est observé régulièrement dans les captures, avait déjà été identifiée dans les années 1970, comme un endroit abritant des gîtes de développement et des lieux de repos de cette espèce (Laveissière, 1975; Laveissière *et al.*, 1981). C'est une forêt située le long de la Léraba, rivière (affluent du Bandama) qui sépare les territoires de Côte d'Ivoire et du Burkina Faso. Ainsi dans la région des Savanes, les conditions apparaissent propices au développement de *G. p. gambiensis* et de *G. tachinoides*. Cette interprétation est conforme à celle de Clair et Lamarque (1984) qui stipulent que *G. p. gambiensis* et *G. tachinoides* sont des glossines caractéristiques du secteur pré-forestier et de la zone soudanaise en Côte d'Ivoire. Cependant, au cours des enquêtes sur le terrain, nous nous sommes aperçus de la forte dégradation de l'ensemble des galeries forestières visitées, faisant place sur les marges à de vastes zones de plantations agricoles (anacardières, cotonniers, mil, etc.). Pour différents auteurs, un tel agroécosystème est préférentiellement favorable à la prolifération des sous-espèces de *G. p. gambiensis* (Gouteux *et al.*, 1982; Reid *et al.*, 2000). Ainsi, les conditions de l'environnement semblent devenues moins propices au développement de *G. tachinoides* que par le passé, certainement à cause des modifications dues à l'activité humaine. La disparité de la densité des populations de *G. p. gambiensis* au niveau des localités exploitées peut être liée à l'impact des activités de lutte antivectorielle menée à l'aide du piège Vavoua imprégné de pyréthrianoïde dans toute la zone soudanaise un an durant (de mars 2009 à avril 2010), dans le cadre du projet d'urgence initié par la FAO. L'utilisation de support-pièges imprégnés d'insecticides contre les glossines est une pratique efficace, devenue courante en Afrique de l'Ouest ces quarante dernières années. La méthode a contribué, ainsi, à éliminer des populations de *G. mositans submorsitans*, *G. tachinoides* et de *G. p. gambiensis* dans la zone agropastorale de Sidéradougou au Burkina Faso (Politzar et Cuisance, 1984). En Côte d'Ivoire, des campagnes de lutte contre les populations du vecteur de la maladie du sommeil en zone forestière (*G. p. palpalis*) ont été organisées à l'aide d'écrans imprégnés de pyréthrianoïdes, dans les foyers de Vavoua (Laveissière *et al.*, 1986) et de Sinfra (Laveissière *et al.*, 1996). En dehors des foyers de la maladie du sommeil, mais toujours en zone forestière, une campagne de lutte contre *G. p. palpalis* a été organisée en zone urbaine au sud du site de la ville d'Abidjan, également à l'aide d'écrans imprégnés de pyréthrianoïdes (Kaba, 2006). Le piège Vavoua imprégné de pyréthrianoïde utilisé dans le cadre du projet d'urgence de la FAO, s'est déjà montré très efficace et approprié pour éliminer les mouches tsé-tsé au

niveau du secteur pré-forestier et de la zone soudanaise en Côte d'Ivoire (Anonyme, 2004). Cependant dans ce cas, les activités ont été réalisées par des spécialistes (chercheurs, praticiens, techniciens, etc.), alors que dans le cadre du projet d'urgence initié par la FAO, la stratégie mise en place est basée sur une approche communautaire. Ce sont les paysans, regroupés au sein de comités villageois, qui sont chargés de poser et d'entretenir les pièges de lutte. Ainsi, nos résultats semblent montrer que le comité de lutte du village Nambonkaha a été le plus performant par rapport à ceux des deux autres localités (Komborodougou, Nafoungolo) qui ont abrité les expérimentations. Il y a plus de femelles que de mâles de *G. p. gambiensis*, au niveau des captures de l'ensemble de la zone d'étude. Ce fait est habituel chez les glossines à cause de la plus forte longévité des femelles. Il témoigne, par ailleurs, de la fiabilité de l'échantillonnage des glossines effectué à l'aide du piège Vavoua (Laveissière, 1988; Laveissière et Grébaut, 1990). Dans ce cas, en effet, le taux de femelles est toujours supérieur à 50%. Ce résultat est vérifié pour l'ensemble de la zone d'étude. Par contre, il présente des particularités lorsque les observations sont faites selon les localités visitées. En effet, nos résultats montrent qu'à Nambonkaha, ce sont les actions de lutte qui ont conduit à une réduction considérable du taux des femelles par rapport à celui des mâles. Par ailleurs, les populations sont constituées en majorité de glossines jeunes comparativement à la durée de vie normale des mouches tsé-tsé qui est de l'ordre de 90 jours (Itard, 1986; De la Rocque *et al.*, 2001). Les taux de nullipares et de vieilles pares sont du même ordre. Ce résultat diffère de ceux des travaux de Zézé *et al.*, (2007; 2008) et de Komono (2009) qui stipulent qu'en fonction de leur importance, les groupes d'âges physiologiques chez les glossines se classent dans l'ordre suivant: vieilles pares, jeunes pares et nullipares. Il a été noté également que le taux de glossines ténères témoigne de la présence d'une forte proportion de néonates dans les collectes, contrairement à ce qui est observé en zone forestière (Zézé *et al.*, 2007; 2008; Komono, 2009). Nos résultats font donc apparaître que la présence de pièges de lutte constitue un facteur limitant pour la longévité des glossines, maintenant ainsi des populations de mouches tsé-tsé jeunes dans la zone expérimentale. Pourtant, ce sont les très jeunes glossines qui présentent la plus forte aptitude à s'infecter assez facilement et à permettre le développement du trypanosome jusqu'au stade infectant (Welburn *et al.*, 1989; Laveissière *et al.*, 1984). Par conséquent, leur prépondérance au sein des populations de mouches étudiées est une condition favorable à une transmission efficace des trypanosomes dans la zone d'étude.

L'observation chez les glossines disséquées de trypanosomes au niveau de l'intestin moyen ou des pièces buccales, laisse supposer que certaines ou l'ensemble des espèces de trypanosomes suivantes, *Trypanosoma vivax*, *T. congolense*, *T. suis*, *T. simiae* et *T. uniformis*, seraient en circulation dans la zone d'étude. Cette possibilité apparaît probable surtout pour *T. vivax* et *T. congolense* qui, avec *T. brucei brucei*, sont couramment rencontrés chez les glossines. En effet, ces espèces ont été mises en évidence déjà chez *G. tachinoides* et *G. p. gambiensis* dans une zone d'élevage au Burkina Faso (Solano *et al.*, 1999; Lefrançois *et al.*, 1998). Elles ont été rencontrées également chez *G. p. palpalis* dans des foyers de transmission de la maladie du

sommeil en zone forestière de Côte d'Ivoire (Jamonneau *et al.*, 2004). C'est le lieu d'indiquer que du point de vue de l'épidémiologie et de la transmission des trypanosomoses bovines, ces espèces présentent un intérêt majeur. En particulier, *T. vivax* figure parmi les agents pathogènes des plus importantes affections bovines (Finelle, 1983; Maclennan, 1983). *T. congolense* se compose de deux formes (groupe Forêt, groupe Savane) dont l'une, *T. congolense* groupe Savane, constitue l'une des formes la plus pathogène pour le bétail, singulièrement les bovins. De ce fait, elle circule de préférence dans les zones de savanes à activités agropastorales (Bengaly *et al.*, 2002a; 2002b; Lefrançois *et al.*, 1998). Quoiqu'il en soit, la méthode parasitologique de diagnostic utilisée pour apprécier l'infection des glossines par des trypanosomes, présente des inconvénients majeurs. Par exemple, elle ne permet d'observer une glande salivaire infectée que pour environ 1000 mouches disséquées (Hoare, 1972). De plus, elle ne donne lieu qu'à une identification approximative des espèces qui infectent les glossines (Mulligan, 1970; Laveissière *et al.*, 2000). Aujourd'hui, c'est la technique PCR qui présente la meilleure performance en matière de caractérisation des espèces de trypanosomes. En effet, cette technique permet d'une part, de détecter un plus grand nombre d'infections et, d'autre part, la mise en évidence d'un taux d'infection conforme aux réalités sur le terrain (Jamonneau *et al.*, 2004). Malheureusement, les analyses biomoléculaires basées sur la technique PCR, n'ont pas pu être effectuées parce que les échantillons constitués ont été entièrement détruits lors des événements post électoraux de 2011.

La prévalence trypanosomienne présente des taux notables dans les cheptels des régions de Korhogo et de Ferkessédougou qui abritent les sites d'expérimentation. En zone de savane de Côte d'Ivoire, la trypanosomose bovine sévit préférentiellement dans ces régions, ainsi que dans celle de Boundiali (Camus, 1979; Acapovi *et al.*, 2016). Ces localités (Korhogo, Ferkessédougou, Boundiali) sont situées dans le bassin versant du fleuve Bandama, parsemé de plusieurs rivières qui tarissent, pour beaucoup d'entre elles, en saison sèche. Pendant cette période, elles offrent alors par endroits, des points humides autour desquels se développent des îlots forestiers. Ainsi, ces îlots de forêts trouvés le long de ces cours d'eau, mais aussi d'autres érigés en «bois sacrés» par les communautés traditionnelles des régions, constituent de véritables gîtes pour les glossines vectrices biologiques des trypanosomoses. La présence de *T. brucei*, espèce transmise uniquement par le vecteur biologique, parmi les espèces de trypanosomes observées, indique l'effectivité du rôle vectoriel des glossines dans la transmission trypanosomienne dans les localités visitées. La prévalence enregistrée notamment pour les espèces de *T. vivax* et *T. congolense* au cours de nos expérimentations apparaît plus élevée que celle déjà observée en zone de savane de Côte d'Ivoire (Komoin *et al.*, 2004; Acapovi, 2005). *T. vivax* est l'espèce la plus importante après *T. congolense* et la plus observée aussi en termes de distribution dans les sites. Outre les glossines, *T. vivax* peut aussi se transmettre mécaniquement par certains diptères que sont les Stomoxes et les Tabanidés (Itard, 2000; Desquesnes et Dia, 2004). La faible ou absence d'infection dans plusieurs élevages serait probablement dû au fait que l'étude s'est déroulée vers la fin de la saison sèche. A cette période, les glossines dont

leur dispersion dans la savane est plus accentuée en saison des pluies (De La Rocque et Cuisance, 2005), sont rares et infectent moins les animaux. Cette situation pourrait pourtant favoriser le contact hôte/vecteur dans la mesure où les seuls points d'eau devant servir d'abreuvement pour les animaux sont aussi les gîtes des glossines (Itard, 1981). Il se trouve que dans la plupart des cas, les bovins sont conduits vers les barrages hydroagricoles où la majorité des animaux est utilisée pour les cultures maraîchères. Ces cultures il faut le noter, utilisent beaucoup de pesticides qui exercent une réaction répulsive sur les mouches tsé-tsé, susceptible ainsi de réduire considérablement le contact glossines-bovins. Enfin à l'origine, les bovins trouvés en zone de savane sont des bovins attelés. Ceux-ci ont évolué par la suite pour constituer des troupeaux avec l'insertion de taurillons non castrés et de génisses. Du fait de leur importance dans l'agriculture locale, ces animaux sont l'objet de beaucoup plus de soins.

Du point de vue de la fréquence, *T. congolense* est plus importante que *T. vivax* et *T. brucei* chez les bovins de la zone d'étude. Ce résultat corrobore ceux des travaux menés par Lefrançois *et al.* (1998), Bengaly *et al.* (2002a), ainsi que par Solano *et al.* (1999) pour qui *T. congolense* groupe Savane qui provoque la plus sévère des trypanosomoses animales, circule dans les zones de savane à activités agropastorales. La fréquence de *T. congolense*, de *T. vivax* et de *T. brucei* notée dans la zone d'étude corrobore également les observations de Talaki *et al.* (2009) dans la zone de Sikasso au Mali et de Tanenbe *et al.* (2010) au Cameroun, sur la distribution de ces espèces ou sous-espèces de trypanosomes. Ces études ont révélé une prédominance de *T. congolense* parmi les trois espèces identifiées, malgré le fait que, particulièrement, la zone d'étude du Cameroun soit supposée indemne de glossines. Cependant, les résultats enregistrés, par les études de Sow *et al.* (2014) dans les zones agropastorales du Burkina Faso et d'Acapovi *et al.* (2016) en zone sub-soudanaise et soudano-guinéenne de Côte d'Ivoire ne confirment pas cette tendance. En zone sub-soudanaise et soudano-guinéenne de Côte d'Ivoire, particulièrement, *T. vivax* était l'espèce de trypanosome ayant la plus forte fréquence (82,5%) suivie de *T. congolense* (10,5%) puis de *T. brucei* (7%).

CONCLUSION

Du point de vue entomologique, dans la région des savanes de Côte d'Ivoire, l'échantillonnage des glossines à l'aide du piège Vavoua a permis de montrer la présence de *G. p. gambiensis* et de *G. tachinoïdes* dans les captures. Toutefois, l'environnement semble peu propice au développement de *G. tachinoïdes* qui, de ce fait, a été récolté en densité négligeable. Il en résulte cependant une transmission permanente des TAA à cause de la présence notable des populations du vecteur *Glossina palpalis gambiensis* et des trois principaux agents pathogènes (*T. vivax*, *T. congolense*, *T. brucei*) qui circulent dans la région. Le risque est d'autant plus réel qu'on note une prédominance de jeunes pares de glossines dans les captures.

Toutefois, les paramètres entomo-épidémiologiques évalués semblent révéler l'existence d'impacts dus à la lutte antivectorielle en cours dans la région, sur les populations de glossines. Ces impacts qui se traduisent principalement

par une réduction considérable du sex-ratio, sont à l'origine de la très forte prédominance de jeunes pares dans les captures.

Ainsi, du point de vue parasitologique, les prévalences trypanosomiennes demeurent notables malgré la stratégie de lutte intégrée qui associe la lutte antivectorielle aux traitements trypanocides dans les cheptels. En cela, le projet FAO de relance de la lutte contre les TAA en zone de savane de Côte d'Ivoire, apparaît comme une véritable opportunité.

RÉFÉRENCES

- Acapovi G.L. (2005). Identification et bio-écologie des tabanidés, vecteurs mécaniques potentiels de la trypanosomose bovine dans les régions de savanes en Côte d'Ivoire (Odienné et Korhogo). Thèse d'université n°435, 137p.
- Acapovi-Yao G.L., Cissé B., Zinga Koumba C.R., Mavoungou J.F. (2016). Infections trypanosomiennes chez les bovins dans des élevages de différents départements en Côte d'Ivoire. *Revue Méd. Vét.*, 167: 289-295.
- Anonyme (1980). Le bétail trypanotolérant en Afrique Occidentale et centrale volume 2 - Étude par pays. FAO, 311p.
- Anonyme (1992a). Valorisation du potentiel piscicole des barrages hydro-agropastoraux du nord de la Côte d'Ivoire. IDESSN-CRDI. Rapport préliminaire IDESSAR, Bouaké, Côte d'Ivoire, multigr., 181p.
- Anonyme (1992b). Inventaire des barrages hydro-agricoles et à autres vocations existant en Côte d'Ivoire. Direction et Contrôle des Grands Travaux (DCGTx) Rapport. Abidjan, RCI.
- Anonyme (2004). Programme National de Lutte contre les Trypanosomoses Animales Africaines et les Vecteurs. Rapport final des activités de lutte contre les tsé-tsé de 1978 à 2001. Minst. Prod. An. Ress. Halieut., 24p.
- Anonyme. (2005). Départements et districts de Côte d'Ivoire. Guide annuel, Edition 2005, Groupe Inter-communication, Abidjan, 420p.
- Bengaly Z., Sidibé I., Boly H., Sawadogo L., Desquesnes M. (2002a). Comparative pathogenicity of three genetically distinct *Trypanosoma congolense*-types in inbred Balb/c mice. *Veterinary Parasitology*, 105: 111-118.
- Bengaly Z., Sidibé I., Ganaba R., Desquesnes M., Boly H., Sawadogo L. (2002b). Comparative pathogenicity of three genetically distinct types of *Trypanosoma congolense* in cattle: clinical observations and haematological changes. *Veterinary Parasitology*, 108: 1-19.
- Brou Y.T. (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques. Université des Sciences et Technologies de Lille, 226p.
- Bruce D. (1985). Tsetse fly disease or Nagana. Harrison & Sons, London, 89p.
- Buxton P.A. (1955). The natural history of tsetse flies. *Lond. Sc. Hyg. Trop. Med.*, 10, 816p.
- Camus E. (1979). Approche épizootologique et incidence clinique de la Trypanosomose sur le bétail sédentaire du Nord de la Côte-d'Ivoire. 42^{ème} session générale de L'office international des épizooties, Paris, France, 13p.
- Clair M., Lamarque G. (1984). Répartition des glossines dans le nord de la Côte d'Ivoire. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 37: 60-83.
- Da Costa K.S., Traoré K., Tito de Morais L. (1998). Effort de pêche et production exploitée dans les petites retenues du Nord de la Côte d'Ivoire. *Bull. fran. Pêche, Piscic.*, 71: 65-78.
- De La Rocque S., Cuisance D. (2005) La tsé-tsé, une mouche singulière et dangereuse. *Insectes*, 136: 27-31.
- De la Rocque S., Michel J.F., Cuisance D., De Wispelaere G., Solano P., Augusseau X., Arnaud M., Guillobez S. (2001). Du satellite au microsatellite. Le risque trypanosomien. Une approche globale pour une décision locale. CIRAD, France, Montpellier, 151p.
- Desquesnes M., Dia M.L. (2004). Mechanical transmission of *Trypanosoma vivax* in cattle by the African tabanid *Atylotus fuscipes*. *Vet. Parasitol.*, 119: 9-19.
- Duvallet G. (2001). Épidémiologie et manifestations cliniques de l'infection à virus West Nile. Colloque Changement climatique et maladies à vecteurs, Nice, 18-20 novembre 2001, SEM, EDFGDF, Paris.
- Eldin M. (1971). Le climat. In: le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mém. ORSTOM, Paris, 50: 73-108.
- Finelle P. (1983). La trypanosomiase animale africaine. Première partie: Généralités – Chimiothérapie. *Rev. Mond. Zootech., FAO*, 37: 1-6.
- Geerts S., Holmes P.H. (1998). Drug management and parasite resistance in bovine trypanosomiasis in Africa. Rome, PAAT Technical Sciences Series, FAO, N°1, 31p.
- Gouteux J.P., Laveissière C., Boreham P.F.L. (1982). Écologie des glossines en secteur pré-forestier de Côte d'Ivoire. 2. Les préférences trophiques de *Glossina pallicera* et *G. nigrofusca*: Comparaison avec *G. palpalis* et implications épidémiologiques. *Cah. ORSTOM., sér. Ent. méd. et Parasitol.*, 20: 109-124.
- Guillaumet J.L., Adjanohoun F. (1971). La végétation de la Côte d'Ivoire. In: le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mém. ORSTOM, Paris, 50: 157-263.
- Hoare C.A. (1972). The Trypanosomes of Mammals. A Zoological Monograph. Oxford, United Kingdom: Blackwell Scientific Publications, 749p.
- Itard J. (1966). Chromosomes de glossines. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 263 série D19: 1395-1397.
- Itard J. (1981). Les trypanosomoses animales africaines. In: Précis de parasitologie vétérinaire tropicale. Ministère de la Coopération et du Développement. *Manuels et Précis d'élevage*, Paris, 10: 303-370.
- Itard J. (1986). Les glossines ou mouches tsé-tsé. IEMVT, Maisons-Alfort, Paris, France. 155p.
- Itard J., (2000). Les trypanosomoses animales africaines. In: Précis de parasitologie vétérinaire tropicale. AUPELF-UREF, TEC et Doc Lavoisier, Paris : 205-450.
- Jamonneau V., Ravel S., Koffi M., Zézé D., Kaba D., N'dri L., Coulibaly B., Cuny G., Solano P. (2004). Mixed trypanosome infections in tsetse and pigs and their epidemiological significance in a sleeping sickness focus in Côte d'Ivoire. *Parasitology*, 129: 293-702.
- Kaba D. (2006). Étude des glossines vectrices des trypanosomoses africaines et lutte antivectorielle au 43^{ème} BIMA à Abidjan (Port-Bouët) en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, Université de Bouaké, 70p.
- Kamuanga M., Hamadou S., Bouyer J., Yao Y., Sidibé I., Kaboré I. (2005). Comment pérenniser les acquis de la lutte antivectorielle ? Fiche technique n°14 CIRDES/CIRAD.
- Komoin-Oka C., Zinsstag J., Fofana F., N'dépo A., Knopf L. (2004). Le parasitisme sanguin des bovins de la zone centre de savane humide de la Côte d'Ivoire In: Le parasitisme des ruminants domestiques en Afrique de l'Ouest, cas de la Côte d'Ivoire. *Sempervira*, 11: 60-63.
- Komono B.D. (2009). Évaluation entomologique de la Trypanosomose Humaine Africaine et étude de la variabilité génétique de *Glossina palpalis palpalis* Robineau-Desvoidy 1830 dans le foyer de Bonon (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'État, Université d'Abobo-Adjamé, 12, 148p.
- Laveissière C., Grebaut P. (1990). Recherche sur les pièges à glossine (Diptera: Glossinidae). Mise au point d'un modèle économique: le piège «Vavoua». *Tropical Medicine and Parasitology*, 41: 185-192.
- Laveissière C. (1975). Détermination de l'âge des glossines ténérales (*Glossina tachinoides* Westwood). *Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. et Parasitol.*, 13: 3-11.
- Laveissière C. (1988). Les glossines. Guide de formation et d'information. Série lutte antivectorielle. Genève, O.M.S., Division de la biologie des vecteurs et de la lutte antivectorielle, 91p.

- Laveissière C., Couret D., Eouzan J.P. (1986). La campagne pilote contre la trypanosomiase humaine dans le foyer de Vavoua (Côte d'Ivoire). 3. Résultat des évaluations entomologiques. *Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. et Parasitol.*, 24: 7-20.
- Laveissière C., Couret D., Kienou J.P. (1981). Lutte contre les glossines riveraines à l'aide des pièges biconiques imprégnés d'insecticide en zone de savane humide. 4. Expérimentation à grande échelle. *Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. Et Parasitol.*, 19: 41-48.
- Laveissière C., Grebaut P., Herder S., Penchenier L. (2000). Les glossines vectrices de la Trypanosomiase humaine africaine. OCEAC/IRD, 246p.
- Laveissière C., Kienou J.P., Traoré T. (1984). Écologie de *Glossina tachinoïdes* Westwood, 1950, en savane humide d'Afrique de l'Ouest. X. Durée du stade pupal. Importance de ce paramètre dans la dynamique des populations. *Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. Et Parasitol.*, 19: 261-269.
- Laveissière C., Sané B., Doua F., Amani K.R., Angui P. (1996). Intégration du dépistage de la surveillance de la maladie du sommeil et de la lutte antivectorielle aux Soins de Santé Primaire dans le foyer de Sinfra (Côte d'Ivoire). 2^{ème} Rapport provisoire. Rapport IPR/OCCGE, n°01/IPR/RAP/96, 41p.
- Le Guen T. (2004). Le développement agricole et pastoral du Nord de la Côte-d'Ivoire: problèmes de coexistence. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 226-227.
- Lefrançois T., Solano P., de La Rocque S., Bengaly Z., Reifenberg J.M., Kaboré I., Cuisance D. (1998). New epidemiological features on animal trypanosomosis by molecular analysis in the pastoral zone of Sidéradougou, Burkina Faso. *Molec. Ecol.*, 7: 897-904.
- MacLennan, K. J.R. (1983). Tsetse-transmitted trypanosomiasis in relation to rural economy in Africa. Part I. Tsetse infestation. *FAO Anim. Prod. Health*, 37: 48-63.
- Marguerat Y. (1982). Des ethnies et des villes. Analyse des migrations vers les villes de Côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O. M. Al., R~P. Sci. Hum.*, XVIII, 110 3, 19X1: 509-340.
- MIRAH (2014). Plan stratégique de développement de l'élevage, de la pêche et de l'aquaculture en Côte d'Ivoire (PSDEPA 2014-2020). Tome I., 102p.
- Monnier Y. (1983). Végétation in «Les atlas jeune Afrique Côte d'Ivoire». J.A, P.: 16-18.
- Mulligan H.W. (1970). The African trypanosomiasis. Ed. H.W. Mulligan. Allen and Unwin, London, 950p.
- Nékpéni E.B., Dagnogo M., Eouzan J.P. (1989). Détermination de la limite géographique entre deux sous-espèces de glossines: *Glossina palpalis palpalis* (Rob-Desv., 1830) et *Glossina palpalis gambiensis* (Vanderplanck, 1949). *Med. Trop. Parasitol.*, 40: 12-15.
- Penchenier L., Laveissière C. (2000). Manuel de lutte contre la maladie du sommeil en Afrique centrale & occidentale. 1. Généralités. OCEAC/IRD, 66p.
- Politzar H., Cuisance D. (1984). An integrated campaign against riverine tsetse flies *Glossina palpalis gambiensis* and *Glossina tachinoïdes* by trapping and the release of sterile males. *Insect Science and its Application*, 5: 439-442.
- Pollock J.N. (1982). Training manual for tsetse control personnel. Tsetse biology; systematics and distribution; techniques. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Genève, 280p.
- Reid R.S., Kruska R.L., Deichmann U., Thornton P.K., Leak S.G. A. (2000). Human population growth and the extinction of the tsetse fly. *Agric. Ecosyst. Env.*, 77: 227-236.
- Solano P., Michel J.F., Lefrançois T., De La Rocque S., Sidibe I., Zoungrana A., Cuisance D. (1999). Polymerase Chain Reaction as diagnosis tool for detecting trypanosomes in naturally infected cattle in Burkina Faso. *Vet. Parasitol.*, 86: 95-103.
- Sow A., Ouédraogo M., Sidibé I., Kalandi M., Zabré Z.M., Sawadogo G.J. (2014). Enquête de base parasitologiques de la trypanosomose animale dans trois zones agropastorales du Burkina Faso. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 62: 241-250.
- Swallow B. M. (2000). Impacts of trypanosomosis on African agriculture. Programme Against African Trypanosomiasis (PAAT), Technical series, No. 2, FAO, Rome, Italy, 52p.
- Talaki E., Sidibé I., Diall O., Affognon H., Grace D., Djiteye A., Bocoum Z., Diarra B., Belem A. M.G., Pangui L.J. (2009). Variations saisonnières et facteurs de risques des trypanosomoses animales dans un contexte de chimiorésistance dans la zone de Sikasso au Mali. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 57: 149-160.
- Tanenbe C., Gambo H., Musongong A. G., Boris O., Achukwi M.D. (2010). Prévalence de la trypanosomose bovine dans les départements du Faro et Déo, et de la Vina au Cameroun: bilan de vingt années de lutte contre les glossines. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 63: 63-69.
- Tanguy Le G. (2008). Le développement agricole et pastoral du nord de la Côte d'Ivoire: Problème de coexistence". *Les cahiers d'outre-mer*, 226 - 227.
- Welburn S.C., Maudlin I., Ellis D.S. (1989). Rate of trypanosome killing by lectins in midguts of different species and strains of *Glossina*. *Med. Vet. Entomol.*, 3: 77-82.
- WHO. (2004). African trypanosomiasis or sleeping sickness - fact-sheet = La trypanosomiase africaine ou la maladie du sommeil-aide-mémoire. *Weekly Epidemiological Record = Relevé épidémiologique hebdomadaire*, 79: 297-300.
- Zézé G.D., Coulibaly B., Komoin C., Dofini F., Kaba D., Lohuirignon L., N'Dri L., Koffi A. (2008). Distribution spatiale de *Glossina palpalis palpalis* dans la forêt du Banco et ses environs à Abidjan (Côte d'Ivoire). *Belg. J. Entomol.*, 10: 3-15.
- Zézé G.D., N'Dri L., Coulibaly B., Sané B. (2007). Evaluation entomologique de la maladie du sommeil dans le foyer de Bonon (Côte d'Ivoire). *Belg. J. Entomol.*, 9: 15-28.

Production de lait de chèvre et la consommation de fromage au Sénégal

Ibrahima NIANG¹, Mor Awa NDIAYE¹, Astou DIOP¹, Nicolas AYEISSOU²

(Reçu le 04/07/2023; Accepté le 17/08/2023)

Résumé

Cette étude a été menée pour identifier les potentialités de la filière «fromage de chèvre» au Sénégal. Une enquête a été réalisée sur la production de lait auprès de 191 éleveurs et sur la préférence et les critères de choix à l'achat de fromages auprès de 150 consommateurs. Les résultats montrent que le lait de chèvre est principalement auto-consommé à Saint-Louis et Louga et au Sud (Kolda et Ziguinchor). Dans la région de Fatick, Dakar et Thiès, le lait est valorisé en fromage. Les chèvres appartiennent aussi bien à des hommes (48%) qu'à des femmes (52%). La chèvre du Sahel est plus présente dans la zone du Nord, Ouest et Centre. Au Sud, la chèvre naine prédomine. Concernant la consommation de fromages, les résultats montrent que 75% des consommateurs interrogés préfèrent les fromages importés, 25% consomment les fromages disponibles ayant une bonne présentation ou à prix faibles sans se soucier de la provenance ou de l'animal d'origine. Les produits bénéficiant d'un certain type de certification (preuve de qualité sanitaire) influencent les achats (10%), d'autres (30%) sont influencés par les lieux de vente (grandes surfaces).

Mots-clés: Lait de chèvre, fromage, production, consommation, Sénégal

Goat's milk production and cheese consumption in Senegal

Abstract

This study was carried out to identify the potential of the goat's cheese sector. A survey was carried out on milk production among 191 farmers and on cheese preferences and purchasing criteria among 150 consumers. The results showed that goat's milk is mainly self-consumed in Saint-Louis and Louga and in the South (Kolda and Ziguinchor). In Fatick, Dakar and Thies regions, the milk is used to make cheese. Goats are owned by both men (48%) and women (52%). The Sahelian goat is more prevalent in the Northern, Western and Center regions. In the South, the dwarf goat predominates. As far as cheese consumption is concerned, the results showed that 75% of consumers surveyed prefer imported cheeses, while 25% eat available cheeses with a good presentation or at low prices, regardless of where they come from or the animal of origin. Products with a certain type of certification (proof of sanitary quality) influence purchases (10%), while others (30%) are influenced by the point of sale (supermarkets).

Keywords: Goat's milk, cheese, production, consumption, Senegal

INTRODUCTION

L'élevage constitue un secteur économique très important pour de nombreux pays africains. Il assure les moyens de subsistance de 30% des ménages en milieu rural au Sénégal (Ands, 2013) mais sa contribution à la richesse du pays est largement en deçà des objectifs fixés par le gouvernement en matière de sécurité alimentaire. L'amélioration de la production laitière a toujours été l'une des préoccupations des recherches sur l'élevage au Sénégal (Diop et Diao, 2005). Malgré l'importance du cheptel des ruminants et les nombreux efforts entrepris pour atteindre l'autosuffisance en lait et produits laitiers, la production locale est toujours faible (Direl, 2016). Si l'élevage des animaux à cycle court connaît de nos jours un essor dynamique pour combler les déficits protéiniques, l'élevage des petits ruminants (notamment les chèvres) demeure un secteur prometteur. La chèvre de par sa reproduction rapide (maturité sexuelle précoce, grande prolificité (Missouhou *et al.*, 2016) est un atout dans un pays comme le Sénégal.

Les investissements de l'élevage de chèvre étant faible (Alexandre *et al.*, 2012), la valorisation du lait en fromage permet d'apporter des revenus aux transformateurs, de faciliter la conservation du produit et de fournir des produits à hautes valeurs nutritionnelles notamment les protéines animales à la population. Le fromage de chèvre représente un aliment de haute qualité nutritionnelle de par sa composition en protéines, en calcium et en vitamines. La consommation en fromage est dominée par l'importation. Selon l'Ands (2018), le Sénégal a importé 46,516 tonnes (soit 128 millions de FCFA) en fromage de lait de vache et de chèvre.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cadre d'étude

L'étude a été menée durant un an, dans sept (7) régions du Sénégal principales productrices de lait de chèvre pour faire une typologie des fromageries à travers le pays. La plupart des zones étudiées notamment la zone Nord (Saint-Louis et Louga), la zone Sud (Kolda et Ziguinchor), on observe que le lait de chèvres est principalement auto-consommé. Dans les zones Centre (Fatick) et Ouest (Dakar et Thies) le lait de chèvre est valorisé en fromage. Nous avons ainsi noté la production est dominée par cinq fromageries situées à Keur Moussa dans la zone des Niayes, à Ngararou dans la petite côte dans la région de Thiès, à Mbafaye, Foundiougne et à Colobane dans la région de Fatick.

Matériel de collecte des informations

Le matériel utilisé est constitué des fiches d'enquête destinées aux personnes à enquêter. Il s'agit essentiellement de : fiches pour les éleveurs et les consommateurs.

Méthodologie

La méthodologie est basée sur la collecte des informations à travers une revue documentaire, l'échantillonnage, la collecte de données de terrain à travers les enquêtes sur l'élevage et la consommation des fromages, le traitement et l'exploitation des résultats obtenus sur Excel.

Au total cent quatre-vingt-onze (191) éleveurs de chèvres ont été interviewés individuellement ou en groupe. Ces enquêtes sur l'élevage des chèvres a permis de recueillir

¹ Institut de Technologie Alimentaire, Département des produits de l'élevage, Dakar, Sénégal

² Centre d'Etude sur la Sécurité Alimentaire et les Molécules Fonctionnelles Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal

des données sur la taille des cheptels, les races exploitées, la structuration des troupeaux et la conduite des troupeaux. Pour la consommation, cent cinquante (150) personnes ont été interrogées sur leur préférences et les critères de choix à l'achat ou à la consommation.

La méthode d'échantillonnage pour les enquêtes sur la chaîne de valeur est un tirage aléatoire avec choix raisonné. Elle a consisté à prendre en considération les zones retenues en fonction de la capacité du cheptel caprin, de l'utilisation des produits caprins et des dynamiques de développement.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Statut socio-économique des éleveurs

Les données d'enquêtes montrent que 78% des éleveurs sont propriétaires des chèvres et 22% d'entre eux des bergers ou gérant de troupeaux. Les chèvres appartiennent le plus souvent à des hommes (48%) et à des femmes (52%). La conduite de l'élevage (alimentation, suivi au pâturage, suivi de la gestation et de la mise bas) est effectuée par les hommes. Cependant, nous avons noté que les femmes s'occupent plus de la traite, du suivi sanitaire des chèvres et de la transformation des produits issus des chèvres (fromage, yaourt et lait frais) que les hommes.

La moyenne d'âge des éleveurs est de $35 \pm 5,3$ ans avec un maximum de 51 ans et un minimum de 24 ans. L'élevage des petits ruminants (caprins, ovins) et des grands ruminants (bovins) constitue leur activité principale (63%) et l'activité secondaire de commerçants ou dioula (25%) et de transformateurs (5%). Si l'on compare nos résultats à des études en milieu rural dans la zone de Fatick, nous observons des valeurs plus élevées pour les hommes. Ces résultats montrent que l'appartenance des troupeaux de chèvres est égale pour les hommes et les femmes (Missohou *et al.*, 2016).

Les modes d'élevage dans les zones d'étude

Le système d'élevage varie d'une zone à une autre. Dans les régions du Nord (Saint-Louis et Louga), les caprins sont avec les bovins et les ovins. Le pastoralisme domine de Janvier à Juin. Durant cette période, les éleveurs se déplacent vers le bassin arachidier (Région de Kaolack, Fatick et Kaffrine) pour trouver un environnement favorable pour l'alimentation et l'eau. Ce système agro-pastoral Nord sahélien à pastoralisme dominant joue un rôle de subsistance et de sécurisation des systèmes agraires (Missohou

et al., 2016; Diao, 2004). Au Sud (Kolda et Ziguinchor), l'élevage sédentaire prédomine avec une alimentation des caprins avec les résidus des repas, les arbustes autour des villages et souvent avec l'aliment concentré des bovins et des ovins. Les chèvres sont des espèces très exploitées dans la zone Sud comparées aux autres animaux (bovins et ovins). Elles sont vendues pendant les périodes de soudures et génèrent des revenus permettant de payer les soins de santé, la scolarisation des enfants et les besoins quotidiens de la famille. La vente des animaux se fait dans plupart au niveau des marchés hebdomadaires de Saré Yoba (département de Kolda), et de Diaobé (Département de Vélingara). A l'ouest (dans la zone des Niayes de Dakar et Thiès), les caprins sont pâturés à quelques kilomètres des zones d'habitation (2 à 5 km) et reviennent dans leur enclos pour la nuit avant de repartir chaque matin comme le montre les études sur l'alimentation des chèvre menée dans la zone (Diouf, 2004). La proximité des marchés urbains est un facteur déterminant de l'orientation commerciale des produits laitiers dans ce système.

Ce type d'élevage est marqué par le nombre du cheptel important, l'espace de pâturage qui diminue avec la progression démographique et la faiblesse du tapis herbacé réduit également avec la forte compétition des ressources foncières, la disponibilité des espaces, l'accès aux ressources (Diao, 2004).

Structure du cheptel dans les zones d'étude

La chèvre du Sahel est plus présente dans la zone du Nord (Saint Louis et Louga) et dans la zone Ouest (Dakar, Thiès, Fatick) (Tableau 1). Cependant, on note à Fatick l'introduction de races exotiques dans les programmes de coopérations. Plusieurs campagnes d'insémination artificielle ont eu lieu donnant naissance à de nombreux métisses (Pafc, 2020). L'objectif de ce métissage était d'augmenter la productivité des races locales (quantité de lait, qualité de la viande, etc.) et assurer la diversification sur les produits fournis (viande, fromages, yaourt).

Au Sud (Kolda et Ziguinchor), la chèvre naine prédomine. La présence de cette race s'explique par sa résistance au trypanosomiase (Bengaly *et al.*, 1993) et présente bon rendement en viande (60%) en moyenne.

Les données recueillies au niveau des services vétérinaires des zones étudiées montrent cette répartition (Figure 1).

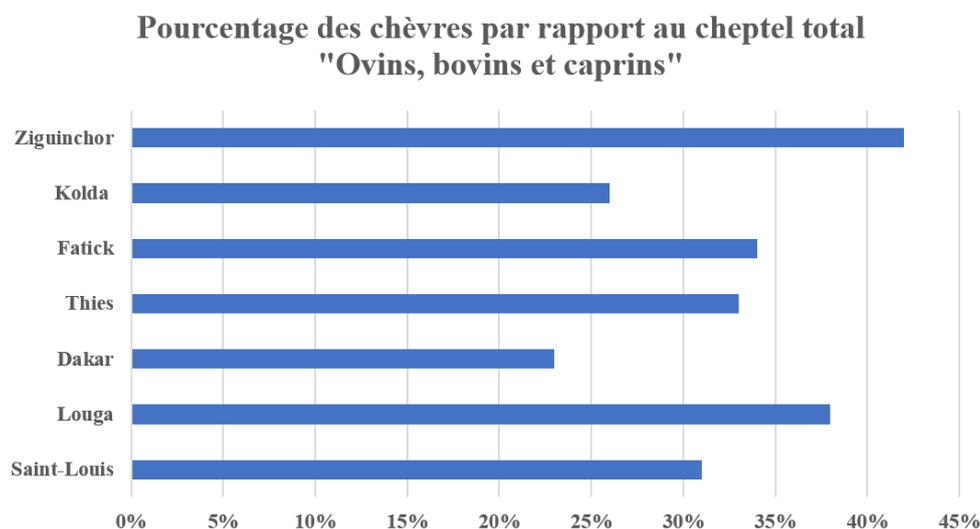


Figure 1: Effectif des caprins dans les zones d'étude

Reproduction et alimentation des caprins dans les zones d'étude

Le suivi des chèvres dans les zones d'études montrent plusieurs cas (Tableau 2). Les périodes de reproductions ont lieu toute l'année mais avec des fréquences d'Octobre à Novembre (Saint-Louis, Dakar, Thiès et Louga) et de Janvier à Mars (Fatick, Kolda et Ziguinchor). Ces observations de terrain sont similaires à ceux trouvés par Diao (2004) et Missohou *et al.* (2016).

Ces résultats nous montrent que l'activité de collecte et de transformation de lait est limitée à une période de l'année. En dehors de ces périodes, la disponibilité du lait de chèvre est faible.

La reproduction se fait par montée naturelle et nous n'avons observé aucun avortement. Contrairement à la race bovine, l'insémination artificielle n'est pas courante dans l'élevage des chèvres dans les zones d'étude (Tableau 3).

Alimentation des chèvres

L'alimentation rationnelle a pour but d'apporter aux animaux les éléments nutritifs dont ils ont besoin compenser les dépenses (Chunleau, 1995). Dans les zones d'étude, elle est essentiellement dominée par le pâturage ou par divagation (Tableau 4).

Les animaux suivis utilisent l'alimentation des pâturages de la zone et la complémentation est faible et essentiellement constitué de restes de repas, de céréales et de tourteaux d'arachides. Cette complémentation est souvent destinée aux chèvres en gestation, malades ou en allaitement (Missohou *et al.*, 2016).

Pendant l'hivernage, les chèvres sont souvent attachés et stabulés pour éviter la détérioration des champs (Thiès et à Fatick). Le temps passé au pâturage diminue malgré la disponibilité du foin. La complémentation est rare et réservée aux chèvres ayant mis bas ou aux chèvres malades. Elle se fait dans ce cas avec des aliments grossiers (restes de repas) ou en concentrés à base de maïs, mil, tourteau d'arachide, etc.

Tableau 1: Principaux races exploitées dans la zone Nord, au Sud et à l'Ouest

Zone	Race de chèvres exploitées	Fréquence
Zone Nord		
Saint Louis Louga	Chèvre du Sahel	99%
	Chèvre Naine	1%
Zone Sud		
Kolda, Ziguinchor	Chèvre Naine	100%
Zone Ouest et Centre		
Dakar	Chèvre du Sahel	8%
Thiès et Fatick	Chèvre Naine	1%

Tableau 2: Répartition des éleveurs dans les zones enquêtées

Région	Localité	Nombre d'éleveurs	Total/région
Dakar	Tivaoune Peulh-Niague	20	51
	Sangalkam-Bambilor	31	
Thiès	Keur Moussa	35	53
	Bayakh	18	
Fatick	Mbafaye	11	16
	Foundiougne	5	
Ziguinchor	Bignona	10	15
	Ziguinchor	5	
Kolda	Kolda	8	23
	Medina Youro Foula	12	
	Vélingara	3	
Saint Louis	Dagana	14	19
	Podor	5	
Louga	Dahra	11	14

Tableau 3: Reproduction des caprins dans les zones d'étude

Période de suivi (01/01/2019 à 12/2020)	Nombre de chèvre	Reproduction	Période de reproduction
Zone Sud	05 chèvres naines	04	Janvier-Février-Nov
Zone Nord	05 chèvres du Sahel	03	Février-Avril-Octobre
Zone Ouest et Centre	05 Chèvres du Sahel	04	Février-Octobre-Nov

Tableau 4: Composition de l'aliment de compléments des chèvres

Période	Aliments concentrés	Aliments Grossiers
Saison des pluies Zone Sud Zone Nord Zone Ouest et Centre	Rare	Restes de repas (Riz, poissons, couscous, etc.), résidus des légumes après épluchage (patates, carottes, ignames, aubergines, etc.)
Saison sèche	Mais, Riz, Tourteaux d'arachide et de coton	

Consommation de fromages au Sénégal

Au Sénégal, on observe une progression de la consommation de fromage notamment dans les grandes villes due à l'augmentation des revenus, la croissance démographique (3%/an), l'urbanisation et le changement dans les habitudes alimentaires.

Les personnes enquêtées étaient pour la plupart des professionnels, des étudiants, des restauratrices, des femmes rencontrées lors de l'achat dans les grandes surfaces, dans leur lieu de travail ou dans les ménages dans les régions de Dakar et Thiès.

Critères d'achats et de consommation des fromages

Les résultats des enquêtes nous montrent plusieurs préférences. Un premier lot de consommateurs (75%) préfère les fromages importés à base de lait de vache et de chèvre (en tranche, emballés ou râpé) majoritairement dans les villes de Dakar, Thiès et Mbour. Ensuite, nous avons un second groupe (25%) qui considère qu'ils achètent les fromages disponibles ou à prix faibles sans se soucier de la provenance ou de l'animal d'origine.

Ces résultats montrent que les critères d'achat des consommateurs dépend du prix, de la qualité sanitaire et de la présentation des fromages.

Les considérations pour choisir les fromages de chèvre local ou importé (Tableau 5), en plus du prix sont influencées par le degré de transformation (frais, affiné ou épicé), la qualité nutritionnelle, hygiénique et organoleptique. Ces paramètres sont souvent reconnus par les consommateurs à partir de l'étiquette, la présentation de l'emballage et l'origine (locale ou importée).

Les données d'enquêtes montrent la préférence des consommateurs sur des fromages affinés emmental (46%), Gruyère (17%), fromage fondu (23%) et des fromages de chèvre 14% (bûche 2%, tomme 5%, feta 7%).

La composition en protéines, en matières grasses, d'additifs et les caractéristiques organoleptiques (odeurs et saveurs) influencent faiblement les consommateurs.

Ces critères montrent une diversité de consommateurs de fromage comme démontré par de nombreux auteurs dans la consommation des produits laitiers au Sénégal (Corniaux *et al.*, 2001; Duteurtre *et al.*, 2003). L'analyse de ces résultats montrent que la présentation joue un rôle décisif dans l'achat notamment l'emballage et l'étiquetage qui donnent des informations sur la composition, une bonne appréciation visuelle du produit, la façon d'utiliser le produit, l'origine du produit, etc. Une comparaison des choix entre fromages importés et locaux montre la préférence des produits importés (75% des personnes interrogées) due à la présence de ces fromages dans les lieux de vente et une bonne présentation. Pour les produits locaux (25% des personnes interrogées) le choix s'explique pour les personnes interrogées que les produits locaux ont moins de risque de contenir des additifs et les intrants ajoutés (colorants, conservateurs, etc.) que dans les fromages importés.

Les consommateurs sont également influencés dans leur choix par la certification des produits (70% des interrogés) notamment sur la certification sanitaire des autorités compétentes (ISO, normes nationales, label AOP ou AGP) d'autres (30% en moyenne) ne connaissent pas la certification donc se fie à l'intermédiaire, l'étiquetage ou aux lieux de vente (grandes et moyennes surfaces, restaurants, marché hebdomadaire ou foire).

Tableau 5: Prix de quelques fromages sur le marché dakarais

Nom du fromage	Fromage local de chèvre			Fromage importé de chèvre et de vache		
	Ngaparou	Keur moussa	Senferme	Emmental	Comte	Bûche de chèvre
Prix (FCFA/100 g)	1200	1000	1575	649	2000	945
Type de fromage	Pâte molle	Pâte molle	Pâte molle	Pâte pressée	Pâte pressée	Pâte molle

Types de fromages préférés par des consommateurs

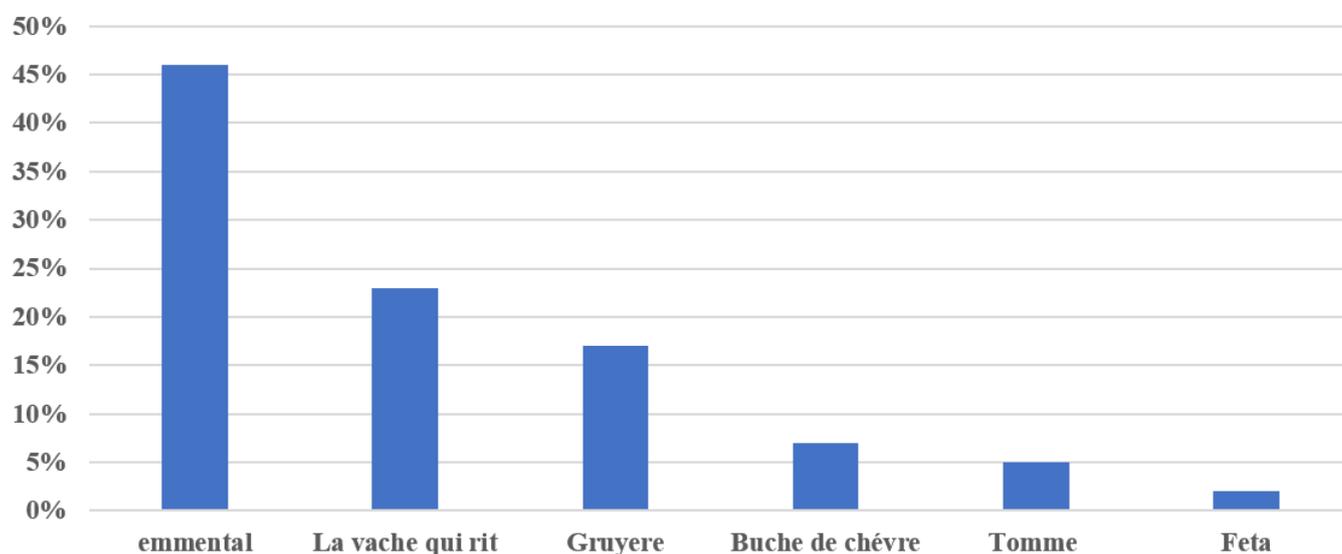


Figure 2: Préférence de fromage importés

Les produits importés sont plus achetés et plus présent sur le marché à cause de la faiblesse de production locale. Les problèmes économiques et la pauvreté constituent des facteurs importants dans l'évolution des modèles de consommation alimentaire. Les fromages locaux sont peu disponibles sur les marchés par la faiblesse des fromageries et des distributeurs.

Ces résultats montrent que l'hétérogénéité des comportements des consommateurs est très forte avec des différences systématiques en fonction des caractéristiques des ménages. Le choix de la consommation est lié au revenu et à la présence des produits sur le marché.

CONCLUSION

Les chèvres se nourrissent essentiellement en broutant. Elles mangent les feuilles des arbres et des buissons là où la végétation serait insuffisante pour des moutons ou des vaches. Ce qui montre le rôle de complémentarité des chèvres avec les autres ruminants. La quantité de lait est faible mais la production des chèvres étant rapprochée et le nombre de chevreaux étant important, la disponibilité des fromages augmentent progressivement au Sénégal.

Le rôle des fromages dans la satisfaction des besoins nutritionnels auprès des consommateurs comparés aux produits laitiers issus de la vache est faible dans nos pays. Cette situation s'explique par le prix élevé des fromages, la qualité sanitaire et la présence très faible de ces fromages sur le marché sénégalais. Cependant, sa consommation est actuellement favorisée par le niveau de vie des habitants en milieu urbain, le changement d'habitude alimentaire et la croissance démographique. L'achat de ces produits est influencé par la confiance aux producteurs, la qualité sanitaire et le respect de la réglementation dans la transformation et la distribution.

Ce travail met en exergue la potentielle contribution que présente la filière lait de chèvre au Sénégal et les besoins de satisfaire les consommateurs en termes de sécurité sanitaire assurée par le fromage de chèvre.

RÉFÉRENCES

- Alexandre G., Arquet R., Fleury J., Troupe W., Boyal M., Archimede H., Mandonnet N. (2012). Systèmes d'élevage caprins en zone tropicale: analyse des fonctions et des performances. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 25: 305-316.
- ANDS (2018). Rapport d'activités annuel. Dakar, Sénégal.
- ANDS (2013). Recensement général de population de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage (RGPHAE). Sénégal.
- Bengaly Z., Clause P.-H., Boly H., Duvallet G. (1993). Comparaison de la trypanosomose expérimentale chez certaines races de petits ruminants au Burkina Faso. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, Montpellier, France, p. 563-570.
- Chunleau (1995). Manuel pratique d'élevage caprin. Agence de Coopération Culturelle et Technique (4CCT) et Conseil International de la Langue Française.
- Corniaux C., Le Mercier J., Dia A. (2001). Production de lait de vache dans le delta du fleuve Sénégal: une réelle activité de diversification en systèmes irrigués? *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. Montpellier, France, p. 47-54.
- Coulon J.B., Delacroix-Buchet A., Martin B., Pirisi A. (2005). Facteurs de productions et qualité sensorielle des fromages. *INRA, Prod. Animal.*, 18: 49-62.
- Diao B. M. (2004). Situation et contraintes des systèmes urbains et périurbains de production horticole et animale dans la région de Dakar. *Cahiers agricultures*, 13: 39-49.
- Diop, M., Diao B. M. (2005). Le lait. Dans ITA-ISRA-CIRAD, Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal (pp. 311-319).
- Diouf L. (2004). Étude de la production et de la transformation du lait de chèvre dans la zone des Niayes. Sénégal.
- Direl (2018). Rapport d'activités annuel de la direction de l'élevage.
- Direl (2016). Rapport d'activités annuel MEPA.
- Duteurtre G., Corniaux C., Boutonnet J.-P. (2003). Baisse de la consommation des produits laitiers en Afrique subsaharienne: mythe ou réalité? *Renc. Rech. Ruminants*, pp. 323-326.
- Missohou A., Nahimana G., Ayissiwede S., Sembene M. (2016). L'élevage caprin en Afrique de l'Ouest, une synthèse. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. Montpellier, France, pp. 3-13.
- PAFC (2020). Programme d'amélioration de la filière caprine-Fatick-Sénégal. Récupéré sur www.terredeschèvres.fr.

Préférence des fromages

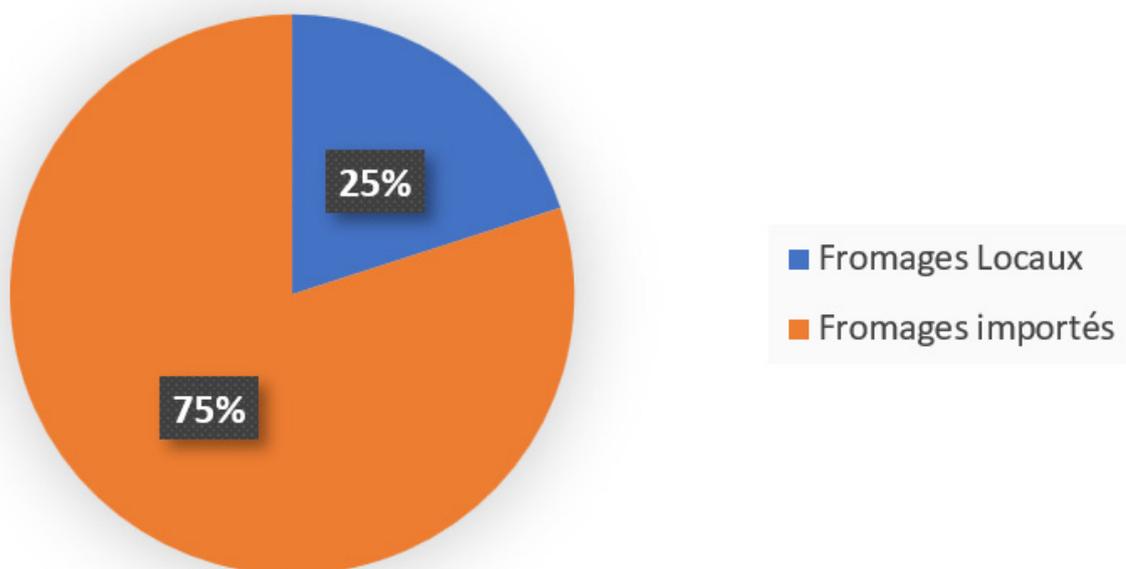


Figure 3: Préférences des fromages par les consommateurs

Influence de l'état physiologique des chèvres et de saison sur la prévalence et la charge parasitaire gastro-intestinale au Bénin

G. AKAKPO¹, P.K. CHALLATON¹, G.C. AKOUEDEGNI¹, G.G. ALOWANOU², Z. KARIMOU¹, S.M. HOUNZANGBÉ-ADOTÉ¹

(Reçu le 12/07/2023; Accepté le 16/08/2023)

Résumé

Les pathologies parasitaires gastro-intestinales ont une incidence économique et zootechnique majeure qui mine la productivité des élevages caprins dans les milieux tropicaux. Cette étude a évalué l'influence de différents stades physiologiques et des saisons sur la prévalence et la charge parasitaire gastro-intestinale des chèvres en élevage traditionnel au Bénin. Pour atteindre cet objectif, des prélèvements et des analyses coproscopiques à différents stades physiologiques des caprins et à différentes saisons de l'année ont été effectués dans différents départements du Bénin. Les résultats ont montré que les chèvres étaient infestées majoritairement par les Strongles et *Strongyloides* spp. Les chèvres gestantes suivies de sujets en lactation étaient les plus infestées. La prévalence de ces deux parasites chez les sujets en gestation a été forte (91,7 % strongle et 88,0 % *Strongyloides*) suivi de ceux en lactation (88,4% Strongle et 87% *Strongyloides*) et enfin ceux en croissance (86% Strongle et 85,1% *Strongyloides*). Les charges parasitaires des strongles, des *Strongyloides*, des *Moniezia* et des oocystes coccidiens étaient plus élevées en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Il serait donc judicieux de veiller sur l'état sanitaire des animaux lors des stades de gestation et de lactation qui sont les plus vulnérables et de façon particulière en saison pluvieuse.

Mots clés: Caprin, parasite gastro-intestinal, *Strongyloides*, strongles, saison, Bénin

Influence of goat physiological state and season on prevalence and gastrointestinal parasite load in Benin

Abstract

Gastrointestinal parasitic diseases have a major economic and zootechnical impact, undermining the productivity of goat farms in tropical environments. This study assessed the influence of different physiological stages and seasons on the prevalence and load of gastrointestinal parasites in goats on traditional farms in Benin. To achieve this objective, sampling and coproscopic analysis at different physiological stages of goats and at different seasons of the year were carried out in different departments of Benin. The results showed that goats were mainly infested with strongyles and *Strongyloides* spp. Pregnant goats followed by lactating subjects were the most infested. Both parasites were more prevalent in pregnant goats (91.7 % strongyle and 88 % *Strongyloides*), followed by lactating goats (88.4 % strongyle and 87 % *Strongyloides*) and growing goats (86% strongyle and 85.1% *Strongyloides*). Parasitic loads of strongyles, *Strongyloides*, *Moniezia* and coccidian oocysts were higher in the rainy season than in the dry season. It would therefore be wise to pay close attention to the health status of animals during the gestation and lactation stages, which are the most vulnerable, particularly during the rainy season.

Key words: Goat, gastrointestinal parasite, Strongyle, *Strongyloides*, season, Benin

INTRODUCTION

Les petits ruminants occupent une place importante dans le secteur de l'élevage et l'ensemble de l'économie de nombreux pays en développement (Killanga *et al.*, 1999). L'élevage des petits ruminants présente de nombreux avantages: faciles à manipuler à cause de leur petit format comparé aux bovins, ils sont peu exigeants en termes d'alimentation comparés aux monogatriques. Dans les exploitations traditionnelles, l'élevage des petits ruminants et plus précisément des caprins occupe de plus en plus de place dans les économies nationales (Chetrou *et al.*, 2013). L'espèce caprine est rencontrée partout au Bénin. L'élevage des caprins occupe 305 611 éleveurs, répartis dans des proportions semblables à celles de l'espèce ovine avec une forte concentration dans les départements de l'Alibori suivi du Couffo, Borgou et de l'Atacora (RNA, 2021). Malgré leur forte contribution à l'économie rurale et à la sécurité alimentaire, et leur importance socio-culturelle; les caprins sont élevés suivant des systèmes traditionnels extensifs avec un faible niveau d'intrants affectant négativement les niveaux de production (Houessou *et al.*, 2014; Idrissou *et al.*, 2018). Dans ces conditions d'élevage, les caprins sont exposés aux risques d'infestations parasitaires. Parmi les différents parasites auxquels ils sont confrontés, les para-

sites gastro-intestinaux occupent une place prépondérante. La plupart du temps, les signes cliniques engendrés par des parasites digestifs sont assez frustes. Ils provoquent principalement des entérites à l'origine de diarrhées, une augmentation des indices de conversion et une perte d'état corporel (Louis *et al.*, 2022). De plus l'activation du système immunitaire par les strongles semble accentuer la perte de poids (Dever *et al.*, 2016). Les pertes économiques dues aux strongyloses digestives sont donc directes, liées aux baisses de production, à la mortalité et aux prix des traitements anthelminthiques mais aussi indirectes car elles peuvent induire une fragilisation du système immunitaire de l'hôte et donc des comorbidités (Roeber, *et al.*, 2013). Par ailleurs, parallèlement à ce qui a été démontré chez les ovins, il existe également chez la chèvre un pic d'émission des œufs en fin de gestation et au début de la lactation. Ce pic est communément appelé «periparturient rise» (Louise et Cécile, 2022). Cette tendance a également été observée chez les chèvres laitières par Chartier *et al.*, (1998). Ainsi, l'état physiologique des chèvres joue un rôle déterminant dans l'expression du parasitisme chez les caprins. Cependant, dans les élevages caprins au Bénin, aucune distinction n'est actuellement faite en termes de gestion sanitaire et de traitement anthelminthique en fonction de

¹ Laboratoire d'Ethno-pharmacologie et de Santé Animale, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

² École Normale Supérieure de l'Enseignement Technique, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Abomey, Bénin

l'état physiologique des chèvres, du moins dans le cadre de la surveillance parasitaire. Étant donné l'impact des parasitoses sur l'élevage caprin, il est crucial d'identifier les facteurs intrinsèques et extrinsèques favorisant l'installation de ces parasitoses.

C'est dans ce contexte que, cette étude vient en complément des travaux réalisés précédemment réalisés par Chalaton *et al.*, (2022) qui ont évalué la prévalence et la charge parasitaire gastro-intestinale des caprins dans les systèmes d'élevage traditionnels au Bénin. L'objectif de cette nouvelle étude était d'évaluer spécifiquement l'influence du stade physiologique des caprins et de la saison sur la prévalence et la charge parasitaire gastro-intestinale. Il est essentiel de combler cette lacune de connaissances pour améliorer la santé et le bien-être des chèvres et optimiser les performances des élevages caprins au Bénin

MÉTHODOLOGIE

Milieu d'étude

La zone d'étude couvre les départements de l'Alibori, Atacora, Borgou, Donga, Zou et Couffo (Figure 1). La forte concentration de l'élevage des caprins dans ces zones a été la raison du choix de cette zone pour l'étude. Les départements de l'Alibori et du Borgou jouissent d'un climat soudanien. L'année y est divisée en deux saisons: la saison sèche s'étend de novembre à avril-mai alors que les pluies durent de mai à octobre. En saison sèche, les journées sont très chaudes et les nuits très fraîches. Cette caractéristique vaut surtout pour la période dite de l'harmattan, de novembre à mars. C'est le bassin cotonnier du pays comme culture locomotive, on y trouve une association de Maïs et

sorgho, l'élevage intensif de bovins, d'ovins, de caprins et de volaille. Le département de l'Atacora est caractérisé par une diversification agricole coton-vivrier. Cette zone abrite un système d'intégration agro-sylvo-pastorale comportant potentiellement de coton et le riz. S'y ajoutent le maïs, les légumineuses (niébé et arachide) et le manguier, ainsi que l'élevage de bovin, caprin et volaille. Le département des collines, situé au centre du pays est une grande zone de production des produits vivriers, de l'anacarde et de l'igname, fortement consommée au Bénin ainsi que l'élevage intensif de bovin, caprin et volaille. Les départements du Zou et le Couffo, au sud du pays, c'est une zone à vocation d'arboriculture vivrière et de petits élevages avec deux saisons des pluies (avril à juillet puis septembre à octobre) alternent avec deux saisons sèches. Mars est le mois le plus chaud et août le plus doux.

Période d'échantillonnage

Deux grandes saisons d'impact agricole ont été choisies dans le cadre de cette étude. Ainsi une première série d'échantillonnages et de prélèvements a eu lieu en saison sèche (Janvier à Mars 2020) et une deuxième série en saison des pluies (Juin à Juillet 2020).

Choix des élevages

Neuf (9) élevages de type traditionnel ont été sélectionnés de façon aléatoire par commune enquêtée dans chaque zone agro-écologique choisie. Les critères de sélection de ces élevages étaient:

- La présence des différents états physiologique au sein du troupeau,
- La disponibilité de l'éleveur (pour participer à la collecte des déjections).

Choix des animaux

Quant aux animaux, ils sont choisis en fonction du sexe (seules les femelles) suivant leur état physiologique (croissance, gestante et en lactation). Les femelles âgés de moins de deux mois sont considérées comme chevrettes et inaptes à l'échantillonnage, car elles sont encore au lait et moins exposées aux risques d'infestations. Le nombre de sujets prélevés dans cette étude était de 753 répartis dans 126 élevages à raison de 400 en saison pluvieuse et 353 en saison sèche.

Collecte des matières fécales

Les échantillons de matières fécales ont été prélevés directement dans le rectum des animaux identifiés. Chaque prélèvement a été étiqueté (date, âge, zone agro-écologique, état physiologique) et conservé dans de glacières avec accumulateurs de froids, puis envoyé au Laboratoire d'Ethnopharmacologie et de Santé Animale pour analyse coprologique. Les matières fécales prélevées étaient analysées le même jour ou dans le cas contraire conservés au réfrigérateur à +4°C pendant au plus deux jours pour être analysés.

Coprosopie

Le dispositif d'analyse utilisé dans le cadre de cette analyse était celui de Mini-FLOTAC (Cringoli *et al.*, 2010) en suivant le mode opératoire standard. Le liquide de flottaison utilisé a été une solution saturée de chlorure de sodium (NaCl) de densité ($d=1,20$). Deux (02) grammes

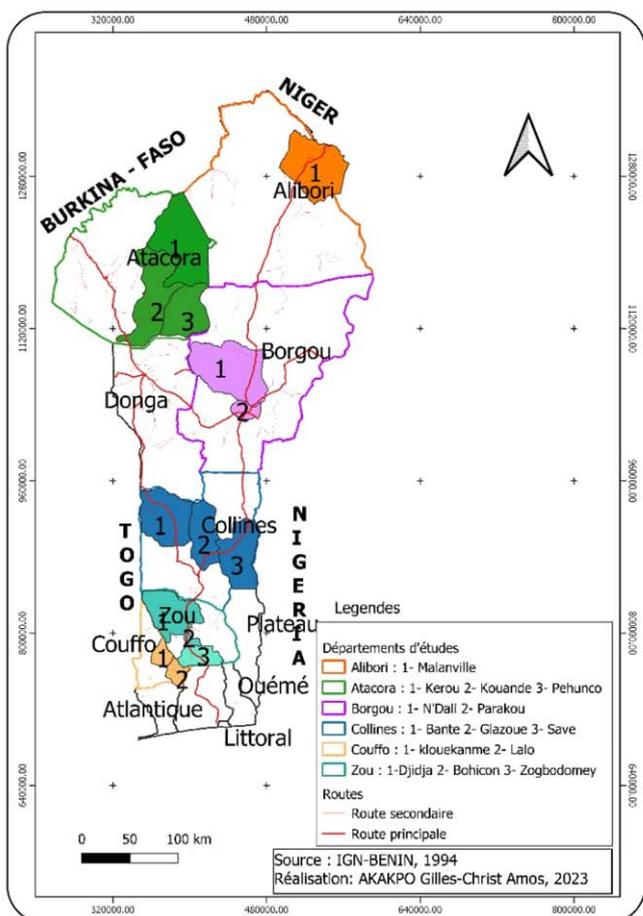


Figure 1: carte du Bénin illustrant la zone d'étude

de matières fécales fraîches ont été prélevées avec le Fill-FLOTAC et 18 ml de solution saturée au NaCl. La suspension a été ensuite parfaitement homogénéisée à l'aide du bâton d'homogénéisation du Fill-FLOTAC. La suspension fécale a été ensuite filtrée à travers le Fill-Flotac et utilisée pour remplir les deux chambres du disque Mini-FLOTAC. Ce dernier est laissé au repos pendant 10 minutes avant de passer à l'observation microscopique. L'observation a été faite au microscope photonique au grossissement (G X10). L'excrétion fécale, exprimée en nombre moyen d'oeufs par gramme (OPG) de fèces ont été obtenues en multipliant le nombre total d'oeufs comptés par 5.

Analyse des données

L'analyse de variance pour le test de mesures répétées (ANOVA) avec le post-test de comparaisons multiples de Student-Newman-Keuls a été réalisée afin de vérifier si l'état physiologique des chèvres a un effet statistiquement significatif sur les charges parasitaire gastro-intestinales. L'analyse statistique a été faite à l'aide du logiciel R 4.3.0. L'hypothèse est qu'il n'y a pas de différence si la valeur de la probabilité est supérieure à 0,05. Les données sont rapportées sous forme de moyenne et d'erreur standard de la moyenne (mean±se) pour la charge parasitaire. Le post-test a ensuite été utilisé pour mettre en relation les valeurs moyennes deux à deux, pour vérifier quelle position correspondait finalement à une posture significativement différente.

RÉSULTATS

La répartition des chèvres en fonction des classes de charge parasitaire, spécifiquement pour les Strongles, le nombre de chèvres présentant une quantité d'oeufs par gramme de matière fécale (OPG) comprise entre 0 et 400 est élevé (Figure 2). Cependant, pour les autres classes de charge parasitaire, le nombre de chèvres est plus faible. Il en est de même pour la figure 3 lorsqu'on considère les *Strongyloides*. Il ressort des résultats que quel que soit le type du parasite, en saison des pluies les chèvres en gestations et en lactations ont une charge parasitaire sensiblement équivalente mais supérieure à celle des sujets en croissance (Tableau 1). Par contre, en saison sèche, les chèvres en lactation se comportent de la même manière que celles en croissance (plus résistante) vis-à-vis des strongles et

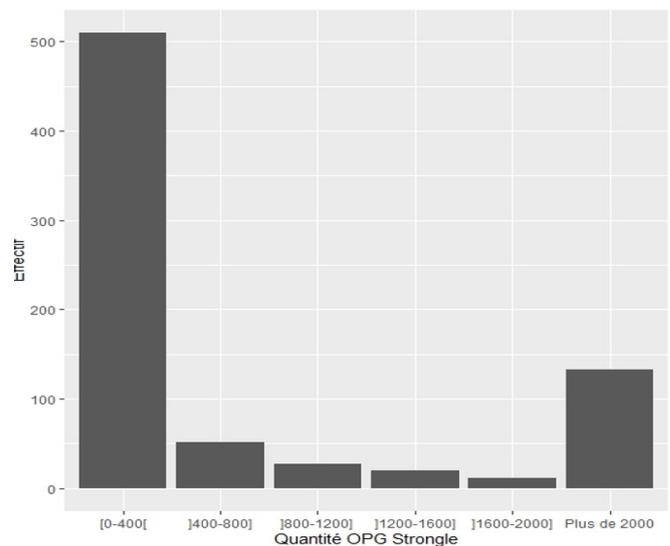


Figure 2: Effectif des chèvres en fonction de la charge parasitaire en Strongle

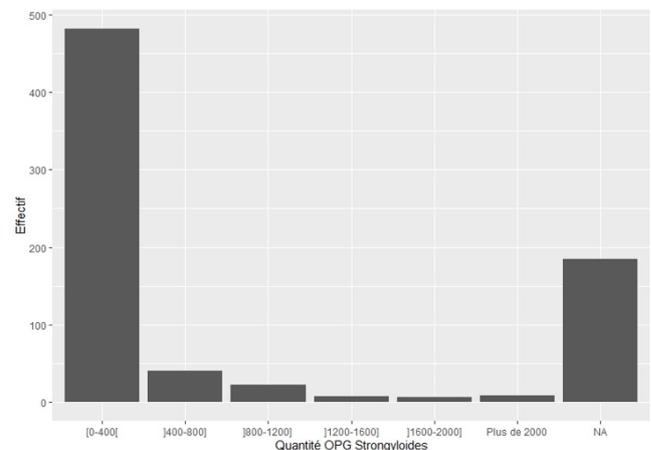


Figure 3: Effectif des chèvres en fonction de la charge parasitaire en strongyloides

strongyloides, comparativement aux chèvres gestantes. Ce constat est le même pour ce qui est de la prévalence de ces infestations. Par contre, les animaux en croissance sont plus sensibles aux ookystes coccidiens mais avec une prévalence faible dans la globalité (Tableau 2). Au sein de la race Djallonké, la charge parasitaire au niveau des

Tableau 1: Influence de l'état physiologique des chèvres sur la prévalence et la charge parasitaire gastro-intestinaux en saison pluvieuse

État physiologique	Strongles		<i>Strongyloides</i> spp		<i>Moniezia</i> spp		Ookystes coccidiens	
	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG
Croissance (n=121)	86,0	420,3 ± 19,9	85,1	284,5 ± 70,3	12,4	81,0 ± 16,8	93,4	2519 ± 665
Gestation (n=133)	91,7	735,4 ± 19,9	88,0	496,5 ± 31,2	9,0	83,7 ± 32,8	94,0	2774 ± 431
Lactation (n=146)	88,4	692,6 ± 19,9	87,0	454,0 ± 66,0	9,6	94,3 ± 30,9	91,8	2237 ± 277
P-value	0,34	0,061	0,795	0,044 *	0,640	0,935	0,756	0,721

Moy=moyenne; OPG= Œuf Par Gramme de matière fécale, n= effectif

Tableau 2: Influence de l'état physiologique des chèvres sur la prévalence et la charge parasitaire gastro-intestinaux en saison sèche

État physiologique	Strongles		<i>Strongyloides</i> spp		<i>Moniezia</i> spp		Ookystes coccidiens	
	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG
Croissance (n=139)	78,4	89,3 ± 19,9	60,4	51,4 ± 12,1	38,1	43,9 ± 10,4	89,2	1009 ± 152
Gestation (n=133)	85,0	111,7 ± 8,4	66,9	61,6 ± 4,37	37,6	38,6 ± 13,5	92,5	690 ± 124
Lactation (n=81)	77,8	89,8 ± 14,8	59,3	56,8 ± 10,5	29,6	52,3 ± 7,25	92,6	760 ± 127
P-value	0,290	0,395	0,420	0,692	0,397	0,690	0,561	0,209

n= effectif, Moy = moyenne, OPG= Œuf Par Gramme de matière fécale

strongles et *Strongyloides* est plus élevée chez les sujets en lactation suivi de ceux en gestation puis en croissance. La charge parasitaire des *Moniezia* et ookystes coccidiens par contre est similaire au niveau de tous les stades (Tableau 3). En ce qui concerne la race Sahélienne, la vulnérabilité aux Strongles a été notée sur le stade gestationnel suivi de la lactation. Pour les autres parasites, ce sont les chèvres en lactation qui étaient les plus exposées à l'exception des ookystes qui ont plus attaqué les sujets en croissance (Tableau 4). Au niveau des métisses, la charge parasitaire de tous les parasites observés défavorise les sujets en lactation. Elle est suivi des sujets en gestation puis vient la croissance en dernier par rapport aux Strongles et les *Strongyloides* (Tableau 5). Quel qu'en soit le parasite identifié, la prévalence est plus forte en saison pluvieuse qu'en saison sèche et l'effet des charges parasitaires (nombre d'œufs de parasites présents par gramme de fèces) sur la saison est significatif. Les charges parasitaires des Strongles ($P < 0,001$); des *Strongyloides* ($P < 0,001$), des *Moniezia* ($P < 0,001$) et des ookystes coccidiens ($P < 0,001$) sont plus élevées en saison de pluie qu'en saison sèche (Tableau 6).

DISCUSSION

Cette étude a mis en évidence l'influence des stades de croissance, de gestation et de lactation, sur la prévalence et la charge parasitaires gastro-intestinales des chèvres au Bénin, pour une gestion parasitaire efficace et une amélioration de la productivité des élevages caprins.

En saison pluvieuse comme en saison sèche, les chèvres gestantes suivi des chèvres en lactation conservent le premier rang en termes de niveau d'infestation avec un taux plus élevé en période de pluie. Ce qui peut être justifié par le fait que pendant la saison pluvieuse, il y a disponibilité fourragère et les animaux passent plus de temps sur la même parcelle fourragère. Ce qui peut occasionner une infestation en boucle des animaux. De plus, l'humidité étant un facteur favorisant l'incubation des œufs et la migration des laves en larves virulentes, ceci pourrait justifier la forte prévalence des parasites retrouvée en saison pluvieuse. Ce constat a été fait par Aumont et Gruner (1989) qui stipule que durant la saison sèche, le taux de développement des œufs en L3 est 5 fois plus faible que

Tableau 3: L'influence de l'état physiologique des chèvres Djallonké sur la prévalence et la charge des parasites gastro-intestinaux

État physiologique	Strongles		<i>Strongyloides</i> spp		<i>Moniezia</i> spp		Ookystes coccidiens	
	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG
Croissance (n=23)	81,5	261,6 ± 7 8,8	73,3	191,1 ± 57,5	26,2	53,4 ± 11,5	91,0	1824 ± 373
Gestation (n=247)	87,9	408,6 ± 66,9	76,9	302,3 ± 41,9	23,1	49,7 ± 12,9	93,1	1828 ± 249
Lactation (n=195)	83,6	526,3 ± 28,6	79,5	343,4 ± 20,8	15,9	71,8 ± 9,80	90,8	1804 ± 218
P-value	0,15	0,013 *	0,326	0,033 *	0,034	0,445	0,590	0,998

n= effectif, Moy = moyenne, OPG= Œuf Par Gramme de matière fécale

Tableau 4: L'influence de l'état physiologique des chèvres Sahéliennes sur la prévalence et la charge des parasites gastro-intestinaux

État physiologique	Strongles		<i>Strongyloides</i> spp		<i>Moniezia</i> spp		Ookystes coccidiens	
	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG
Croissance (n=14)	85,7	229,2 ± 121,2	71,4	56,0 ± 8,66	85,7	30,0 ± 0,00	100	1295 ± 454
Gestation (n=4)	100	1007,5 ± 72,7	100	35,0 ± 77,2	50,0	10,0 ± 14,5	100	550 ± 446
Lactation (n=15)	100	256,0 ± 980,8	73,3	150,0 ± 16,9	80,0	150,0 ± 0,00	100	1154 ± 219
P-value	0,236	0,175	0,479	0,380	0,301	0,413	000	0,725

n= effectif, Moy = moyenne, OPG= Œuf Par Gramme de matière fécale

Tableau 5: L'influence de l'état physiologique des chèvres Métisses sur la prévalence et la charge des parasites gastro-intestinaux

État physiologique	Strongles		<i>Strongyloides</i> spp		<i>Moniezia</i> spp		Ookystes coccidiens	
	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG	%	Moy/OPG
Croissance (n=13)	84,6	90,4 ± 371,3	46,2	63,3 ± 244,5	61,5	44,0 ± 16,7	84,6	447,7 ± 286,2
Gestation (n=15)	93,3	688,6 ± 15,5	80,0	500,0 ± 208,0	80,0	26,7 ± 24,9	93,3	647,5 ± 161,8
Lactation (n=17)	82,4	688,6 ± 135,8	52,9	611,1 ± 22,4	76,5	62,5 ± 19,1	100	1185,3 ± 119,4
P-value	0,638	0,259	0,143	0,259	0,509	0,565	0,246	0,689

n= effectif, Moy = moyenne, OPG= Œuf Par Gramme de matière fécale

Tableau 6: Effet de la saison sur les infestations

	Pluie	Sèche	P-value
Strongles	627,5 ± 57,0	98,3 ± 7,95	8,04e-16 ***
<i>Strongyloides</i> spp	418,0 ± 35,5	56,7 ± 5,23	3,86e-15 ***
<i>Moniezia</i> spp	86,3 ± 15,5	43,4 ± 5,66	0,00148 **
Ookystes coccidiens	2503,0 ± 276,9	829,4 ± 81,7	7,12e-08 ***

durant la saison humide. Malgré le déficit fourrager, la saison sèche est une période qui semble mieux convenir aux caprins que la saison humide Aumont *et al.*, (1997).

Chez les femelles gestantes comme en lactation, l'OPG élevé observé peut être associé à l'affaiblissement du système immunitaire qu'on observe pendant ces phases. Des résultats similaires ont été observés en moyenne Guinée par Barry *et al.*, (2002). La saison et le statut physiologique sont alors des facteurs culminants dans l'état parasitaire des caprins.

De même, au niveau de chaque race caprine sahélienne, métisse et djallonké dans cet ordre, les états physiologiques gestation et lactation viennent en tête d'infestation par les parasites majeurs (Strongles et *Strongyloides*). Les autres parasites (*Moniezia* spp et ookystes coccidiens) présentent un palier presque horizontal en termes de charge parasitaire au niveau des trois statuts physiologiques mise en exergues. Ces résultats soutiennent ceux de Dorny *et al.*, (1995) qui trouve que l'état physiologique (gravidité, lactation) couplé à la malnutrition peuvent rendre les animaux adultes sensibles aux infestations. Quel qu'en soit la race, prise dans les mêmes conditions d'élevage, les états physiologiques gestation et lactation sont sensibles aux infestations et les parasites notamment les strongles et *strongyloides* profitent de cette sensibilité pour s'installer et se multiplier. En effet, ces stades connaissent une baisse transitoire de l'immunité lors du péripartum et l'intensité de la ponte augmente: on parle de "periparturient rise" pour caractériser cette augmentation de sensibilité aux strongles et donc d'excrétion fécale d'œufs plus importante (Louise et Cécile, 2022).

En l'occurrence, les parasitoses gastro-intestinales constituent une des principales contraintes en élevage des ruminants à l'herbe. L'importance de ces parasitoses s'explique par leur fréquence, leur caractère ubiquiste, mais surtout par les pertes économiques qu'elles induisent. En effet, elles affectent les productions sous un angle quantitatif (retard de croissance, perte de production: lait, viande, mortalité...) mais aussi qualitatif (déclassement de carcasses, baisse de taux butyreux du lait, altération de la qualité de la laine...) (Sykes, 1978; Hoste et Chartier, 1993).

L'importance économique de ces infestations, presse la mise en place d'un plan de riposte, un soutien immunitaire aux animaux surtout dans les phases de vulnérabilité. Néanmoins, il serait très intéressant dans une prochaine étude de prendre en compte les stades physiologiques en début en fin de phase.

CONCLUSION

Les maladies parasitaires représentent un défi majeur dans l'élevage caprin au Bénin. Les infestations affectent la productivité des animaux et la rentabilité aux éleveurs. Ce travail avait pour objectif d'évaluer, l'influence du statut physiologique sur le niveau d'infestation chez les caprins. Les résultats obtenus ont montrés que les chèvres en gestation suivi de la lactation sont les plus affectées par les infestations. Il souligne également que le degré de ces attaques parasitaire est plus remarqué sur la race sahélienne et aussi en saison de pluie. La présente étude concerne uniquement les élevages de type traditionnel. Ainsi, une veille particulière est conseillée aux éleveurs dans la conduite de leur élevage afin de préserver les stades

physiologiques vulnérable gestation et en lactation des attaques parasitaires. Cette surveillance doit être renforcée pendant les périodes humides et surtout dans les élevages des races sahéliennes.

RÉFÉRENCES

- Aumont G., Pouillot R., Simon G., Hostacha G., Varo H., Barré N. (1997). Parasitisme digestif des petits ruminants dans les Antilles françaises.
- Barry A., Pandey V., Bah S., Dorny P. (2002). Étude épidémiologique des helminthes gastro-intestinaux des caprins en Moyenne Guinée. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 55: 99-104.
- Bastiaensen P., Dorny P., Batawui K., Boukaya A., Napala A., Hendrickx G. (2003). Parasitisme des petits ruminants dans la zone périurbaine de Sokodé, Togo. I. Ovins. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 56: 43-50.
- Challaton K. P., Boko K. C., Akouedegni C. G., Alowanou G. G., Houndonougbo P. V., Hounzangbé-Adoté M. S. (2022). Élevage traditionnel des caprins au Bénin: pratiques et contraintes sanitaires. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 75: 9-17.
- Challaton P. K., Akouedegni G. C., Boko C. K., Alowanou G. G., Houndonougbo V. P., Kifouly A. H., Hounzangbe-Adote S. M. (2022). Evaluation of the gastrointestinal parasite burden of goats in traditional breeding in Benin.
- Chartier C., Bushu M., Lubingo M. (1990). Principaux helminthes des petits ruminants en Ituri (Haut-Zaïre).
- Chartier C., Pors I., Hubert J., Rocheteau D., Benoit C., Bernard N. (1998). Prevalence of anthelmintic resistant nematodes in sheep and goats in Western France. *Small Ruminant Research*, 29: 33-41.
- Dever D. P., Bak R. O., Reinisch A., Camarena J., Washington G., Nicolas C. E., Pavel-Dinu M., Saxena N., Wilkens A. B., Mantri S. (2016). CRISPR/Cas9 β -globin gene targeting in human haematopoietic stem cells. *Nature*, 539: 384-389.
- Dorny P., Symoens C., Jalila A., Vercruyse J., Sani R. (1995). Strongyle infections in sheep and goats under the traditional husbandry system in peninsular Malaysia. *Veterinary Parasitology*, 56: 121-136.
- Emanfo A. S. A., Komoin-oka C., Kone M. W. (2022). Efficacité parasitologique de l'albendazole sur les nématodes gastro-intestinaux du caprin nain (*Capra aegagrus hircus*) dans le Sud et le Centre-Est de la Côte d'Ivoire. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 10:120-124.
- Gueye A., Mbengue M., Diouf A. (1984). Situation épizootiologique actuelle de la cowdriose des petits ruminants dans les Niayes du Sénégal. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 37: 268-271.
- Heckendorn F., Werne S. (2019). Maîtriser durablement les parasites de pâtures chez les ovins et les caprins: Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL).
- Hoste H., Chartier C., Le Frileux Y. (2002). Control of gastrointestinal parasitism with nematodes in dairy goats by treating the host category at risk. *Vet. Res.*, 33: 531-545.
- Houessou S. (2014). Étude diagnostique des systèmes d'élevage des caprins au Bénin. Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Étude Approfondies (DEA) en management des ressources animales en sciences agronomiques, Université d'Abomey-Calavi du Bénin.
- Idrissou N., Ahounou S., Toleba S., Adjibodé G., Kassa K., Gani S. O., Dahouda M., Tougan U., Tamimou M. I., Karim I. Y. A. (2018). Facteurs non génétiques influençant les performances zootechniques de la chèvre naine en zone soudanienne au Bénin. *Revue Internationale des Sciences Appliquées*, 1840: 8869.
- Kadri, N., Marniche F. D. (2021). Prévalence des parasites gastro-intestinaux chez les caprins dans la région de Chlef. École Nationale Supérieure Vétérinaire.

- Killanga S., Ndamuking K., Mbomi S. (1999). Effects of grazing management on pasture productivity and small ruminant performance: Stocking rate of Cameroon grassland dwarf ewes grazing on *Brahiaria* sp. pastures. *Agronomie Africaine*, 11(3).
- Kudi A., Kalla D., Alkali Y., Ladan S., Kudi M., Mai H. (1997). Enquête à l'abattoir sur les maladies des petits ruminants à Bauchi, Nigeria. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 50: 281-284.
- Lakli A., Khrais I. (2013). La recherche des strongles digestifs chez les caprins. Université ibn khaldoun-tiaret.
- Louise B., Cécile R. (2022). Évaluation de critères de traitement ciblé sélectif contre les strongles gastro-intestinaux visant à limiter l'apparition de résistances à l'éprinomectine sur des brebis laitières du bassin de Roquefort. Thèse vétérinaire. dumas-03957324.
- Missouhou A., Nahimana G., Ayssiwede S. B., Sembene M. (2016). Élevage caprin en Afrique de l'Ouest: une synthèse. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 69: 3-18.
- Roeber F., Jex A. R., Gasser R. B. (2013). Impact of gastrointestinal parasitic nematodes of sheep, and the role of advanced molecular tools for exploring epidemiology and drug resistance—an Australian perspective. *Parasites & vectors*, 6: 1-13.
- Sykes A., Coop R., Angus K. (1977). The influence of chronic *Ostertagia circumcincta* infection on the skeleton of growing sheep. *Journal of comparative pathology*, 87: 521-529.
- Tillard E., Moulin C.-H., Faugère O., Faugère B. (1997). Le suivi individuel des petits ruminants au Sénégal: un mode d'étude des troupeaux en milieu villageois. *INRAE Productions Animales*, 10: 67-78.

Qualité physique et nutritionnelle du lait des vaches Borgou nourries avec des pierres à lécher mise au point au Bénin

G. M. AGBO¹, F. DOKU², S. L. DEDOME¹, C. F. A. SALIFOU³, S. SEIBOU TOLEBA¹, F. P. TCHOBO¹

(Reçu le 19/07/2023; Accepté le 16/08/2023)

Résumé

Divers facteurs, notamment ceux liés à l'alimentation, conditionnent la disponibilité et la qualité du lait au Bénin. Cette étude a pour objectif d'améliorer la qualité du lait par l'utilisation de pierres à lécher. Elle a porté sur 16 vaches de race Borgou âgées de cinq ans, réparties en quatre groupes: CPL1 (pâturage complémenté - pierre à lécher 1), CPL2 (pâturage complémenté - pierre à lécher 2), CPL3 (pâturage complémenté - pierre à lécher 3) et un témoin CPL0 (pâturage complémenté - tourteaux de coton). Les laits collectés le matin ont servis pour l'évaluation des paramètres physico-chimiques (pH, densité, couleur, acidité titrable, matière sèche, cendres, protéines, lactose, lipides, calcium et phosphore). La densité (1,03 g/cm³) était plus élevée pour le lait CPL3. La teneur en protéines du lait CPL1 (65,3 g/l) et la teneur en lactose du lait CPL3 (20,2 g/l) étaient plus élevées. Le lait CPL0 s'est distingué par son taux de matière grasse élevé (46,8 g/l) ce qui le disqualifierait du point de vue nutritionnel. Les pierres à lécher donnent un lait de meilleure qualité physique et nutritionnelle. Elles sont donc recommandées pour améliorer la qualité de la production laitière au Bénin.

Mots clés: Complément alimentaire, vache, son de maïs, mélasse de canne, qualité physico-chimique, saison sèche

Physical and nutritional quality of milk from Borgou cows fed with lick stones developed in Benin

Abstract

Several factors, including those related to diet, influence the availability and quality of milk in Benin. This study aimed to enhance milk quality through the use of lick stones. Sixteen five-year-old Borgou cows were divided into four groups: CPL1 (supplemented grazing – lick stone 1), CPL2 (supplemented grazing – lick stone 2), CPL3 (supplemented grazing -lick stone 3), and a control group CPL0 (supplemented grazing - cottonseed cake). Morning milk samples were collected to assess physicochemical parameters (pH, density, color, titratable acidity, dry matter, ash, proteins, lactose, lipids, calcium, and phosphorus). Density (1.03 g/cm³) was significantly higher for CPL3 milk. CPL1 milk had a higher protein content (65.3 g/L) while CPL3 milk had a higher lactose content (20.2 g/L). CPL0 milk stood out with a high-fat content (46.8 g/L), which may render it nutritionally unfavorable. Lick stones contribute to improved physical and nutritional milk quality, making them recommended for enhancing dairy production quality in Benin.

Keywords: Feed supplement, cow, corn bran, cane molasses, physicochemical quality, dry season

INTRODUCTION

Les produits laitiers jouent un rôle important dans l'alimentation humaine (Boulefek and Lakehal, 2020). Leur qualité nutritionnelle dépend toujours du lait cru (Sissao *et al.*, 2015). Le lait de vache cru est un aliment à forte valeur nutritionnelle. Il occupe une place importante dans l'alimentation humaine et contribue fortement à l'équilibre alimentaire des populations (Seme *et al.*, 2015). Toutefois, sa disponibilité et sa qualité constituent parfois un frein à sa consommation.

Au Bénin, la filière «lait» a un impact sur le développement agricole compte tenu de sa place sur le plan socio-économique. Il fait partir des piliers de la sécurité alimentaire au plan national. Depuis quelques décennies, la population béninoise inclut de plus en plus dans son régime la consommation des protéines d'origine animale dont le lait et les produits dérivés issus de sa transformation à savoir le Warangachi, le yaourt, le dèguè, etc. Ainsi, l'intégration du lait local dans le circuit de la production au niveau des laiteries connaît une évolution encourageante. Son utilisation comme matière première dans la fabrication de nombreux produits dérivés dépend non seulement de sa qualité (souvent instable et douteuse) mais aussi des quantités disponibles (Bachtarzi *et al.*, 2015). Entre 2012

et 2014, la production locale de lait a varié de 104.575.900 à 104.050.090 tonnes pour 12.016.087 à 16.283.500 tonnes pour les importations (DSA, 2022). Cette production reste insuffisante par rapport à la demande de lait et des produits laitiers. Face à ce constat et pour répondre aux besoins croissants de la population béninoise en lait, la production du lait doit satisfaire aux exigences quantitative et qualitative au niveau de la ferme, de l'industrie laitière et pour le consommateur (Sissao *et al.*, 2015). Ainsi, dans le but d'améliorer le rendement du lait afin de faciliter son accès et parfaire sa qualité, trois pierres à lécher ont été fabriquées à partir de sous-produits agricoles et sont proposées par le projet PFCR3/CAPA en complémentation au pâturage naturel. Toutefois, la qualité physique et nutritionnelle des laits produits avec ses pierres reste à déterminer. C'est dans cette optique que cette étude s'est fixé comme objectif général de contribuer à la valorisation des ingrédients locaux dans l'alimentation des vaches Borgou pour contribuer à la sécurité alimentaire et offrir un lait de meilleure qualité. Ceci a permis d'évaluer la qualité physico-chimique du lait de vache issu de la complémentation avec des pierres à lécher fabriquées à bases des ingrédients locaux et de déterminer l'influence des pierres à lécher sur la qualité nutritionnelle du lait ainsi obtenu.

¹ Laboratoire d'Étude et de Recherche en Chimie Appliquée, École Polytechnique d'Abomey-Calavi, Bénin

² Laboratoire de Zootechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

³ Laboratoire de Biotechnologie Animale et de la Technologie des Viandes, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cadre de l'étude

Les laits collectés dans cette étude proviennent de la Ferme d'élevage d'Okpara au cours d'une expérimentation conduite par (Dokui *et al.*, 2022). La ferme d'élevage d'Okpara est située dans la commune de Tchaourou dans l'arrondissement de Kika (2°39-2°53 Longitude Est et 9°6-9°21, Latitude Nord). Elle s'étend sur 33.000 hectares dont 10.000 environ sont exploités (Bio Yessoufou, 2014). Les paramètres physico-chimiques des laits ont été évalués à l'Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire du Laboratoire d'Étude et de Recherche en Chimie Appliquée de l'École polytechnique d'Abomey-Calavi.

Matériel animal et collecte des échantillons

L'expérience a porté sur 16 vaches Borgou âgées de cinq ans. Elles ont été réparties en quatre groupes de 4 sujets. Les animaux sont conduits au pâturage le matin et complétés le soir avec les pierres à lécher fabriquées à base des ingrédients locaux et le tourteau de coton selon les traitements. Trois traitements alimentaires suivant les trois pierres fabriquées, CPL1 (pâturage complété avec pierre à lécher 1 et tourteaux de coton), CPL2 (pâturage complété avec pierre à lécher 2 et tourteaux de coton), CPL3 (pâturage complété avec pierre à lécher 3 et tourteaux de coton) et un témoin CPL0 (pâturage complété avec les tourteaux de coton) ont été testés. La formule de ces pierres d'après Dokui *et al.* (2022) sont présentées dans le tableau 1.

Des échantillons de lait ont été collectés à raison de deux litres de lait par vache laitière par traitement alimentaire par quinzaine au cours de trois mois d'expérimentation. Les laits du matin ont été collectés dans des bocaux de 250 ml et d'un litre et conditionnés dans des glacières avec de la glace durant tout le transport. Au laboratoire, les échantillons ont été conservés à 4°C. Dès la réception des échantillons de lait, les paramètres physico-chimiques (pH, densité et couleur, acidité titrable, taux de matière sèche, de cendres, de protéines, de lactose, de lipides, de calcium et de phosphore) ont été déterminés.

Mesure du pH

Le pH-mètre préalablement calibré (avec des solutions tampons de pH 7 et 4) est prolongé dans 25 ml de lait prélevés puis la lecture est faite.

Acidité totale

Après détermination du pH, 10 ml du lait sont prélevés auxquels sont ajoutés 90 ml d'eau distillée. L'acidité totale a été déterminée par titration avec du NaOH à N/9 jusqu'au virage rose de l'indicateur coloré. Cette acidité a été exprimée en degré Dornic (°D) où: 1°D représente 0,1 g d'acide lactique dans un litre de lait.

Couleur

La couleur du lait a été prise à l'aide d'un chromamètre BCM-810 dans le système trichromatique (L*, a* et b*) conformément aux normes du Comité International d'Éclairage (CIE; L* a* b*). La couleur sur les échantillons de lait a été déterminée selon la méthode décrite par (Ber-

Tableau 1: Formules et composition nutritionnelle des compléments

Ingrédients	Pierre à lécher 1	Pierre à lécher 2	Pierre à lécher 3	Tourteaux de coton
Coquille d'huître	15	12	17,5	-
Chlorure de sodium (NaCl)	13	13	10	-
Son de maïs		15	15	-
Urée	5	5	5	-
Mélasse de canne		5	3	-
Ciment	20	20	20	-
Ocre		3	5	-
Argile		2	2	-
Sol ferreux	10	5	5	-
Garigo	20	0	0	-
Os calciné	12	15	15	-
Phosphate bicalcique	5	5	5	-
Total	100	100	100	-
Composition nutritionnelle				
Matière sèche (%)	73,2	80,3	79,6	86
Matière organique (%)	31,0	31,5	31,8	92,7
Cendre (%)	69,0	68,5	68,2	7,0
Matières azotée totale (%)	13,7	17,7	16,6	19,2
Lipides (%)	3,43	1,22	0,95	33,4
P (g/kg)	0,05	0,05	0,03	-
Ca (g/kg)	25,7	27,4	27,4	-
Mg (g/kg)	49,7	41,8	22,2	-

Source: Dokui *et al.*, 2022

múdez-Aguirre *et al.*, 2009). Le chromamètre a été calibré au préalable avec comme coordonnées de la référence blanche: $Y= 54,10$; $X=0,86$; $y= 5,36$. Environ 50 ml de lait de chaque traitement ont été prélevés et attachés dans des emballages plastiques transparents. Le chromamètre a été posé sur l'échantillon ainsi préparé pour mesurer les indices de couleur L^* , correspondant à la luminosité, a^* l'indice du rouge et b^* l'indice du jaune. Pour chaque mesure, cinq répétitions ont été réalisées.

Densité relative

Une fiole jaugée de 5 ml a été utilisée pour cette mesure. La fiole jaugée bien séchée a été pesée à vide à l'aide d'une balance électronique. Ensuite, elle a été remplie jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée et à nouveau pesée. L'essai a été répété trois fois. La masse de l'eau distillée a été déduite par soustraction de la masse de la fiole à vide de celle totale de la fiole remplie. La même démarche a été suivie pour le lait et l'essai a été répété trois fois. La densité relative du lait a été déterminée par la formule:

$$\text{Densité relative du lait} = (P1'-P0) \text{ aliquote} / (P1-P0)$$

Avec P_0 = poids à vide de la fiole; $P1$ = poids de l'ensemble (fiole + eau distillée); $P0'$ = poids à vide de la fiole (essai lait); $P1'$ = poids de l'ensemble (fiole + lait).

Taux de matière sèche

La teneur en matière sèche a été déterminée en trois répétitions selon la méthode thermogravimétrique pour la détermination de la teneur en eau dans les aliments selon la norme AOAC (Feldsine *et al.*, 2002). Dans une cuve en aluminium préalablement pesée, 10 g de l'échantillon ont été pesés sur une balance électronique à 0,001 près. L'ensemble a été séché à l'étuve à 105 °C pendant 72 heures jusqu'à obtention d'une masse constante. Après séchage, l'ensemble a été refroidi au dessiccateur et pesé.

$$MS(\%) = 100 \times (P1-P0)/Pe$$

Soient: P_0 = poids à vide du creuset (g), $P1$ = poids de l'ensemble (creuset + échantillon) après incinération (g) et Pe = poids de l'échantillon (g). La teneur en matière sèche (MS) de l'échantillon a été déterminée par la formule :

Taux de minéraux

Les cendres totales ont été déterminées par gravimétrie selon la norme AOAC (1990). Cinq grammes d'échantillon ont été pesés dans des creusets (préalablement séchés à l'étuve à 105 °C pendant une heure, puis refroidis dans le dessiccateur jusqu'à température ambiante et repesés). L'ensemble a été mis dans un four où ils ont été chauffés progressivement de 0 à 250 °C. La température fut élevée jusqu'à 550 °C et la combustion complète de l'échantillon se produisit au bout de 24 heures. Les creusets ont été ensuite refroidis au dessiccateur avant d'être pesés. Le pourcentage de cendre totale est calculé selon la formule suivante:

$$TC (\%) = 100 \times (P1-P0)/Pe$$

Avec: P_0 = poids à vide du creuset (g); $P1$ = poids du creuset après incinération (g); Pe = poids de l'échantillon (g).

Dosage des minéraux essentiels

La détermination de la fraction minérale composée du calcium et du phosphore (Ca^{2+} et P^{3-}) a été faite par dosage au

spectrophotomètre d'absorption atomique sur les cendres des échantillons de lait solubilisé. La lecture de la densité optique a été réalisée à 430 nm (AFNOR, 1977).

Teneur en matière grasse

Les lipides totaux ont été extraits par la méthode de Folch *et al.* (1957). Environ 50 g de lait frais sont mélangés à 200 ml de chloroforme et 100 ml méthanol dans un mixer pendant 2 minutes. Le mélange est filtré ensuite sous aspiration et sous azote sur un verre filtré. Environ 200 ml de solvant, chloroforme: méthanol (2:1, v, v), sont ajoutés au résidu pour assurer l'extraction de la totalité des lipides. Le filtrat est transféré dans une ampoule à décanter avec ajout de 0,2 volume de solution de NaCl à 0,7%. Après séparation des deux phases, la phase inférieure est récupérée dans ballon taré puis le solvant est évaporé dans l'évaporation sous l'azote à 50°C pour obtenir la masse de lipides. Trois essais ont été faits pour chaque échantillon de lait. Le résultat est exprimé en pourcentage (%) de matière grasse.

Taux de protéines

Le taux de protéines du lait a été déterminé par la méthode de Biuret. La courbe d'étalonnage est tracée à partir d'une solution d'étalon d'ovalbumine à 10 mg/mL. La dilution d'une gamme de 6 tubes (tubes 1-6) contenant de 2 à 10 mg d'ovalbumine par tube est réalisée. Les tubes expérimentaux qui contiennent une prise d'essai de solution du lait (tubes 7-8) ont aussi été préparés. Un tableau complet de colorimétrie comportant les informations suivantes: N° et composition des tubes, absorbance, quantité et concentration en ovalbumine par tube a été établi. Les Densité Optiques ont été lues à 280 nm. Ce tableau a permis de tracer la courbe d'étalonnage: $A = f$ (quantité de protéines/tube). Le taux de protéines du lait (en g/L) a été déduit à partir de la courbe d'étalonnage.

Dosage du lactose

La teneur en lactose du lait a été déterminée par dosage colorimétrique du lait par la méthode au 3,5-DNS (acide 3,5-dinitrosalicylique). Une gamme de dilution de la solution de lactose à 1 g/L a été réalisée dans six tubes (tubes 1-6) contenant 40 à 200 µg de lactose par tube. Les tubes expérimentaux contenant les différents échantillons de lait ont été préparés au même moment afin que les conditions opératoires soient les mêmes. Dès l'ajout du DNS, les tubes ont été bien homogénéisés et placés au bain-marie à 100°C. La réaction est arrêtée au bout de cinq minutes lorsque les tubes sont placés dans l'eau glacée. Les absorbances ont ensuite été lues à 530 nm. Le tableau de colorimétrie précisant pour chaque tube, la masse de lactose en µg et les absorbances par tube a été établi. La courbe d'étalonnage: $A_{530nm} = f(m \text{ (lactose)})$ a été tracée. Le taux de protéines du lait (en g/L) a été déduit.

Analyses statistiques

Les données ont été synthétisées dans le tableur Microsoft Excel 2013. L'effet du traitement sur les paramètres physico-chimiques et nutritionnels du lait a été évalué en effectuant une analyse de la variance (ANOVA à un facteur) puis la comparaison des moyennes par le test de Student Newman Keuls à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2022).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Effet des pierres à lécher sur la qualité physico-chimique du lait

Le tableau 2 présente les caractéristiques physico-chimiques des laits en fonction du traitement alimentaire. Le pH et l'acidité des laits étaient similaires pour tous les traitements et le témoin ($p > 0,05$). Les valeurs enregistrées pour le pH étaient comprises entre 6,6 (CPL2 et CPL3) et 6,7 (CPL0 et CPL1). Les pH obtenus pour les laits dans cette étude sont similaires à ceux enregistrés par Dossou *et al.* (2016) sur le lait des vaches de race Borgou et Borgou-Gir (6, 5 et 6,8 respectivement). Selon ces auteurs, les valeurs de pH ainsi obtenues témoignent de l'état de fraîcheur des échantillons. Cela s'explique par les conditions de conservation maintenue pour les laits durant tout le transport du site de production au laboratoire. L'acidité titrable était comprise entre 15,26 °D (CPL0) et 16,78 °D (CPL2). Ces valeurs obtenues pour les traitements CPL3 et CPL2 sont conformes à la Norme AFNOR (1977) pour le lait de vache (16-18 °D). Le lait des vaches complémentées avec la pierre à lécher 3 a obtenu la densité (1,033 g/cm³) la plus élevée ($p < 0,05$). Par conséquent, ce lait était plus lourd que les autres mais ne respecte pas la norme (1,030-1,032). La luminosité était comprise entre 89,5 (CPL0) et 91,1 (CPL1) et était similaire ($p > 0,05$) pour tous les laits. Des valeurs de luminosité élevées (86,3) ont été obtenues par de Meneses *et al.* (2020) sur le lait cru du Brésil. Cette blancheur du lait est due à la présence des particules colloïdales comme les micelles de caséine capables de disperser la lumière dans le spectre du visible. L'indice du rouge du lait issu des vaches complémentées avec la pierre à lécher 3 était plus faible ($p < 0,05$) que celui du lait des vaches complémentées avec la pierre à lécher 2. Ces deux indices du rouge étaient respectivement similaires ($p > 0,05$) aux autres laits. Les valeurs enregistrées pour l'indice du rouge étaient négatives et montraient que la coloration des laits tendait vers le vert. Les valeurs négatives d'indice du rouge du lait (-7,25) ont été obtenue par de Meneses *et al.* (2020). L'indice du jaune, quant à lui, était similaire ($p > 0,05$) pour

tous les laits. Les valeurs obtenues pour ce dernier étaient faibles et variaient entre 1,80 (CPL1) et 5,68 (CPL2). Cela indique que le lait est un produit d'aspect jaunâtre. Ces résultats sont similaires, par les valeurs supérieures, à ceux enregistrés par Bermúdez-Aguirre *et al.* (2009) (5,68).

Effet des pierres à lécher sur la qualité nutritionnelle du lait

La composition nutritionnelle des laits en fonction du traitement alimentaire est présentée dans le tableau 3. Aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été trouvée pour le taux de matière sèche des laits qui ont varié de 122,6 g/L (CPL2) à 134,6 g/L (CPL1). La teneur en protéines du lait des vaches ayant reçu en complément la pierre à lécher 1 (65,3 g/L) était plus élevée que celle des autres. Concernant la teneur en lactose, celle du lait issu de la complément des vaches avec la pierre à lécher 3 (20,2 g/l) était plus élevée ($p < 0,05$). Le témoin s'est distingué de tous les traitements par son taux de matière grasse élevé (46,8 g/l). Cette valeur est largement au-dessus de la Norme AFNOR (1977) qui a fixé l'intervalle 34-36 g/L pour la matière grasse du lait. Ces résultats s'expliqueraient par l'effet de l'alimentation sur la composition du lait. En effet, le taux élevé de matière grasse enregistré par les témoins pourrait être dû au fait que ces vaches aient reçu, en complément au pâturage, des tourteaux de coton qui sont des résidus d'extraction d'huile. Hormis le lait issu des vaches complémentées avec les pierres à lécher 1 qui a enregistré un taux de gras légèrement au-dessus de la norme (36,6 g/L), tous les autres laits ont enregistré des valeurs comprises dans la marge définie par la Norme. Cette différence observée entre le taux de matière grasse pourrait aussi s'expliquer par la nature des ingrédients utilisés dans la formulation des pierres à lécher servis en complément au pâturage. En effet, le taux de matière grasse est non seulement lié à la teneur en fourrage mais aussi et à la nature des fibres utilisées dans la formulation (Bachtarzi *et al.*, 2015). Il varie suivant l'âge, la race, les conditions climatiques, le stade de lactation et l'alimentation (Seme *et al.*, 2015). Les taux trouvés dans cette étude se rapprochent de ceux

Tableau 2: Caractéristiques physico-chimiques des laits en fonction du traitement alimentaire

Traitement	pH	Acidité (°D)	Densité à 20°C (g/cm ³)	Luminosité	a*	b*
CPL0	6,7 ± 0,1a	15,3 ± 2,56a	1,03 ± 0,01ab	89,5 ± 5,72a	-1,44 ± 5,83ab	5,14 ± 9,35a
CPL1	6,7 ± 0,1a	16,0 ± 1,90a	1,03 ± 0,01b	89,8 ± 3,64a	-3,95 ± 7,30ab	1,80 ± 3,53a
CPL2	6,6 ± 0,2a	16,8 ± 1,64a	1,02 ± 0,01b	89,8 ± 3,44a	1,79 ± 9,65a	5,68 ± 5,27a
CPL3	6,6 ± 0,2a	16,6 ± 2,09a	1,03 ± 0,01a	91,1 ± 2,60a	-4,87 ± 5,53b	3,46 ± 7,61a

CPL0: pâturage complémenté avec pierre à lécher témoin, CPL1: pâturage complémenté avec pierre à lécher 1, CPL2: pâturage complémenté avec pierre à lécher 2 et CPL3: pâturage complémenté avec pierre à lécher 3; a, b sur la même ligne: les valeurs affectées de différentes lettres sont significativement différentes.

Tableau 3: Composition nutritionnelle des laits en fonction du traitement alimentaire

Traitement	Matière sèche (g/l)	Protéines (g/L)	Lipides (g/L)	Lactose (g/l)	Fraction minérale		
					Cendre (%)	Ca (mg/Kg)	P (mg/Kg)
CPL0	129,5 ± 2,15a	61,4 ± 5,34b	46,8 ± 9,63a	17,4 ± 2,94b	0,63 ± 0,24a	1540 ± 1262a	800 ± 218a
CPL1	134,6 ± 1,81a	65,3 ± 5,62a	36,6 ± 12,4b	17,3 ± 3,28b	0,63 ± 0,13a	1305 ± 70a	704 ± 221a
CPL2	122,6 ± 1,28a	60,0 ± 3,11b	35,5 ± 10,7b	19,7 ± 2,83ab	0,60 ± 0,13a	1137 ± 246a	879 ± 112a
CPL3	132,9 ± 1,47a	59,2 ± 3,36b	36,0 ± 6,06b	20,2 ± 2,99a	0,71 ± 0,12a	993 ± 535a	693 ± 240a

CPL0: pâturage complémenté avec pierre à lécher témoin, CPL1: pâturage complémenté avec pierre à lécher 1, CPL2: pâturage complémenté avec pierre à lécher 2 et CPL3: pâturage complémenté avec pierre à lécher 3; a, b sur la même ligne: les valeurs affectées de différentes lettres sont significativement différentes.

obtenus sur les laits crus dans la région maritime au sud du Togo (39,5 g/L) et de ceux obtenus en saison sèche sur les laits crus prélevés dans des élevages traditionnels de la région de Kaolack au Sénégal (40,0 g/L) (Kalandi *et al.*, 2015). La teneur en cendre, représentant la fraction minérale des laits, a varié de 0,60 (CPL2) à 0,71 % (CPL3). Ce taux était similaire ($p > 0,05$) pour tous les traitements. De même, les teneurs en calcium et en phosphore n'ont pas été influencées par le traitement alimentaire.

CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de contribuer à la valorisation des ingrédients locaux dans l'alimentation des vaches Borgou pour consolider la sécurité alimentaire et offrir un lait de meilleure qualité. Il ressort de résultats obtenus que les laits des vaches complémentées avec des pierres à lécher présentaient des caractéristiques physico-chimiques similaires au lait des vaches témoins qui avaient reçu des tourteaux de coton en complément. Sur le plan nutritionnel, les teneurs en protéines et en lactose étaient élevées chez les vaches complémentées avec les pierres à lécher, mais avec un taux de matière grasse faible par rapport au lait des vaches témoins. Par conséquent, les laits donnés par les vaches complémentées avec les pierres à lécher étaient de meilleure qualité. En somme, les pierres à lécher donnent un lait de meilleure qualité physico-chimique et nutritionnelle. Elles peuvent donc être recommandées pour améliorer la qualité de la production laitière au Bénin.

RÉFÉRENCES

- AFNOR N. (1977). Statistique et qualité, introduction à la fiabilité. X NF, 06–501. pp.
- Bachtarzi N., Amourache, L. and Dehkal, G. (2015). Qualité du lait cru destiné à la fabrication d'un fromage à pâte molle type Camembert dans une laiterie de Constantine (Est algérien). *Int. J. Innov. Sci. Res.*, 17: 34–42.
- Bermúdez-Aguirre D., Mawson, R., Versteeg, K., Barbosa-Cánovas, G. V. (2009). Composition properties, physico-chemical characteristics and shelf life of whole milk after thermal and thermo-sonication treatments. *Journal of Food Quality*, 32: 283–302.
- Bio Yessoufou A. (2014). Évaluation de la production du lait de vaches Borgou à la Ferme d'Élevage de l'Okpara. EPAC/UAC.
- Boulefek A.O., Lakehal H. (2020). Les caractéristiques physico-chimiques et Organoleptiques du lait de (Vache, Brebis et Chèvre) Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- de Meneses R. B., Maciel L. F., da Rocha-Leão M. H., Conte-Junior C. A. (2020). Physico-chemical Characteristics of Milk By-Products. *CET Journal-Chemical Engineering Transactions*, 79.
- Dokui F., M. Houndonougbo F., G. Djidda S., P. Houndonougbo V., Gangbedji E., Menon Agbo G., Ludolphe Dedome S., Babatoundé S., Seibou Toleba S., A.A.M. Chrysostome C. (2022). Milk Yield of Borgou Cows Improved with Lick Stones made in Benin. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 11: 424–430.
- Dossou J., Atchouké G.D., Dabadé D.S., Azokpota P., Montcho J. K. (2016). Évaluation comparative de la qualité nutritionnelle et sanitaire du lait de différentes races de vaches de quelques zones d'élevage du Bénin. *European Scientific Journal*, 12(3).
- DSA (2022). Effectifs cheptels et productions. Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage et la Pêche. <https://apidsa.agriculture.gouv.bj>.
- Feldsine P., Abeyta C., Andrews W. H. (2002). AOAC International methods committee guidelines for validation of qualitative and quantitative food microbiological official methods of analysis. *Journal of AOAC International*, 85:1187–1200.
- Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226: 497–509.
- Kalandi M., Sow A., Guigma W.V.H., Zabre M.Z., Bathily A., Sawadogo G.J. (2015). Évaluation de la qualité nutritionnelle du lait cru dans les élevages traditionnels de Kaolack au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9: 901–909.
- R Core Team (2022). R: A Language and Environment for Statistical Computing (R 4.2.0) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Seme K., Pitala W., Osseyi G.E. (2015). Qualité nutritionnelle et hygiénique de laits crus de vaches allaitantes dans la région maritime au Sud-Togo. *European Scientific Journal*, 11(36).
- Sissao M., Millogo V., Ouedraogo G.A. (2015). Composition chimique et qualité bactériologique des laits crus et pasteurisés au Burkina Faso. *Afrique Science: Revue Internationale Des Sciences et Technologie*, 11: 142–154.

Performances de production des élevages laitiers périurbains et urbains de la commune de Fada N’Gourma au Burkina Faso

S. OUEDRAOGO¹, E. SODRÉ¹, K.I. SAVADOGO^{1,2}, L. SANOU¹, V.M.C. BOUGOUMA¹

(Reçu le 26/07/2023; Accepté le 17/08/2023)

Résumé

La présente étude a pour objectif principal de diagnostiquer le maillon de la production à l'échelle de la ferme de la chaîne de valeur lait dans le bassin laitier de Fada N’Gourma, Burkina Faso. Pour ce faire, une enquête a été effectuée auprès de 65 exploitations laitières choisies grâce à la méthode de boule de neige. Elle a concerné les éleveurs laitiers des sites de Kikideni, Kouaré et de la ville de Fada. Il en ressort que dans la zone d'étude, la taille moyenne des troupeaux est de 23 têtes avec un noyau laitier moyen de 4 têtes. La race Zébu peulh est la race la plus représentée dans les noyaux laitiers. Les métisses de races exotiques bien que peu représentées, sont surtout rencontrées en zone urbaine. Les performances laitières par vache par jour varient en fonction des saisons avec un pic en pleine saison pluvieuse en raison de la disponibilité de l'herbage de qualité et en quantité. Le prix de vente du litre de lait varie très peu au cours de l'année. L'analyse typologique montre trois (3) groupes de producteurs laitiers dans la zone urbaine et périurbaine de Fada N’Gourma: les élevages de types traditionnels, ceux de type périurbain et ceux de type urbain. Parmi les facteurs ayant une influence sur le niveau de production, il y a la présence de métisses de race exotiques, la pratique de la production fourragère, l'achat important de SPAI (Sous produits agro industriels), la formation des producteurs et l'effectif supérieur à 50 têtes. Les performances des troupeaux des élevages périurbains et urbains de Fada ont été comparables à celles des troupeaux de la sous-région Ouest Africaine.

Mots-clés: Élevage laitier, Élevage semi-intensif, Zébu peulh, Laiteries

Production performance of the peri-urban and urban dairy farms in the commune of Fada N'Gourma in Burkina Faso

Abstract

The main objective of this study was to diagnose on a farm level the production link of the milk value chain in the Gourma dairy basin. For this purpose, a survey of the year 2020 was carried out with 65 dairy farms. It concerned the dairy farmers of the sites of Kikideni, Kouaré and the city of Fada. It appears that the majority of breeders are from the Peulh ethnicity. In the study area, the average size of the herds is 23 heads with an average dairy nucleus of 4 heads. The Zébu Peulh race is the most represented race in the dairy nuclei. The mestizos of exotic races although little represented, are mainly encountered in urban areas. The dairy performance per cow per day vary depending on the seasons with a peak in full rainy season. The sale price of the liter of milk varies very little. The typological analysis showed three (3) groups of dairy producers in the urban and peri-urban area of Fada N’Gourma. Among the factors with an influence on the level of production, there is the presence of crosses with exotic breeds, the practice of fodder production, the high purchase of agro-industrial by-products, the training of producers and a herd greater than 50 heads. The performance of the herds of the peri-urban and urban farms in Fada were comparable to those of the herds of the West African sub-region.

Keywords: Dairy farming, Semi-intensive livestock farming, Zebu peulh, Dairies, Snowball method

INTRODUCTION

Le secteur de l'élevage est l'un des secteurs les plus dynamiques du monde (Collectif Alimentaire, 2006) et occupe une place importante dans l'économie de l'Afrique de l'Ouest avec 44 % du Produit Intérieur Brut (PIB) régional (CEDEAO, 2009). Il contribue pour 10 à 15 % du PIB pour les pays sahéliens comme le Burkina Faso, le Niger et le Mali (Duteurtre et Corniaux, 2013). Outre leur importance économique, le lait et les produits laitiers ont une importance alimentaire, nutritionnelle et socioculturelle (Chatellier, 2019). Au cours des vingt dernières années, l'élevage laitier a connu de profondes transformations en Afrique vu l'augmentation de la demande en produits laitiers. Mais cette augmentation est insuffisante pour faire face à la demande toujours croissante avec une démographie galopante. C'est ainsi que les pays subsahariens se tournent vers la poudre de lait rengraissée avec des importations de plus en plus croissantes (Broutin *et al.*, 2018). Au sein de l'espace de l'Union Économique Monétaire Ouest-Africaine (UEMOA), tous les pays sont déficitaires en lait et produits laitiers avec des importations qui ont atteint 200 milliards de Francs en 2010 (Duteurtre et Corniaux, 2013).

Au Burkina Faso, la consommation moyenne en lait est d'environ 17 à 18 litres/an/habitant (FAO, 2019). Elle est en dessous des 70 à 90 kg/an/habitant recommandé par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (Broutin *et al.*, 2018). L'essentiel de la production laitière du pays (95%) provient de l'élevage traditionnel (Oudet, 2005). Mais, le manque de débouchés sécurisés, n'encourage pas la majorité des exploitations à investir dans l'amélioration des performances laitières de leurs animaux (Broutin *et al.*, 2018). Le faible niveau de protection commerciale contre la poudre de lait (tarif extérieur commun à 5 %) et le sous-investissement chronique dans la structuration de filières de collecte du lait local sont également des facteurs qui entravent l'émergence d'une filière locale de produits de lait plus solide (GRET et APSS, 2016). Pour renverser un tant soit peu cette situation, il a été consenti d'importants efforts dans l'émergence de véritables bassins laitiers dans les périphéries des grandes villes en plus des zones pastorales traditionnelles ou aménagées. Ainsi, il est apparu de mini laiteries artisanales et industrielles tournées vers la collecte de lait local (Corniaux *et al.*, 2005). Situées généralement à proximité d'une zone urbaine, ces unités de transformation

¹ Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso

² Institut du Développement Rural, Université Nazi Boni, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

offrent des opportunités de commercialisation des produits laitiers locaux sur des marchés plus larges aux éleveurs. Elles œuvrent en faveur de la création de nouveaux créneaux ou métiers du lait, et en amont, elles accompagnent l'intensification des pratiques d'élevage (Corniaux *et al.*, 2005). Cependant, elles se heurtent à un problème d'approvisionnement en lait local due à une production dispersée sur le territoire et à la faible productivité des vaches (Sib *et al.*, 2017). Cette difficulté fragilise les nombreuses initiatives des laiteries ayant fait le pari de la collecte du lait local. Il était impérieux de trouver des solutions adaptées afin d'accompagner les acteurs et de là, booster le secteur laitier du pays. La région de l'Est est l'un des bassins laitiers du pays et dispose depuis 2003, de la plus grande laiterie du pays en plus de quelques mini-laiteries. Ces unités ont une capacité de transformation pouvant atteindre et 800 litres/jour et 3 000 litres/jour respectivement pour la Laiterie Nungu Kossam et la Laiterie de Fada N'Gourma et (Corniaux, 2014a, 2014b). Malheureusement, elles font face à d'énormes difficultés et très peu d'études se sont intéressées à la problématique. En effet, de nombreuses études sur l'élevage laitier ont concerné les bassins laitiers du Centre et de l'Ouest du pays tandis que celui de l'Est est très peu étudié. Il en résulte que très peu de littérature existe sur la caractérisation du système laitier, la composition des troupeaux et la production moyenne des vaches de cette zone malgré les importantes potentialités qu'elle dispose pour le développement du secteur laitier. L'objectif général de l'étude était de réaliser un diagnostic du maillon de la production laitière à l'échelle de la ferme de la chaîne de valeur lait dans le bassin laitier du Gourma. De façon spécifique, il s'est agi de : caractériser et évaluer les performances de production laitière des élevages périurbains et urbains de la commune de Fada N'Gourma; faire la typologie des élevages laitiers périurbains et urbains de la commune de Fada N'Gourma. Sur la base de ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été émises pour encadrer nos investigations à savoir: (1) Le bassin laitier de la ville de Fada N'Gourma comporte une grande diversité d'exploitations, plus orientées vers l'exploitation du potentiel laitier se traduisant par un changement profond des pratiques d'élevage; (2) Eu égard à la proximité des éleveurs du CNMAP et au fait que le lait local représente une importante source de revenus pour les éleveurs, il y a un engouement pour l'amélioration génétique des races locales par l'insémination artificielle avec des races exotiques plus productives au niveau des éleveurs du bassin laitier de Fada N'Gourma.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Description du site d'étude

Cette étude a été conduite dans la province du Gourma (chef-lieu Fada N'Gourma) à l'Est du Burkina Faso. L'étude a concerné les élevages bovins laitiers périurbains et urbains de la ville de Fada N'Gourma. Les sites retenus pour cette étude ont été les villages de Kikidéni, Koaré, et la ville de Fada. Ces sites ont été choisis, car situés dans la zone de couverture des laiteries de la ville, ils sont les principaux fournisseurs de ces laiteries en lait frais. Le climat est de type Nord-soudanien, caractérisé par deux saisons: une saison pluvieuse qui dure environ 5 mois (de Mai à Octobre) et une saison sèche de Novembre à Avril (Da, 2011). La pluviométrie varie en général entre 750 mm et 900 mm/an.

La moyenne pluviométrique des dix dernières années est de 867 mm d'eau par an avec une moyenne de 50 jours de pluies. La température moyenne annuelle se situe autour de 28° C, avec des variations mensuelles pouvant aller de 20° en décembre/janvier à 40° en mars/avril. Selon le recensement général de la population humaine de 2019, la province du Gourma comptait 437 310 habitants dont les femmes représentent la proportion la plus importante avec un taux de 51,8% contre 48,2% d'hommes (INSD, 2022). La population est constituée majoritairement de Gourmantché, de Mossi, de Zaoussé, de Yaana et de Peulh (Da, 2011). Les types de sols fréquemment rencontrés sont les sols ferrugineux tropicaux lessivés, impropres à l'agriculture, des sols hydromorphes à pseudo-gley et des sols peu évolués d'apport alluvial à pseudo-gley, tous deux propices à l'agriculture (Da, 2011). La végétation est caractérisée dans son ensemble par des formations arborées et arbustives. Dans les limites de ces formations végétales, il se développent des initiatives de création et de gestion de zones forestières et de pâturage. Les conditions pédoclimatiques de la zone d'étude sont favorables aux activités agropastorales qui occupent près de 92,6% des actifs (Bahan, 2009). L'élevage est la seconde activité des populations après l'agriculture et constitue l'une des principales sources de revenus. La région est classée troisième en terme d'effectif du cheptel bovins soit 11,4% du cheptel national (MRA, 2015).

Méthodologie de l'étude

Une enquête a été réalisée dans les élevages bovins laitiers de la zone urbaine et périurbaine de la ville de Fada N'Gourma choisis avec la méthode boule de neige. Elle a consisté à enquêter une population initiale de producteurs grâce à une liste dressée avec l'appui des laiteries (laiterie de Fada N'Gourma et laiterie Nungu Kossam). Chaque producteur enquêté a orienté ensuite l'enquêteur vers d'autres producteurs laitiers et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'une taille de 65 personnes. Une phase de pré-enquête a permis d'apprécier la clarté et la pertinence des questions avant la phase d'enquête proprement dite. Elle a porté sur les caractéristiques socio-économiques de l'exploitation, l'inventaire du cheptel (troupeau bovin et autres espèces), la gestion des vaches laitières (production laitière, pratique d'alimentation, reproduction, et santé) et le marketing du lait.

Analyse des données

L'analyse descriptive a permis de réaliser le profil des répondants. Une Analyse Factorielle de Correspondances (AFC) a été faite afin d'identifier les facteurs ayant une influence sur le niveau de production des élevages laitiers. Pour analyser la diversité des systèmes de production et déterminer les classes de pratiques homogènes, une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été appliquée à l'aide du logiciel XLSTAT. Pour la CAH, les variables retenues ont été celles en lien avec la productivité en lait des exploitations (actifs de l'exploitation, effectif troupeau, taux de femelles, taux de femelles en âge de reproduction, proportion de race locale, taille noyau laitier, production journalière par vache et par exploitation, production laitière annuelle par vache, nombre de traite par jour, quantité de Sous-Produits Agro-Industriels (SPA) achetée annuellement, la part du pâturage dans l'alimentation, coût annuel de l'alimentation). Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis (variables: la taille du troupeau, taille du noyau

laitier, race prédominante, production laitière journalière, quantité de SPAI achetée, coût d'achat annuel d'aliments) et le test de Fisher (part autoconsommée et part du pâturage dans l'alimentation) ont été utilisés pour ces différentes analyses comparées au seuil de 5%.

RÉSULTATS

Caractéristiques socio-économiques des éleveurs laitiers enquêtés

Les répondants sont composés de 56,9 % d'hommes dont près de 78,5 % ont un âge supérieur à 35 ans (Tableau 1). Les Peulhs représentent l'ethnie majoritaire (87,7 %) alors que les mossis (7,7 %) et les Gourmantchés (3,1 %) sont très peu représentatifs. Quant au niveau d'instruction, les exploitants enquêtés sont très faiblement instruits (87,0% d'analphabètes) et manquent de formation (73,8 % non-formés). La majorité des acteurs de l'élevage laitiers (68,0 %) ont plus de 20 ans d'expériences dans l'activité. Il ressort que la culture fourragère est très peu pratiquée (7,7%). La proportion des producteurs qui pratiquent une complémentation à base d'aliments concentrés reste faible

(12,3 %). Aussi, parmi les enquêtés, 24,6 % pratiquent la transhumance. Les éleveurs déclarent avoir un accès difficile à la ressource en eau (87,7 %) pour l'abreuvement surtout en saison sèche et les sources d'abreuvement les plus utilisées sont les forages (55,4 %). Des déclarations des répondants, il est ressorti que les résidus de cultures sont les ressources les plus utilisées en saison sèche et le fourrage vert en saison pluvieuse. Sur les 65 élevages enquêtés, les effectifs varient entre 2 et 141 têtes. La taille moyenne des troupeaux de la zone d'étude est de 23 têtes avec un noyau laitier moyen de 4 têtes. Il y a une forte proportion de femelles (de l'ordre de 79 % dont 63% de vaches) en âges de reproduction dans les troupeaux. Les mâles représentent seulement 21% de l'effectif des troupeaux laitiers de la zone d'étude. La race Zébu Peulh est la principale race bovine la plus représentée dans les noyaux laitiers des troupeaux des éleveurs enquêtés. La race Azawak est la deuxième race la plus rencontrée après le Zébu Peulh suivie de la race Goudali. Les races importées et leurs métisses sont plus rencontrées en zone urbaine, mais représentent moins de 10% des laitières utilisées.

Tableau 1: Caractéristiques socio-économiques des éleveurs enquêtés

Variables	Modalités	Pourcentage
Sexe	Masculin	56,9
	Féminin	43,1
Age	<35 ans	21,5
	>35 ans	78,5
Appartenance ethnique	Gourmantché	3,1
	Mossi	7,7
	Peulh	89,2
Activité principale	Agriculture	12,3
	Élevage	84,6
	Retraités	3,1
Niveau d'instruction	Analphabète	87,7
	Primaire	6,2
	Secondaire	6,2
Formation reçue	Oui	26,2
	Non	73,8
Années d'expérience dans l'élevage laitier	< 5 ans	3,0
	5 à 10 ans	2,0
	10 à 20 ans	29,0
	>20 ans	68,0
Pratique de la culture fourragère	Oui	7,7
	Non	92,3
Contribution du pâturage dans l'alimentation des vaches	<30%	12,3
	30 à 60%	41,3
	> 60%	46,2
Pratique de la Transhumance	Oui	24,6
	Non	75,4
Accessibilité de l'eau	Facile	12,3
	Difficile	87,7
Sources d'abreuvement	Retenue d'eau	27,7
	Puits	16,9
	Forage	55,4
Lieu de pâture en saison sèche	Champ/Jachère/plaine/colline/aire protégée	100
Lieu de pâture en saison humide	Champ	1,5
	Jachère/plaine/colline	65,5
	Aire protégée	33,0

Performances de production laitière des élevages enquêtés

La production laitière est légèrement plus élevée à Fada qu’à Kikidéni et à Koaré en saison sèche chaude avec respectivement 2,73; 2,53 et 2,29 litres/vache/jour (Figure 1a). Elle connaît une légère baisse en début de saison pluvieuse, particulièrement sur le site de Fada, avant d’atteindre le pic de production en pleine saison pluvieuse de l’ordre de 3,12; 2,67 et 2,94 litres/vache/jour respectivement pour Fada, Kikidéni et Koaré. En fin de saison pluvieuse, cette production connaît à nouveau une baisse. La production journalière des exploitations suivant les saisons de l’année indique que Kikidéni enregistre la moyenne de production de lait la plus élevée avec 16,2 litres/jour/exploitation contre 11,8 et 8,76 litres/jour/exploitation respectivement pour Fada et Koaré en saison sèche chaude (Figure 1b). En début de saison pluvieuse, la production laitière des sites de Fada et Koaré connaît une hausse pour atteindre des pics de production compris entre 16 et 17 litres/jour/exploita-

tion en pleine saison pluvieuse. Cependant, la production des exploitations de Kikidéni connaît une légère baisse en pleine saison pluvieuse où le pic de production s’observe en début de saison pluvieuse. Le prix de vente du lait varie très peu sur les différents sites quelle que soit la saison. Il est constant, au prix de 275 FCFA/litre à Koaré en toutes saisons. Sur les autres sites, il connaît une légère oscillation selon la saison. Le prix le plus élevé est observé en saison sèche froide sur le site de Fada avec un prix moyen de 294 FCFA/litre de lait et le plus faible à Kikidéni en début de saison pluvieuse (238 FCFA/litre de lait, Figure 1c).

Analyse des facteurs influençant la production laitière

Les résultats de l’Analyse Factorielle des Correspondances sur les plans factoriels 1 et 2 sont donnés en vue d’ensemble des variables et leurs contributions sur les deux axes. Les dimensions F1 et F2 expliquent 100 % des observations (Figure 2). Ce graphique montre que les variables «présence de métisses de race exotiques», «pra-

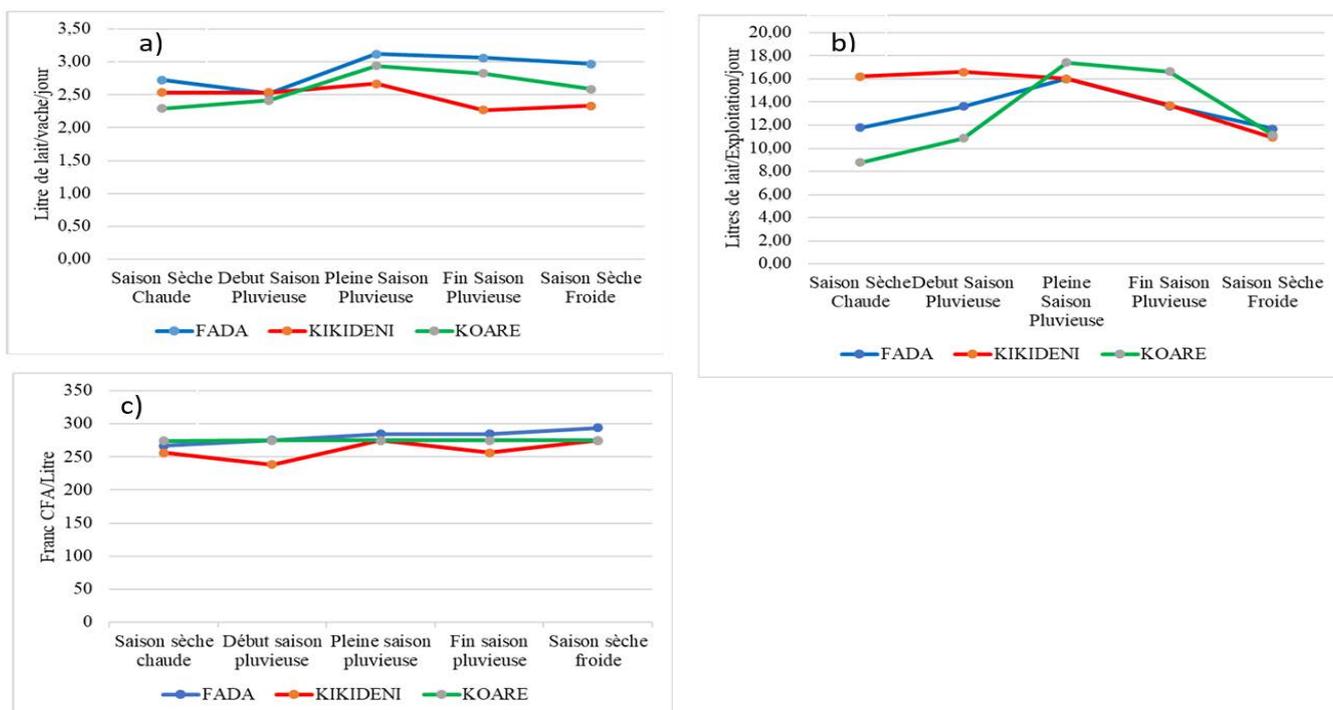


Figure 1: Performances des productions laitières dans le Gourma

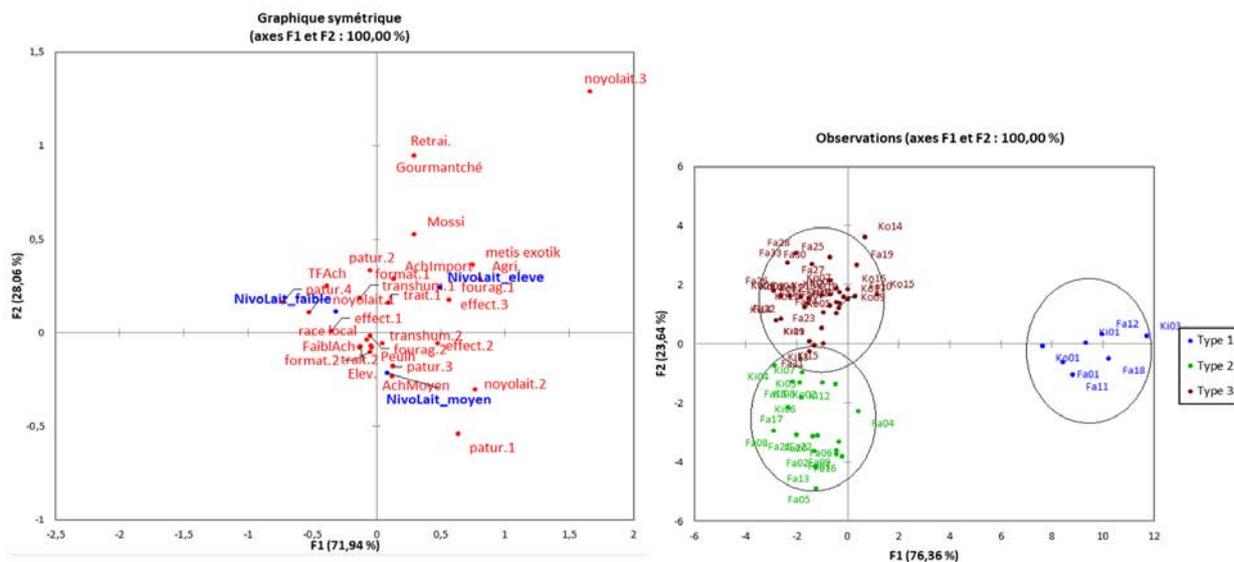


Figure 2: Contribution des variables aux dimensions F1 et F2 (à gauche) et Typologie des exploitations périurbaines et urbaines de la ville de Fada (à droite)

tique de la production fourragère», «achat élevé de SPAI (plus de 5 tonnes par an)», «formé en production laitière» et «effectif supérieur à 50 têtes» sont fortement corrélées à la variable «niveau de production laitière élevée». Quant à la faible production laitière, elle est plus associée à d'autres variables telles que «petit noyau laitier», «prédominance de race locale», «faible effectif du troupeau», «très faible achat de SPAI», «pratique de transhumance», «très forte contribution du pâturage de l'alimentation (> 80 %)». Les variables associées au niveau de production moyenne sont «achat moyen de SPAI», «non pratique de transhumance», «forte contribution du pâturage de l'alimentation (50 à 80 %)», «ethnie Peulh», «effectif moyen du troupeau».

La classification ascendante hiérarchique a permis de regrouper les exploitations en trois (03) types d'élevages bovins laitiers en fonction de leur niveau de production laitière (Figure 2). Les différents types d'exploitations, qui sont Type 1, Type 2 et Type 3 représentent respectivement 10,8 %, 32,3 % et 56,9 % des éleveurs enquêtés. Le type 2 et le Type 3 présentent des facteurs similaires.

Les caractéristiques des trois (03) groupes de producteurs laitiers de la zone urbaine et périurbaine de Fada sont consignées dans le tableau 2.

Type 1: Exploitations de grande taille. Ce groupe de producteurs rassemble environ 11% des enquêtés. Le nombre des personnes actifs de ce groupe est assez élevé (15 personnes/ménage en moyenne). Ce sont des élevages avec des troupeaux de grandes tailles (57 ± 41 têtes). La proportion de vaches reproductrices, bien qu'inférieure aux autres types, n'est pas significativement différente ($P < 0,001$). Les noyaux laitiers sont en grande majorité de races locales (zébus Peulh, Goudali, Azawak et leurs produits de croisement). Au niveau des performances, la production laitière par vache des élevages de Type 1 est de $3 \pm 0,98$ litres/Jour avec une production de l'exploitation de $28,6 \pm 19,3$ litre/jour. Le niveau de d'autoconsommation du lait produit ($27,5 \pm 14,1$ %) a été similaire au type 2. Ces élevages ont recours de manière plus marquée à l'achat de SPAI ($6,45 \pm 1,75$ tonnes/an) et réduisent leur dépendance au pâturage naturel pour l'alimentation des laitières ($38,3$

± 7 %). Au niveau économique ces élevages dépensent en moyenne $1\ 026\ 386 \pm 366\ 831$ FCFA pour l'alimentation de leur troupeau.

Type 2: Exploitation de petite taille à fort niveau d'utilisation d'intrants. Ce groupe d'éleveurs constitue 32,3 % des enquêtés. Ce sont des élevages dont la taille du troupeau était assez réduite (en moyenne 16 ± 12 têtes) composé de près de 62 % de vaches en âge de reproduction avec une prédominance de la race locale (98,6 %). Le noyau laitier de leur troupeau est également assez petit (4 ± 2 têtes). En termes de production laitière, elle est très faible ($1,95 \pm 1$ Litres/vache/jour) comparativement aux type 1 et type 3. Celle de l'exploitation est aussi très faible ($7,83 \pm 5,33$ Litres/jour) avec une autoformation de $28,7 \pm 12,7$ %. Malgré cette très faible productivité, ces élevages de ce groupe investissent énormément dans l'alimentation de leur troupeau. Au cours de l'année 2020, près $8,40 \pm 8,36$ tonnes de SPAI sont achetées. La contribution du pâturage naturel à l'alimentation du troupeau, bien que similaire au type 1, est légèrement plus élevée avec $47,2 \pm 15,9$ %.

Type 3: Exploitations de taille moyenne à orientation pastorale. Ce groupe représente 56,9 % des enquêtés. Il dispose de troupeaux de taille moyenne (20 ± 17 têtes) composé à $65,8 \pm 15,3$ % de vaches en âge de reproduction. Le noyau laitier de ces éleveurs est également de petite taille de l'ordre de 4 ± 1 vaches laitières. Bien que la race locale soit la race prédominante (97,3 %), quelques métisses de races exotiques sont rencontrées dans ce type d'élevage. Pour ce qui est des performances laitières, elle est similaire au type 1 avec $3,12 \pm 0,90$ Litres /jour et $14,0 \pm 5,75$ litres/jour respectivement pour la production laitière journalière par vache et celle de l'exploitation. La part de lait autoconsommée est de 36 ± 12 %, bien plus élevée et diffère significativement du type 1 et du type 2. Dans ces élevages, le pâturage occupe une place prépondérante dans l'alimentation des laitières, en ce sens qu'il contribue pour $65,0 \pm 16,3$ % dans l'alimentation. La complémentation avec les SPAI y est très faible avec l'acquisition de $2,35 \pm 1,76$ tonnes pour l'année 2020. Ils dépensent très peu dans l'alimentation soit $358\ 280 \pm 293\ 017$ FCFA.

Tableau 2: Caractéristiques des types d'élevages périurbains et urbains de Fada N'Gourma

Variables	Sign.	Types d'exploitations		
		Type 1 n=7	Type 2 n=21	Type 3 n=37
Nombre actifs	***	$14,6 \pm 4,50b$	$5,52 \pm 2,91a$	$5,76 \pm 4,31a$
Taille du troupeau	***	$57 \pm 41b$	$16 \pm 12a$	$20 \pm 17a$
Taux des Femelles reproductives (%)	ns	$55,8 \pm 12,6a$	$62,9 \pm 11,9a$	$65,8 \pm 15,3a$
Noyau laitier	ns	$9 \pm 6a$	$4 \pm 2a$	$4 \pm 1a$
Race prédominante	ns	Locale (97,0%)	Locale (98,6%)	Locale (97,3%)
Production de lait/vache/jour (Litre)	***	$3 \pm 0,98ab$	$1,95 \pm 1a$	$3,12 \pm 0,90b$
Production de lait/Exploitation/jour (Litre)	***	$28,6 \pm 19,3b$	$7,83 \pm 5,33a$	$14,0 \pm 5,75b$
Autoconsommation (%)	***	$27,5 \pm 14,1b$	$28,7 \pm 12,7b$	$35,8 \pm 12,2a$
Quantité de SPAI acheté (tonnes)	***	$6,45 \pm 1,75b$	$8,40 \pm 8,36b$	$2,35 \pm 1,76a$
Part pâturage (%)	***	$38,3 \pm 7,0b$	$47,2 \pm 15,9b$	$65,0 \pm 16,3a$
Coût total d'achat d'aliments (fourrage+SPAI)(FCFA)	***	$1\ 026\ 386 \pm 366\ 831b$	$1\ 428\ 014 \pm 1\ 417\ 673b$	$358\ 280 \pm 293\ 017a$

Note: sign. = Signification; *** = très hautement significatif; ns = non significatif; n = nombre de ferme du groupe.

DISCUSSION

Caractéristiques générales des ménages enquêtés

Les élevages enquêtés sont majoritairement détenus par des hommes avec une proportion non-négligeable de femmes. L'implication des femmes dans l'activité pourrait s'expliquer par le caractère familial de l'exploitation où les femmes s'occupent de la traite et de la commercialisation du lait. Aussi, l'insécurité dans la zone d'étude aurait également entraîné le déplacement de certains chefs de ménages en laissant la gestion du troupeau aux femmes. Les enquêtés sont en majorité de l'ethnie Peulh, faiblement alphabétisés et ayant pour activité principale l'élevage. La forte implication de l'ethnie Peulh dans l'élevage bovin laitier périurbain et urbain est déjà décrite par Hamadou *et al.*, 2008; Chaïbou *et al.*, 2011; Abdoukarim *et al.*, 2013; Maman Lawal *et al.*, 2018 respectivement dans les élevages périurbains de Bobo-Dioulasso, les élevages urbains et périurbains de Niamey, la zone soudanienne au Bénin et les exploitations urbaines et périurbaines de Niamey. Le faible niveau d'instruction des acteurs pourrait constituer un facteur limitant au renforcement de leurs capacités et à leur maîtrise des nouvelles technologies. Cela pourrait justifier le faible taux des acteurs déjà formés dans le domaine de la production laitière. Les acteurs de l'élevage laitier de la zone d'étude sont en majorité des vieux qui cumulent plus de 20 ans de pratiques. Cet état de fait donnerait un caractère vieillissant à l'activité qui aurait tendance à rester traditionnelle, ce qui impacterait négativement son développement.

Gestion des troupeaux laitiers

L'étude montre que le système d'élevage des troupeaux laitiers de la zone d'étude est de type extensif avec une tendance vers l'intensification. Il ressort également, une relative faible pratique de la transhumance. Nos résultats sont en accord avec ceux de Mambila (1999) qui note que les élevages laitiers périurbains et urbains sont caractérisés par leur stabilité. La forte alimentation au pâturage naturel ne favoriserait pas le développement des cultures fourragères. La méconnaissance, le manque de formation et le caractère traditionnel de l'élevage pourraient également limiter la pratique de la culture fourragère. Le type de système d'élevage de la zone d'étude fait que les sites de pâturage les plus utilisés sont les milieux naturels (jachères, plaines, collines) en toutes saisons ainsi que les aires protégées et les champs, même en période d'activités agricoles.

Démographie des troupeaux laitiers de Fada

Il ressort de nos résultats que l'effectif le plus élevé est observé sur le site de Koaré et la taille moyenne de l'ensemble des sites enquêtés est de 23 têtes. Notre résultat montre que cette taille est dans la fourchette donnée par Otte et Chilonda (2002) qui estiment qu'en Afrique Sub-saharienne, la taille moyenne des troupeaux, varie entre 15 à 157 têtes. Cependant, il est inférieur à la taille de 66 têtes obtenue par Chabi Toko *et al.* (2016) dans les élevages peulhs au Nord du Bénin. Ils ont estimé que ces effectifs élevés sont une stratégie d'adaptation aux conditions agroécologiques. En effet, la taille du troupeau selon Zampaligre *et al.* (2019), représente la capacité de production de veaux, de lait, de viande ou encore de force de travail du troupeau ayant une valeur monétaire pour l'éleveur. Elle représente le capital économique de l'éleveur et joue

un rôle socio-culturel dans les communautés pastorales et agropastorales et de ce fait, constitue une force d'adaptation pour l'éleveur. La taille des troupeaux bovins des élevages pastoraux et agropastoraux est soumise à des fluctuations et à des variations interannuelles dues au système d'élevage, aux conditions climatiques et environnementales. Ainsi, Adanléhoussi *et al.* (2005) et Zampaligre *et al.* (2019) ont obtenu dans les élevages périurbains de Bobo-Dioulasso des tailles moyennes respectives de 70 têtes et 46 têtes. Nos résultats sont bien inférieurs aux leurs. Cela pourrait se justifier par la crise sécuritaire dégradante dans la zone d'étude ces dernières années. Cette crise sécuritaire aurait occasionné un déstockage, des pertes voire des transferts de cheptel des producteurs vers d'autres zones comme le Togo et le Bénin. Selon Zampaligre *et al.* (2019) les troupeaux disposant d'une forte proportion de femelles en âge de reproduction sont caractéristiques de troupeaux naisseurs orientés dans la production laitière. Avec un taux de 79 % de femelles dont 63 % en âge de reproduction, les troupeaux seraient bien orientés dans la production laitière. La grande proportion de vaches reproductrices et des génisses déterminerait également la rentabilité de l'élevage. Plus il y a de vaches reproductrices, plus il y a du lait et des veaux dont la commercialisation fait des rentrées économiques à l'exploitation. Nos résultats sont dans le même ordre de grandeur que ceux obtenus par Jorat (2011), Akpa, *et al.* (2011) et Chabi Toko *et al.* (2016) respectivement au Sénégal, au Nigeria, au Nord du Bénin. Nos résultats sont légèrement supérieurs aux taux de 70% de femelles dans les élevages périurbains de Bobo-Dioulasso obtenus par Zampaligre *et al.* (2019). La race Zébu Peulh reste la race dominante dans les noyaux laitiers des élevages de la zone d'étude. Elle serait bien adaptée aux conditions environnementales et constituerait la race de prédilection des éleveurs Peulh qui représentent l'ethnie majoritaire des enquêtés. D'autres races locales telles que le zébu Goudali, le zébu Azawak et leurs produits de croisement sont également rencontrés. Les métisses de races exotiques, présentent dans certains troupeaux, témoigneraient de la volonté des éleveurs laitiers d'améliorer les performances laitières des animaux. En effet le croisement entre les races laitières exotiques et les races locales peu productives donnerait des descendants dont la production du lait est supérieure à celle de la race locale. L'introduction des races exotiques aurait été favorisée par les différents projets et programmes d'amélioration génétique à travers l'importation des races exotiques et de croisement grâce à l'insémination artificielle. Les premières races exotiques introduites dans la zone d'étude dateraient du projet de développement des ressources animales du Gourma (PDRAG). De plus, la présence des laiteries pourrait être un facteur influençant l'utilisation des races exotiques. Ces unités de transformation constitueraient bien un marché considérable avec des capacités de transformation estimée 3 000 litres/jour et 800 litres/jour respectivement pour la Laiterie Fada N'Gourma et la Laiterie Nungu Kosam (Corniaux, 2014a, 2014b).

Performances de production laitière et prix de vente du lait

L'étude révèle une production journalière par vache plus importante en raison de la présence des métisses de races exotiques. Selon Kassa *et al.* (2016), les performances de production laitière diffèrent selon la race. La race est un facteur génétique primordial et déterminant dans l'expression

du potentiel de production des vaches ajouté à l'alimentation (complémentation en SPAI). La baisse de la production laitière en début de saison de pluies s'expliquerait par la rareté du pâturage et l'épuisement des stocks fourragers dans la zone urbaine en cette période de l'année. La forte disponibilité du pâturage vert et l'eau en abondance en pleine saison des pluies expliquerait le pic de la production de lait par vache par jour. La période d'entrée hivernale, coïnciderait avec les mises-bas de plusieurs de vaches dans les exploitations et l'épuisement des stocks fourragers. Cette situation pourrait être à l'origine de l'augmentation de la production laitière de l'exploitation mais impacterait négativement sur la production individuelle par jour vu que les vaches seraient en début de lactation et sous alimentées. Selon Sib *et al.* (2017), dans les élevages les naissances sont concentrées en début de saison des pluies, ce qui conduit naturellement à une forte production de lait durant la saison des pluies, suivie d'un déclin durant la saison sèche, allant vers le tarissement en fin de saison sèche chaude. Aussi, les lactations qui s'étalent en grande partie sur les périodes d'abondance fourragère présentent les meilleures productions (Kassa *et al.*, 2016). Nos résultats sont supérieurs à ceux de Sarambé (2016) qui a obtenu 0,88 Litre/vache/jour en saison pluvieuse et au 0,71 Litre/vache/jour en saison sèche dans les élevages périurbains de Ouagadougou. La forte dominance de champs exploités sur le site de Kikidéni contraindrait les éleveurs à réduire la taille du noyau laitier, ce pourrait justifier la baisse de la production de l'exploitation en pleine saison pluvieuse.

Pour ce qui est du prix du litre de lait, la présence des laiteries pourrait expliquer sa très faible variation entre les saisons. En effet, ces unités de transformation qui seraient les principaux acheteurs du lait des producteurs enquêtés, payeraient le litre de lait au prix fixe de 275 FCFA au niveau des centres de collecte de lait (CCL) et de 300 FCFA à l'usine en toutes saisons. Cependant, il n'y a ni quotas ni contrats formels avec les producteurs. Cette situation favoriserait la vente du lait par certains producteurs sur des marchés parallèles à 300 francs CFA/litre en hivernage et 350 francs CFA/litre en saison sèche. Ce constat est fait sur les sites de Fada et de Kikidéni et justifierait la variation du prix du litre entre les saisons. Selon Corniaux (2014a), le prix d'achat du litre proposé par les laiteries est peu motivant et n'encourage pas l'intensification dans une zone enclavée où l'aliment bétail est cher. Ces prix de ventes sont inférieurs au prix de 375 FCFA en saison sèche obtenu par Sib *et al.* (2017) dans la zone périurbaine de Bobo-Dioulasso.

Typologie des élevages périurbains et urbains de la ville de Fada

Nous avons distingué en fonction de la structure des troupeaux, des performances de production laitière et du mode de gestion, trois types d'élevage dans la zone périurbaine et urbaine de Fada N'Gourma. Les différences de niveau de production seraient sous l'influence de facteurs génétiques et environnementaux. En effet, la présence de métisses de races exotiques bien que minoritaires permettrait d'améliorer le niveau de production. Aussi, la taille du troupeau et la proportion de femelles seraient une stratégie des producteurs pour augmenter la production laitière de leurs exploitations, au regard de la faiblesse des productions individuelles des

vaches. De plus, les troupeaux de grande taille ayant plus de femelles et qui disposeraient d'un noyau laitier conséquent seraient plus performants. Néanmoins, la production moyenne par vache est dans le même ordre de grandeur que celle obtenu par Sib *et al.* (2017) pour les élevages de mêmes types. La forte contribution du pâturage à l'alimentation et sa qualité constitueraient également des facteurs influençant le niveau de production. Cependant, les élevages de type T3, bien qu'ayant une orientation pastorale avec très peu d'investissement dans l'achat des SPAI, disposeraient d'une production journalière par vache assez comparable aux type T1 et T2 qui achèteraient d'importantes quantités de SPAI. Ces résultats sont en accord avec ceux de Hamadou *et al.* (2008) pour qui, la production laitière émane essentiellement des élevages à faible utilisation d'intrants. La très forte acquisition de SPAI du type T2, malgré la taille réduite de leur troupeau indiquerait la possible pratique de l'embouche bovine. L'existence du marché à bétail de Fada, l'un des grands marchés à bétail de la sous-région, pourrait influencer ces types d'initiatives et seraient plus rencontrées dans la zone urbaine de Fada N'Gourma. Les mêmes caractéristiques de diversification de la production ont été décrites par Hamadou *et al.* (2008) dans les élevages périurbains de Bobo-Dioulasso. La faible disponibilité des ressources pastorales (superficies de pâturage naturel) dans les zones urbaines obligent les éleveurs des villes à réduire la taille de leurs cheptels (Yapi-Gnaoré *et al.*, 2009; Dasso *et al.*, 2017). La conséquence immédiate est le faible niveau de production laitière journalière des exploitations. Les différents types d'élevage décrits dans cette étude seraient caractéristiques d'élevage traditionnel ayant une vision d'intensification de la production. L'alimentation est importante pour la réussite de tout élevage laitier. Elle est un facteur clé de l'intensification de la production laitière dans les élevages (Sib *et al.*, 2017). Cette intensification est plus observable pour le type T1 et T2 qui ont plus recouru à l'achat de SPAI et le stockage des résidus de cultures réduisant ainsi la contribution du pâturage naturel à l'alimentation comparativement au type T3. L'objectif de commercialisation du lait des élevages périurbains et urbains de Fada N'Gourma est plus perceptible avec une faible autoconsommation. Nos résultats sont comparables à ceux obtenus par Sib *et al.* (2017) pour des élevages de mêmes types.

CONCLUSION

La présente étude a porté sur la typologie et le diagnostic des pratiques dans les élevages laitiers périurbains et urbains de Fada N'Gourma. Il ressort que le système d'élevage laitier est de type traditionnel périurbain et urbain et essentiellement pratiqué par les Peulhs et plus de la moitié des enquêtés sont installés dans la ville de Fada N'Gourma. L'alimentation des troupeaux reste très dépendante du pâturage naturel (la culture fourragère étant faiblement pratiquée) avec une faible pratique de la transhumance. La race Zébu Peulh reste la race dominante dans les noyaux laitiers avec une présence minoritaire des races métisses introduites. La production laitière journalière par vache estimée à 3,12 l est plus élevée en saison pluvieuse. Le niveau de production reste toujours faible, aussi bien par vache que par exploitation, pour satisfaire les capacités de transformation des laiteries afin de contribuer à la réduction considérable de la balance des importations du lait et des produits laitiers au Burkina Faso.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdoukarim I.Y., Dahouda M., Attakpa E.Y., Koutinhoun G.B., Ahounou G.S., Toleba S.S., Balogoun B.S. (2013). Diversité des systèmes d'élevages de bovins de race bovine Borgou dans la zone soudanaise du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7: 125-146.
- Adanléhoussi A., Hamadou S., Hamani M., Kamuanga M., Salissou I., Sangaré M., Tamboura H.H. (2005). Caractérisation des systèmes de production laitière en zone CIRDES. Rapport final PROCORDEL, CIRDES-ILRI, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 86-94.
- Akpa G.N., Alphonsus C., Abdulkareem A. (2011). Évaluation of herd structure of white Fulani cattle holdings in Zaria, Nigeria. *Africa Journal of Animal and Biomedical Sciences*, 7: 128-131.
- Bahan D. (2009). Monographie de la Région de l'Est. Burkina Faso.
- Blagna S., Tellah M., Mbaindingatouloum F.M., Logtene Y.M., Boly H. (2017). Insémination artificielle bovine par synchronisation des chaleurs au CRESTARND en milieu éleveur dans les cascades au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 110: 10819-10830.
- Broutin C., Levard L., Goudiaby M.-C. (2018). Quelles politiques commerciales pour la promotion de la filière 'lait local' en Afrique de l'Ouest ? Rapport de synthèse. Paris.
- CEDEAO (2009). Sous-programme gestion améliorée des autres ressources naturelles partagées. Formulation et mise en œuvre d'un Programme Régional d'Investissement Agricole (PRIA), Composante: Aménagements pastoraux et organisation de la transhumance transfrontalière, CSAO-OCDE / CEDEAO.
- Chabi Toko R., Adégbidi A., Lebailly P. (2016). Démographie et performances zootechniques des élevages bovins traditionnels au Nord Bénin. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 69: 33-39.
- Chaibou M., Illia A.S., Marichatou H. (2011). Pratiques de gestion et performances de production dans les élevages bovins laitiers urbains et péri-urbains de Niamey. *Revue des BioRessources*, 1: 1-12.
- Chatellier V. (2019). La planète laitière et la place de l'Afrique de l'Ouest dans la consommation, la production et les échanges de produits laitiers, Inra. Dakar.
- Collectif AlimentTerre (2006). Tension sur la filière laitière en Afrique, quand le commerce international freine le développement', in 9 fiches pour comprendre les enjeux de la filière lait en Afrique, pp. 5-8.
- Corniaux C., Duteurtre G., Dieye P.N., Pocard Chapuis R. (2005). Les minilaiteries comme modèle d'organisation des filières laitières en Afrique de l'Ouest: succès et limites. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 58: 237-243.
- Corniaux, C. (2013a). Étude relative à la formulation d'un programme d'actions détaillé de développement de la filière lait au sein de l'UEMOA Annexe 5: Rapport Mali.
- Corniaux C. (2013b). Étude relative à la formulation d'un programme d'actions détaillé de développement de la filière lait au sein de l'UEMOA Annexe 2: Rapport Burkina Faso.
- Corniaux C. (2014a). Laiterie De Fada N'gourma (Burkina Faso). in Corniaux C., Guillaume D., Cécile B. (eds) Filières laitières et développement de l'élevage en Afrique de l'Ouest. L'essor des minilaiteries. Karthala. Paris: Hommes et sociétés, pp. 195-197.
- Corniaux C. (2014b). Laiterie Nungu Kossam de Fada N'Gourma (Burkina Faso). in Christian C., Guillaume D., Cécile B. (eds) Filières laitières et développement de l'élevage en Afrique de l'Ouest. L'essor des minilaiteries. Karthala. Paris: Hommes et sociétés, pp. 113-115.
- Coulibaly D., Moulin C. H., Chapuis R. P., Morin G., Sidibé S. I., Corniaux C. (2007). Évolution des stratégies d'alimentation des élevages bovins dans le bassin d'approvisionnement en lait de la ville de Sikasso au Mali. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 60:103-111.
- Da, S.J.B. (2011). Analyse des indicateurs paysans d'appréciation des systèmes d'agriculture de conservation, Thèse Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.
- Dassou S.S., Wade I., Agbangba C.E. (2017). Typologie et rentabilité des systèmes de production laitière à Linguère au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11: 2163-2176.
- Duteurtre G. (2007). Commerce et développement de l'élevage laitier en Afrique de l'Ouest: une synthèse. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 60:209.
- Duteurtre G., Corniaux C. (2013). Étude relative à la formulation de programme d'action détaillé de développement de la filière lait en zone UEMOA, Rapport d'activité, Cirad.
- Duteurtre G., Vidal A. (2018). La filière laitière à Bobo-Dioulasso. Montpellier.
- FAO (2012). La transhumance transfrontalière en Afrique de l'Ouest Proposition de plan d'action.
- Gnanda B. I., Bado D., Reusse S., Pare L. (2016). Caractéristiques et typologie des exploitations laitières bovines de la zone périurbaine de Ouagadougou, au Burkina Faso. *Renc. Rech. Ruminants*, 23: 165-168.
- GRET and APSS (2016). Pour un soutien accru à l'élevage agropastoral au Burkina Faso', p. 4.
- Guissou B. (2008). Décentralisation et gestion des déchets à Fada N'Gourma: l'usage des associations comme interface entre projet et usagers. Programme, Lobo citouennetés. Programme. Édité by L. Citouennetés. Ouagadougou.
- Hamadou S., Kamuanga M., Abdoulaye A.T., Lowenberg-Deboer J. (2005). Facteurs affectant l'adoption des cultures fourragères dans les élevages laitiers périurbains de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Tropicicultura*, 23:29-35.
- Hamadou S., Sanon Y. (2005). Synthèse bibliographique sur les filières laitières au Burkina Faso.
- Hamadou S., Tou Z., Toé P. (2008). Le lait, produit de diversification en zone périurbaine à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Cahiers Agricultures*, 17: 473-478.
- INSD (2022). Fichier des localités du 5 e RGPH. Burkina Faso.
- Ira M. (2015). Optimisation de la production laitière et réduction de l'intervalle vêlage-vêlage chez la vache dans la périurbaine de Bobo-Dioulasso. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.
- Jorat T. (2011). Simulations de dynamiques de cheptels bovins après une sécheresse au sahel en fonction des types d'exploitation pastorales: cas du Ferlo au Sénégal. Université de Montpellier II.
- Kagoné H. (2001). Profil fourrager Burkina Faso.
- Kassa, K.S., Ahounou S., Dayo G.K., Salifou C., Issifou M. T., Dotche, I., Youssao, I. A. K. (2016). Performances de production laitière des races bovines de l'Afrique de l'Ouest. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10: 2316-2330.
- Kouamo J., Sow A., Leye A., Sawadogo G.J., Ouedraogo G.A. (2009). Amélioration des performances de production et de reproduction des bovins par l'utilisation de l'insémination artificielle en Afrique Subsaharienne et au Sénégal en particulier: état des lieux et perspectives. *Revue africaine de santé et de productions animales*, 7: 139-148.
- Lawal A.M., Chaibou M., Mani M., Garba M.M., Gouro A.S. (2018). Pratiques d'éleveurs et résultats économiques d'élevage dans les exploitations urbaines et périurbaines de Niamey. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12: 294-309.
- Mambila G. (1999). Élevage périurbain de Bobo-Dioulasso: systèmes d'élevage, identification des bassins laitiers, pratiques de production laitière, gestion de la reproduction. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.
- MRA (2015). Tableau de bord statistique 2012 de l'élevage.
- MRAH (2020). Rapport annuel d'activités 2019 du MRAH. Burkina Faso.
- Otte M.J., Chilonda P. (2002). Cattle and small ruminant production systems in sub-saharan Africa, A systematic review.

Oudet M. (2005). La révolution blanche est-elle possible au Burkina Faso et plus largement en Afrique de l'Ouest ? Edited by MISEREOR. Aachen, Allemagne: MISEREOR.

Sarambé C. (2016). Analyse du système d'alimentation des vaches laitières dans les fermes périurbaines de la ville de Ouagadougou. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.

Sib O., Bougouma-Yameogo V.M., Blanchard M., Gonzalez-Garcia E., Vall E. (2017). Production laitière à l'ouest du Burkina Faso dans un contexte d'émergence de laiteries: diversité des pratiques d'élevage et propositions d'amélioration. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 70: 81-91.

UNOWAS (2018). Pastoralisme et Sécurité en Afrique de l'Ouest et au Sahel. Vers une coexistence pacifique, United Nations Office for West Africa and Sahel. Available at: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/rapport_pastoralisme_fr-2.pdf.

Vias Franck G. (2018). État des filières laitières dans les 15 pays de la CEDEAO, de la Mauritanie et du Tchad Annexe 2: Fiche Burkina Faso.

Yapi-Gnaoré C.V., N'Goran K.E., Fantodji A., Ahoussou N. (2009). Influence des facteurs de production sur l'élevage laitier périurbain des régions de savane et de forêt de Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.*, 19: 1065-1073.

Zampaligre N., Savadogo I., Sangare M. (2019). Analyses des paramètres démographiques et zootechniques du cheptel bovin des élevages péri-urbains laitiers de la ville de Bobo-Dioulasso à l'Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13: 441-451.

Exposition de la faune ichthyenne et autres animaux aquatiques aux polluants organiques, chimiques et biologiques dans le lac Nokoué au Sud du Bénin: Synthèse documentaire

Prudencio AGBOHESSI¹, Léa GUEDEGBA¹, Rodrigue PELEBE¹, Ibrahim IMOROU TOKO¹

(Reçu le 26/06/2023; Accepté le 05/07/2023)

Résumé

Le lac Nokoué (Sud Bénin) est la pêche continentale la plus productive de l'Afrique de l'Ouest avec une très forte biodiversité, mais qui malheureusement il perd progressivement ses ressources à cause de sa pollution. Dans la présente étude, nous avons utilisé l'approche bibliographique pour évaluer le degré d'exposition de la faune de ce biotope. Ainsi, ce lac présente une forte pollution organique avec un état hyper-eutrophe. Les analyses de germes bactériologiques indiquent une forte pollution fécale susceptible d'influencer le système immunitaire des organismes exposés. Le lac reçoit les métaux toxiques (plomb, cadmium, mercure, etc), les pesticides (endosulfan, DDT, etc) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (naphtalènes, fluorènes, etc). Certains polluants chimiques comme les détergents industriels, les polychlorobiphényles, les dioxines et produits dérivés sont aussi suspectés dans cet écosystème, mais aucune étude n'a encore été initiée pour montrer leur présence. Tous ces polluants chimiques sont lipophiles et persistants, reprotoxiques, hépatotoxiques et inhibent la croissance de la faune aquatique. La plupart sont des perturbateurs endocriniens oestrogéniques qui exercent une menace sur la survie des espèces. La bioaccumulation des polluants dans les produits halieutiques du lac à des concentrations dépassant parfois les normes internationales admises, expose les consommateurs et pose un problème sérieux de santé publique.

Mots clés: Pollutions, lac Nokoué, faune aquatique, extinction des espèces

Exposure of fish fauna and other animals to organic, chemical and biological pollutants in Lake Nokoué in southern Benin: Literature review

Abstract

Lake Nokoué (South of Benin) is the most productive continental fisheries in West Africa with very strong biodiversity, but is gradually losing its resources because of pollution. In this study, we assessed the level of exposure of the fauna of this biotope. This lake has strong organic pollution with a hyper-eutrophic state. Analyses of bacteriological germs indicate a strong fecal pollution capable of influencing the immune system of exposed organisms. The lake receives toxic metals (lead, cadmium, mercury, etc.), pesticides (endosulfan, DDT, etc), polycyclic aromatic hydrocarbons (naphthenes, fluorens, etc). Certain chemical pollutants such as industrial detergents, polychlorobiphenyls, dioxins and derivative products are also suspected in this lake, but no study has yet been initiated to show their presence. All these chemical pollutants are lipophilic and persistent, reprotoxic, hepatotoxic and inhibit the growth of aquatic fauna. Most are estrogenic endocrine disruptors which exert a threat to species survival. The bioaccumulation of pollutants in fishery products of the lake at concentrations sometimes exceeding international standards, exposes consumers and poses a serious public health problem.

Keywords: Pollution, lake Nokoué, aquatic fauna, species extinction

INTRODUCTION

Au Bénin, les pêcheries continentales contribuent pour environ 75 à 80% à la production halieutique nationale et participent pour près de 31% à la consommation nationale de protéines animales (Rurangwa *et al.*, 2014). Le complexe lagunaire lac Nokoué - lagune de Porto-Novo, classé site RAMSAR (1018), est le plus important plan d'eau continental du point de vue de son étendue, de sa productivité et de son exploitation (Yehouénou *et al.*, 2013). La biodiversité de ce complexe est très élevée, avec une grande diversité de poissons, mollusques, crustacés, oiseaux et amphibiens (Villanueva *et al.*, 2006). Le lac Nokoué est le lac le plus productif de l'Afrique de l'Ouest avec une production annuelle en poisson de plus de 1 à 2 T/ha (Lalèye *et al.*, 2003) contre une moyenne annuelle de 290 kg/ha pour l'ensemble des lagunes ouest-africaines (Issola *et al.*, 2008). En l'an 2000, la production halieutique du complexe lagunaire lac Nokoué - lagune de Porto-Novo représentait 65 à 70% de la production des eaux continentales du Bénin et le lac Nokoué y contribue pour près de 90% (Yehouénou *et al.*, 2013). Malheureusement, ces ressources ont connu aujourd'hui une forte diminution à cause de la pollution avancée de ce cours

d'eau. Par exemple, dans leur inventaire destiné à identifier les espèces menacées de disparition, Lalèye *et al.* (1997) ont recensé 67 espèces alors que Gras (1961) en avait recensé 87. Une différence de 20 espèces en 36 ans qui montre clairement une érosion de la biodiversité pour laquelle l'une des causes majeures est la pollution. En effet, plusieurs auteurs (Clédjo, 1999; Youssao *et al.*, 2011; Yehouénou *et al.*, 2013; Saizonnou *et al.*, 2014) ont montré la pression que subit le lac Nokoué qui reçoit à lui seul les déchets solides et liquides des populations environnantes et des usagers du marché Dantokpa, les effluents urbains venant de la ville de Cotonou, de Calavi et de So-ava, les effluents agricoles contenant des pesticides drainés de la zone cotonnière du Nord Bénin par le fleuve Ouémé ou venant des zones agricoles environnant le cours d'eau, les effluents industriels et hospitaliers venant de la ville de Cotonou, des produits pétroliers (essence, pétrole, gasoil, huile à moteur) provenant du trafic sur ce cours d'eau, etc. Tous ces effluents libèrent divers types de polluants dans ce cours d'eau. Cet article vise à faire le bilan à travers une revue de littérature, des différents polluants que reçoivent le lac Nokoué et les conséquences éventuelles sur les poissons et autres organismes animaux de ce plan d'eau.

¹ Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

PRÉSENTATION DU LAC NOKOUE

Compris entre les parallèles 6° 20' et 6° 30' Nord, les méridiens 2° 20' et 2° 35' Est, le lac Nokoué (Figure 1) s'étend sur 20 km d'Est en Ouest et 11 km du Nord-Sud; il couvre ainsi une superficie d'environ 160 km² en période de hautes eaux (Clédjo, 1999). Ce lac forme avec la lagune de Porto-Novo, la plus importante superficie d'eaux saumâtres du Bénin (Lalèye, 1995). D'une profondeur comprise entre 0,4 et 3,4 m, le lac Nokoué est directement relié à l'Océan Atlantique par le chenal ou lagune de Cotonou sur une longueur de 4,5 km avec une largeur de 300 m environ. La lagune de Porto-Novo, beaucoup moins étendue (35 km²), communique à l'Ouest avec le lac Nokoué par l'intermédiaire du canal Totchè, long de 5 km et d'une largeur de 200 à 300 m environ, et à l'Est avec la lagune de Lagos (Nigéria) par un canal de près de 100 km de long et 20 à 50 m de large (Gnohossou, 2006).

Le complexe lac Nokoué - lagune de Cotonou bénéficie d'un climat subéquatorial caractéristique du sud-Bénin : deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. Le régime hydrographique est caractérisé par une période de crue, qui s'étend théoriquement de septembre à décembre et une période d'étiage, qui s'étend de décembre à juillet (Tossou, 2001). Les principaux cours d'eau qui alimentent ce complexe sont le fleuve Ouémé et la rivière Sô, qui fonctionnent comme un système de vases communicants (complexe Ouémé-Sô). Ces cours d'eau sont responsables de la montée des eaux. Pendant la crue, l'eau du complexe lac Nokoué-lagune de Porto-Novo est douce. La durée des crues varie suivant que le chenal de Cotonou est fermé ou ouvert et selon l'importance des pluies (Gnohossou, 2006). En période d'étiage on observe une intrusion massive de l'eau de mer surtout pendant les hautes marées, ce qui rend l'eau du complexe lac Nokoué - lagune de Porto-Novo saumâtre.

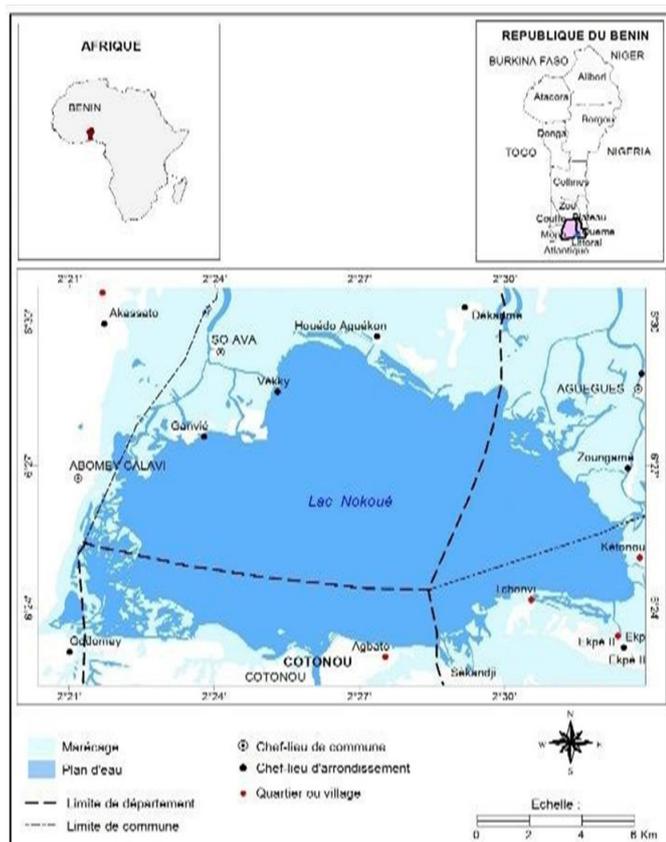


Figure 1: Situation géographique du lac Nokoué

Autour du lac Nokoué l'agriculture est très diversifiée et occupe plus de 80% de la population locale active. En dehors du maraîchage très consommateur d'engrais et de pesticides chimiques, pratiqué dans certains endroits le long du complexe lac Nokoué- lagune de Porto-Novo, les principales cultures pratiquées sont entre autres: le maïs, l'igname, le manioc, le haricot et surtout le niébé cultivé en période de décrue. L'élevage dominant est celui des porcs avec des volailles tant pour la vente que pour l'autoconsommation. Le secteur industriel est constitué des industries agro-alimentaires, de textiles, de papeteries et des matériaux de construction (Gnohossou, 2006). Le commerce est la deuxième activité autour du lac Nokoué. Ce commerce se fait majoritairement dans le marché Dantokpa le plus grand marché du Bénin et le marché principal de la commune d'Abomey-Calavi, situés tous à proximité du lac Nokoué (Gnohossou, 2006). La proximité du Nigéria avec le Bénin favorise également le trafic de produits pétroliers (essence, gasoil, huile à moteur, pétrole) sur ce cours d'eau (Dovonou, 2008).

La pêche est très pratiquée sur le lac Nokoué. Plusieurs engins et techniques de pêche sont utilisés: les "acadjas", les "whédos", les filets (éperviers, maillants ou dormants), les lignes à hameçons individuels ou multiples (palangres), les barrages et les nasses-pièges, etc (Lalèye *et al.*, 2003). L'abondance et la diversité de la faune ichtyologique du lac Nokoué varient selon les saisons mais aussi en relation avec l'entrée d'eau marine dans le lac. Selon Gnohossou (2006) nous avons:

- Les espèces littorales euryhalines marines qui sont saisonnières ou accidentelles dans les lagunes (*Elops lacerta*, *Cynoglossus senegalensis*, *Citharichthys stampflii*, *Eucinostomus melanopterus*, *Lutjanus goreensis*);
- Les espèces estuariennes d'origine marine (*Ethmalosa fimbriata*);
- Les espèces estuariennes d'origine continentale (*Chrysichthys nigrodigitatus*, *Chrysichthys auratus*, *Hemichromis fasciatus*);
- Les espèces d'eau douce qui n'apparaissent que lorsque la salinité tend vers 0 (*Clarias gariepinus*, *Synodontis schall*, *Schilbe intermedius*).

Lalèye *et al.* (2003) ont recensé sur le lac Nokoué 51 espèces appartenant à 47 genres, 34 familles et 10 ordres. Onze espèces sur les 51 représentent 89,5 % de l'abondance numérique totale. De l'étude de ces auteurs, il ressort que *Ethmalosa fimbriata* est l'espèce de poisson la plus abondante du lac Nokoué (40%) suivie de *Sarotherodon melanotheron* (15%). L'une des espèces de poisson les moins abondantes, est *Gobionellus occidentalis* (0,5%).

Le zoobenthos du lac Nokoué est constitué des mollusques tels que: *Corbula trigona*, *Anadala senilis*, *Crassostrea gasar*, *Tempanotonus* sp et *Pachymelania* sp. (Maslin et Bouvet, 1986); et des crustacés comme: *Goniopsis cruentata*, *Cardiosoma amatum* et *Cliberhardius africanus* (Adandédjan *et al.*, 2017).

La lagune Nokoué apparaît donc comme une lagune semi-fermée mais dont les ressources vivantes sont très soumises à la pollution organique, la pollution chimique et la pollution bactériologique, dues principalement aux activités humaines littorales.

INVENTAIRE ET CARACTÉRISATION DES DIFFÉRENTS POLLUANTS DU LAC NOKOUE

Plusieurs études (Youssao *et al.*, 2011; Yehouénou *et al.*, 2013; Saizonou *et al.*, 2014; Adjagodo *et al.*, 2016) ont inventorié les sources de pollution du lac Nokoué. Il s'agit des:

- Déversements de produits pétroliers dans le lac;
- Déversements quotidiens de branchages d'acadja;
- Décharges d'ordures ménagères et biomédicales en bordure du plan d'eau;
- Rejets des collecteurs d'évacuation d'eaux pluviales et usées domestiques en provenance de la ville de Cotonou et Calavi sans aucun traitement préalable;
- Apports du fleuve Ouémé transportant des résidus de pesticides agricoles;
- Rejets de matières fécales d'origines humaines et animales; et
- Rejets de déchets ménagers (ordures) dans le lac par les populations lacustres.

Déversements des produits pétroliers

La proximité du Nigéria avec le Bénin favorise le trafic frauduleux de produits pétroliers (essence, gasoil, huile à moteur, pétrole) qui est l'une des activités caractéristiques menées sur le lac Nokoué et certains commerçants n'hésitent pas à renverser et à cacher des bidons remplis de ces produits dans le cours d'eau à la vue des forces de l'ordre pour échapper au contrôle (Hoteyi, 2014). Lors des transports, des déversements volontaires se font pour équilibrer les barques surchargées afin d'éviter les naufrages ou bien pour diminuer la charge dans le but d'échapper aux poursuites douanières. Quant aux déversements accidentels, ils sont dus aux éclatements de bidons usagés et au chavirement des barques surtout lors des orages ou des forces de courants non maîtrisables par les conducteurs (Dovonou, 2008). Le lac Nokoué sert également de lieu d'entreposage et de conservation des bidons remplis de produits pétroliers pendant des jours et des mois. Cette situation entraîne le déversement massif de ces produits dans l'eau (Dovonou *et al.*, 2011). Aussi, l'utilisation des barques motorisées sur le lac Nokoué et l'important trafic routier sur les trois ponts érigés sur le chenal de Cotonou sont également des sources non moins importantes de déversement de produits pétroliers dans le lac Nokoué (Hoteyi, 2014). Plusieurs études (Dovonou, 2008; Dovonou *et al.*, 2019) ont également montré que des huiles de vidange des moteurs de barques motorisées sont régulièrement versées dans le cours d'eau. Ces produits pétroliers contiennent diverses sortes de polluants. On peut citer entre autres les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) pétrogéniques dont les plus redoutables sont le benzo(a)pyrène, le benzo(k)fluoranthène et le benzo(ghi)pérylène (Dovonou *et al.*, 2019), le plomb organique, le mercure, le soufre, les radionucléides, etc (Bawa *et al.*, 2005).

Déversements de branchages d'«acadja»

Les «acadjas» sont des pêcheries en branchages, une sorte de vaste récif artificiel, formé d'amas de branchages implanté en lagune dans des zones peu profondes. C'est des concentrations de branchages fixés dans la vase par

une extrémité, ou simplement posés dans le fond, dans les eaux dont la profondeur à l'étiage varie de 80 à 140 cm (Buffe, 1958). Les poissons s'y rassemblent et y sont facilement capturés, après que l'acadja ait été entouré par un filet ou par des barrières en claies. Les «acadjas» couvrent une superficie de plus de 9 000 ha sur les 15 000 ha du lac Nokoué avec des productions en poissons variant de 4 à 20 T/ha/an (Dovonou, 2008). Cependant, l'exploitation excessive des espaces lagunaires par l'acadja entraîne des effets néfastes sur l'environnement dont le défrichement des forêts, l'érosion des berges et surtout la pollution organique de la lagune et les risques écotoxicologiques sont liés aux réactions chimiques produites lors de leur décomposition (Dovonou, 2008). Cette décomposition engendre entre autres des taux d'oxygène dissout faibles avec une production primaire très faible, un potentiel redox négatif, une élévation de l'ammonium et des sulfates, la présence continue des nitrates et des nitrites (Bankolé et Olou, 2000).

Décharges d'ordures ménagères et biomédicales

Le lac Nokoué reçoit directement les ordures ménagères provenant des populations lacustres vivant dans des habitations sur pilotis sur le cours d'eau (Sô-Tchanhoué, Sô-Zounko, Ganvié, Sô-Ava, etc) ou en bordure (Djidjè, Ahouansori, Gbèdjromédé, etc) et des ordures provenant du marché de l'arrondissement central d'Abomey-Calavi et surtout du marché Dantokpa, le plus grand marché du Bénin (Satchi *et al.*, 2016). Il s'agit des déchets solides et liquides constitués entre autres de piles usagées, des déchets de cuisine, des déjections animales et humaines, de l'eau de javel, des lotions, du shampoing, des solvants de toutes natures, des huiles de vidange, etc (Adjagodo *et al.*, 2016). Ce cours d'eau reçoit également des déchets biomédicaux des hôpitaux et cliniques basés dans les villages lacustres et surtout des hôpitaux situés à Cotonou mais qui bordent le cours d'eau comme l'hôpital de la mère et de l'enfant (Bankolé et Olou, 2000). Il s'agit des déchets solides et liquides hospitaliers constitués des produits toxiques liés à la radiologie, aux laboratoires d'analyses, des déchets liés aux dentistes, les médicaments inutilisés, les thermomètres cassés, etc (Adjagodo *et al.*, 2016). Ces différents types de déchets engendrent une pollution organique, chimique et bactériologique du lac. La pollution chimique est la libération, entre autres, des éléments toxiques chimiques tels que les métaux toxiques comme le mercure issu des thermomètres cassés, le plomb et le cuivre issus des piles usagées, le cadmium, le zinc, etc, et d'autres polluants chimiques comme les dioxines et les alkylphenols polyéthoxylates contenus dans les déchets biomédicaux ou dans les lotions et shampoing. La pollution bactériologique, c'est le développement des germes bactériologiques comme les coliformes, les streptocoques, etc, issus de la décomposition des déjections animales et humaines, des restes d'aliments, etc (Dovonou *et al.*, 2011).

Rejets des collecteurs d'évacuation d'eaux pluviales et usées domestiques

Le lac Nokoué reçoit par l'intermédiaire du chenal de Cotonou une importante quantité d'eaux usées domestiques et d'eaux de ruissellement de nombreux quartiers de Cotonou et d'Abomey-Calavi. Ces eaux s'y déversent sans aucun traitement par le biais de nombreux ouvrages d'évacuation d'eaux usées (Saizonou *et al.*, 2014). Aussi, le

secteur industriel dans la commune de Sô-Ava et autour du lac Nokoué est constitué des industries agro-alimentaires, de textiles, de papeteries et des matériaux de construction. Plus de 80% des unités industrielles du Bénin sont installées dans la zone côtière notamment la Société Béninoise de Brasserie (SOBEBRA), la Société Nationale pour l'Industrie des Corps Gras (SONICOG), la Société Béninoise de Textile (SOBETEX), la Société Béninoise de Peinture et Colorants (SOBEPEC), la Société des Ciments du Bénin (SCB) etc, et participent à la pollution des eaux le long de la côte (Houknpè *et al.*, 2017, Agbandou *et al.*, 2018). Comme polluants déversés encore dans cet écosystème aquatique, on peut citer les effluents provenant des ateliers de coiffure, des garages automobiles, des ateliers de teinturerie, de blanchisserie, l'eau provenant des routes goudronnées après la pluie, etc. Ce lac reçoit quelques fois des boues de vidanges des fosses septiques des maisons de Cotonou, de Calavi et de Sô-ava. On note ici également des colorants, des lotions, des solvants, des shampoings et détergents notamment les alkylphénols polyéthoxylates comme l'octylphénol et le nonylphénol, les matières plastiques et les micropolluants industriels comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (naphtalène, acenaphtène, fluoranthène, etc), les polychlorobiphényles (PCB), les dioxines et produits dérivés (Tossou, 2001; Dovonou *et al.*, 2019). On retient aussi les pesticides contenus dans les effluents de maraîchage notamment les organochlorés, les organophosphorés, etc, mais surtout les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le

mercure, l'arsenic, le zinc, le cuivre, etc, (Youssao *et al.*, 2011). Plusieurs de ces divers polluants sont également des sources de sels nutritifs notamment azotés, phosphatés et d'oligo-éléments (Saizonou *et al.*, 2014).

Rejets des résidus de pesticides par le fleuve Ouémé

Le fleuve Ouémé est le plus long fleuve du Bénin (510 km²). Prenant sa source au nord dans les massifs de l'Atacora, ce fleuve traverse tout le pays et se jette dans l'Océan Atlantique en passant par le lac Nokoué et le chenal de Cotonou (Yéhouéno, 2005). Dans son parcours, des études (Okoumassoun *et al.*, 2002; Yéhouéno, 2005; Agbohessi *et al.*, 2012; Yéhouéno *et al.*, 2013) ont rapporté que ce fleuve draine pendant la crue des résidus de pesticides-coton des bassins cotonniers du nord et du centre Bénin vers ces cours d'eau du sud dont le lac Nokoué.

TENEURS EN DIFFÉRENTS POLLUANTS DU LAC NOKOUE ET CONSÉQUENCES POUR LES RESSOURCES ANIMALES

Pollution organique

Le tableau 1 indique quelques caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac Nokoué obtenues dans la littérature, quelle que soit la saison. Ce tableau montre que l'eau du lac Nokoué est légèrement acide à neutre. Les valeurs de pH sont semblables à celles obtenues par Issola *et al.* (2008) dans les eaux de la lagune Fresco en

Tableau 1: Propriétés physico-chimiques des eaux du lac Nokoué

Paramètres	Valeurs	Références
Oxygène dissous (mg/l)	2,76 – 3,62	Dovonou <i>et al.</i> (2011)
	4,28 – 4,85	Vodougnon (2015)
	3,94 – 5,69	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	3,93 6,31	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	4,2 – 4,6	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
pH	6,6 – 7,5	Mama <i>et al.</i> (2011)
	6,78 – 7,57	Vodougnon (2015)
	5,75 – 7,78	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	6,73 – 7,67	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	5,8 – 6,0	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
Ions ammonium (mg/l)	>8,0	Dovonou <i>et al.</i> (2011)
	0,01 – 1,89	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	5,2 – 30,0	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
Ions nitrates (mg/l)	0,56 – 17,7	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	105 - 200	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
Ions nitrites (mg/l)	0,7	Dovonou <i>et al.</i> (2011)
	0 – 2,64	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	0,2 – 0,9	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
DCO (mg/l)	257	Dovonou <i>et al.</i> (2011)
	182 - 450	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
	407	Vodougnon (2015); Agbandou <i>et al.</i> (2018)
DBO ₅ (mg/l O ₂)	10 - 29	Dovonou <i>et al.</i> (2011)
	14 - 35	Mama <i>et al.</i> (2011)
	7,96 – 31,2	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	28,1 – 33,2	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
	55	Vodougnon (2015)
Ions phosphates (mg/l)	0,01 – 1,89	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	0,6 – 0,8	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
IPO	2 – 3,75	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	1,33	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)

Côte d'Ivoire (7,42 – 7,60) mais légèrement différents des pH des eaux du lac Zarivar en Iran (7,28 – 8,35) neutre à basique (Moslem *et al.*, 2019). Le pH intervient dans les équilibres acido-basiques et la libération de certains composés toxiques chélatés (Dovonou, 2008). Les teneurs en oxygène dissous des eaux du Nokoué sont relativement faibles et identiques à 4,66 – 5,50 mg/l (Issola *et al.*, 2008) relevées dans la lagune Fresco (Côte d'Ivoire) et 0,81 – 2,43 mg/l (Buhungu *et al.*, 2018) observées dans la rivière Kinyankonge (Burundi).

Les teneurs en ions ammonium du lac Nokoué sont similaires à celles relevées par Moslem *et al.* (2019) dans les eaux du lac Zarivar en Iran (0,11 – 11,3 mg/l) et obtenues par Buhungu *et al.* (2018) dans la rivière Kinyankonge au Burundi (0,67 – 1,86 mg/l). Des teneurs très élevées en ammonium (5,2 – 30,0 mg/l) ont été observées par Agbohessi *et al.* (2023) lors des montées des eaux sur le lac Nokoué. L'ammonium résulte de la première étape de la dégradation de la matière organique azotée par les bactéries ammonifiantes. En dehors de la pollution organique (matières végétales, matières organiques animales ou humaines), l'ammoniac peut provenir des rejets industriels, des engrais, des eaux souterraines, des eaux de pluies, etc (Dovonou, 2008).

Les niveaux relevés en ions nitrites dans le lac Nokoué sont très faibles aux concentrations en ions nitrites obtenues dans la lagune Fresco en Côte d'Ivoire (6,12 – 36,4 mg/l) par Issola *et al.* (2008), mais similaires à celles obtenues dans la rivière Kinyankonge au Burundi (0,016 – 0,037 mg/l) par Buhungu *et al.* (2018). Les nitrites sont formés sous l'action des bactéries nitreuses du genre *Nitrosomonas* par oxydation de l'ammonium ou par réduction des nitrates. Ils peuvent également être d'origine industrielle. Ils constituent le plus souvent la preuve de la présence d'impuretés d'origine fécale. Ils ne se maintiennent que lorsque le milieu n'est pas suffisamment oxydant et leur présence indique un état critique de pollution organique car cela indique un manque d'oxygène pour l'autoépuration (Dovonou, 2008).

Les concentrations en ions nitrates dans les eaux du lac Nokoué semblent élevées comparées aux valeurs obtenues dans la lagune de Fresco en Côte d'Ivoire (0,22- 0,39 mg/l) par Issola *et al.* (2008), dans la rivière Kinyankonge au Burundi (0,94 – 1,83 mg/l) par Buhungu *et al.* (2018) et dans le lac Zarivar en Iran (0,001 – 0,011 mg/l) par Moslem *et al.* (2019). Les nitrates sont issus de l'oxydation des nitrites (nitration) grâce aux bactéries du genre *Nitrobacter*.

Les teneurs en ions phosphates dans les eaux du lac Nokoué sont identiques à celles notées en Iran dans le lac Zarivar (0,019 – 1,45 mg/l) par Moslem *et al.* (2019) et relativement faibles aux valeurs de 1,04-6,29 mg/l obtenues au Burundi dans la rivière Kinyankonge (Buhungu *et al.*, 2018). Les phosphates se rencontrent dans les eaux naturelles, dans les eaux usées domestiques et agricoles. Ils se forment par suite de la décomposition de la matière organique. Ils jouent un rôle important dans la croissance des organismes et représentent un facteur limitant dans la productivité primaire des eaux: un milieu pauvre en phosphate est peu productif et est dit oligotrophe tandis qu'un excès de phosphate le rend eutrophe (Dovonou, 2008).

La demande chimique en oxygène (DCO) relevée dans les eaux du Nokoué est supérieure à celle obtenue au Burundi (42,9 – 279,6 mg/l) dans la rivière Kinyankonge

(Buhungu *et al.*, 2018). Par contre la demande biochimique en oxygène (DBO₅) des eaux du lac Nokoué est très faible comparée aux valeurs de 21,9 - 139,2 mg/l observées au Burundi dans la rivière Kinyankonge (Buhungu *et al.*, 2018). La mesure de la DBO₅ permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité et son degré de pollution organique (Dovonou, 2008).

L'indice de pollution organique (IPO) pour le lac Nokoué selon Capo-chichi *et al.* (2022) varie de 2 à 3,75 traduisant une pollution organique modérée à forte et selon Agbohessi *et al.* (2023) l'IPO est de 1,33 indiquant une très forte pollution due à une faible minéralisation des matières organiques. Cette pollution organique du lac Nokoué est identique à ce qui est observé dans les eaux de la Merja Fouarat au Maroc (IPO = 1,5-3,75) par Chahboune *et al.* (2012) et dans les eaux naturelles de la région d'El Tarf au Nord-Est de l'Algérie (IPO = 1 – 2,33) par Bahroun et Houria. (2011). L'évolution des valeurs de l'IPO montre que cet état dégradé de la qualité des eaux du lac Nokoué est dû aux rejets des effluents domestiques et industriels (Benbouih *et al.*, 2005) et aux dépotoirs d'ordures ménagères par endroits sur le plan d'eau. Les valeurs de cet indice s'expliquent par les teneurs élevées en ammonium et en phosphate (Benzizoune *et al.*, 2004). La pollution organique du lac Nokoué entraîne l'hyper-eutrophisation caractérisée par la prolifération des plantes aquatiques comme la Jacinthe d'eau *Eichhornia crassipes* (Ogotu-Ohwayo *et al.*, 1997). Cette prolifération des végétaux aquatiques est à l'origine de la formation d'un écran en surface des eaux qui empêche l'oxygénation du milieu. De plus, la décomposition de tous ces végétaux occasionne une importante consommation d'oxygène dissous, et va s'accompagner d'une désoxygénation du milieu, en particulier à l'interface eau/sédiment, d'où le niveau bas en oxygène dissous noté dans le lac Nokoué. Ces conditions sont défavorables à la vie de certaines espèces notamment celles dépendantes de l'oxygène dissous dans l'eau comme les Cichlidés. La production de sulfures et de nitrites inhibe le développement d'autres producteurs primaires et des poissons à grande sensibilité.

Pollutions du lac Nokoué par les métaux toxiques

Seuls le plomb, le cadmium et le mercure ont été pris en compte dans la présente étude du fait de leur forte gravité spécifique et de leur toxicité sur les divers organismes animaux aquatiques.

Teneurs des eaux en métaux toxiques

Les teneurs dans l'eau du lac Nokoué en plomb, en cadmium et en mercure sont recensées dans le Tableau 2. Les teneurs en plomb relevées dans l'eau du lac Nokoué sont relativement similaires à celles obtenues dans l'eau de la lagune de Porto-Novo (0,114 mg/l) au Bénin (Agbandou *et al.*, 2018) et dans le lac Toho à Lokossa (0,1032 mg/l) toujours au Bénin (Hekpazo *et al.*, 2020), dans l'eau du fleuve Congo (0,01 – 0,05 mg/l) au Congo (Jeff *et al.*, 2021) et dans l'eau du bassin de Didagou (0,0004 – 0,0599 mg/l) au Togo (Kpiagou *et al.*, 2022). Mais Kaki *et al.* (2011) ont obtenu des concentrations en plomb dans l'eau du lac Nokoué allant jusqu'à 10,1 mg/l très élevées et supérieures aux normes de l'OMS (organisation mondiale de la santé)

pour les teneurs en plomb de l'eau fixées à 0,01 mg/l (OMS, 2017). Les teneurs en cadmium relevées dans l'eau du lac Nokoué sont semblables à celles trouvées dans l'eau du lac Toho (0,046 mg/l) par Hekpazo *et al.* (2020), et l'eau du fleuve Congo (0,01 – 0,02 mg/l) par Jeff *et al.* (2021) et supérieures à celles dans l'eau du bassin de Didagou (0,0005 – 0,0069 mg/l) par Kpiagou *et al.* (2022). Cette concentration en cadmium de 0,03 mg/l trouvée dans l'eau du Nokoué est supérieure à la limite de 0,003 mg/l fixée pour l'eau (OMS, 2017). La teneur en mercure de 0,0011 mg/l relevée dans l'eau du lac Nokoué par Agbandou *et al.* (2018) est similaire à 0,0017 mg/l obtenue par les mêmes auteurs dans la lagune de Porto-Novo, semblable à celles obtenues par Khamar *et al.* (2000) dans les effluents urbains en Algérie (0,001 – 0,083 mg/l) et dans l'eau du bassin de Didagou (0,0003 – 0,0025 mg/l) au Togo par Kpiagou *et al.* (2022). Mais la concentration en mercure de 6,66 mg/l dans l'eau du Nokoué obtenue par Karim *et al.* (2023) est très élevée et supérieure à la limite de 0,006 mg/l fixée pour l'eau (OMS, 2017).

Teneurs des sédiments en métaux toxiques

Les teneurs des sédiments en métaux toxiques sont présentées dans le Tableau 3. Les concentrations en plomb dans les sédiments du lac Nokoué sont similaires à celles trouvées dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (3,52 – 60,6 mg/kg) par Chouti *et al.* (2010) et dans le lac Ahémé (21,3 mg/kg) par Agbandou *et al.* (2018), mais supérieures à celles rapportées dans les sédiments de la rivière N'zi (0,2 – 1,63 mg/kg) en Côte d'Ivoire par Ouattara *et al.* (2021) et faibles comparées aux teneurs en plomb trouvées dans les sédiments (118,9 mg/kg) de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire (Irié Bi *et al.*, 2019). Les niveaux en cadmium obtenus dans les sédiments du lac Nokoué sont similaires à ceux rapportés dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (0,6-7,33 mg/kg) au Bénin (Chouti *et al.*, 2010), de la rivière N'zi (0,44 – 0,53 mg/kg) en Côte d'Ivoire (Ouattara *et al.*, 2021) et dans les sédiments de la lagune Ebrié (0,74 mg/kg) en Côte d'Ivoire (Irié Bi *et al.*, 2019). Mais des valeurs allant jusqu'à 22,1 mg/kg ont été obtenues par Kaki *et al.* (2011) dans les sédiments du lac Nokoué. Ce niveau en cadmium est très élevé et supérieur à la limite de 0,11 mg/kg fixée par le groupe mixte d'experts sur les aspects scientifiques de la protection du

milieu marin. Pour le mercure, les concentrations obtenues dans les sédiments du lac Nokoué sont semblables à celles des sédiments de la ferme aquacole de Bingerville en Côte d'Ivoire (0,169 – 0,177 mg/kg) relevées par Coulibaly *et al.* (2018) et à celles des sédiments de la rivière N'zi en Côte d'Ivoire (0,002 – 0,064 mg/kg) obtenues par Ouattara *et al.* (2021), mais faible par rapport aux valeurs trouvées par Chouti *et al.* (2010) dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (0,17-2,73 mg/kg).

Teneurs des poissons et autres organismes animaux aquatiques en métaux toxiques

Le Tableau 4 présente quelques données d'accumulation d'éléments traces métalliques dans quelques animaux aquatiques capturés dans le lac Nokoué quelle que soit la saison. Les niveaux en plomb dans les poissons, crabes, crevettes et huîtres pêchés dans le lac Nokoué sont globalement très supérieurs à la limite de 0,2 mg/kg fixée pour leur comestibilité (OMS, 2005). La concentration en plomb obtenue chez *Liza falcipinnis* (31,7 mg/kg) capturé dans le lac Nokoué est très élevée que celle obtenue chez la même espèce pêchée dans le fleuve Congo (1,17 mg/kg) par Jeff *et al.* (2021). La teneur en plomb trouvée chez *Chrysichtys* spp (0,0992 – 29,5 mg/kg) capturée dans le lac Nokoué va à des limites très supérieures à celle rapportée chez la même espèce dans la lagune de Porto-Novo (3,44 mg/kg) au Bénin par Agbandou *et al.* (2018). De la même manière, les résidus de plomb obtenus chez *Ethmalosa fimbriata* (0,113 – 25,5 mg/kg) du lac Nokoué vont à des niveaux très supérieurs à ceux relevés chez la même espèce dans la lagune de Porto-Novo (5,90 mg/kg) par Agbandou *et al.* (2018). La concentration en plomb trouvée chez *S. melanotheron* (19,2 mg/kg) pêchée dans le lac Nokoué est largement supérieure à celles révélées chez *Oreochromis niloticus* pêchée dans le lac Toho (0,14 mg/kg) au Bénin (Hekpazo *et al.*, 2020) et dans le fleuve Congo (0,25 mg/kg) au Congo (Jeff *et al.*, 2021). La teneur en plomb obtenue chez les huîtres *Crassostrea* Spp (9,39 mg/kg) du lac Nokoué est très élevée comparativement à celle trouvée chez le même genre d'huître (2,95 mg/kg) par Ouro Sama *et al.* (2014) dans le système lagunaire togolais. Par contre, les crabes *Callinectes amnicola* du lac Nokoué concentrent moins (0,82 – 1,81 mg/kg) de plomb que leurs homologues du lac Ahémé (20,9 mg/kg) au Bénin (Dossou *et al.*, 2022).

Tableau 2: Teneurs des eaux du lac Nokoué en plomb, cadmium et mercure

Éléments traces métalliques	Concentrations (mg/l)	Références
Plomb	0,56	Houkpatin <i>et al.</i> (2012)
	0,107	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	0,01 – 10,1	Kaki <i>et al.</i> (2011)
Cadmium	0,03	Houkpatin <i>et al.</i> (2012)
Mercure	0,0011	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	6,66	Karim <i>et al.</i> (2023)

Tableau 3: Teneurs des sédiments du lac Nokoué en plomb, cadmium et mercure

Éléments traces métalliques	Concentrations (mg/kg)	Références
Plomb	54,0	Houkpatin <i>et al.</i> (2012)
	3,2 – 13,9	Kaki <i>et al.</i> (2011)
Cadmium	0,74	Houkpatin <i>et al.</i> (2012)
	0,56 – 22,1	Kaki <i>et al.</i> (2011)
Mercure	0,03 – 0,13	Zoffoun (2019)

Les niveaux de concentration en cadmium des poissons, mollusques et crustacés rapportés dans le lac Nokoué sont de façon générale au-delà de la limite de 0,05 mg/kg fixée par OMS (2005) pour leur comestibilité. Pour ce qui est des poissons, la teneur obtenue chez *C. auratus* (0,3 mg/kg) du lac Nokoué est semblable aux teneurs trouvées chez *O. niloticus* (0,179 mg/kg) et *C. gariepinus* (0,173 mg/kg) du fleuve Congo par Jeff *et al.* (2021), chez *Caranx hippos* (0,33 mg/kg), *Hemichromis fasciatus* (0,98 mg/kg) par Ouro-Sama *et al.* (2014) dans le système lagunaire togolais et chez *O. niloticus* (0,087 mg/kg) du lac Toho par Hekpazo *et al.* (2020). Mais toutes ces valeurs sont très faibles comparées aux concentrations en cadmium rapportées dans le lac Nokoué chez *L. falcipinnis* (2,11 mg/kg), *E. fimbriata* (2,12 mg/kg) et *S. melanotheron* (2,19 mg/kg). Quant au mollusque *C. gigas*, sa teneur en cadmium dans le lac Nokoué (10,4 mg/kg) est largement supérieure à 0,83 mg/kg trouvée pour *C. gasar* (Ouro-Sama *et al.*, 2014).

Les teneurs en mercure des organismes aquatiques rapportées dans le lac Nokoué notamment celles trouvées par Agbandou *et al.* (2018) sont nettement au-delà de 0,287 mg/kg trouvée chez *E. fimbriata* et de 0,046 mg/kg chez *C. nigrodigitatus* capturées dans la lagune de Porto-Novo par les mêmes auteurs.

Quelques conséquences de la contamination du lac Nokoué par les métaux toxiques

En réalité jusqu'à maintenant et à notre connaissance, aucune étude écotoxicologique n'a encore investigué l'impact de cette contamination en métaux toxiques sur les organismes animaux vivant dans ce cours d'eau. Des publications (Tabinda *et al.*, 2010; Agbohessi *et al.*, 2023) ont cependant rapporté que les métaux lourds sont dangereux pour les espèces aquatiques à cause de leur persistance

dans l'environnement, leur tendance à la bioaccumulation et surtout leur toxicité. Ebrahimi et Taherinfard (2011) ont indiqué qu'une exposition chronique aux métaux lourds (Pb, Cd, Hg) inhibait chez les poissons la synthèse de l'œstrogène et des androgènes. Selon Hachfi *et al.* (2012), le cadmium est un métal perturbateur endocrinien capable d'affecter l'homéostasie, la reproduction et également d'altérer la fonction de l'axe hypothalamus -hypophyse -gonade – foie chez les poissons. De plus, il est également capable de perturber la synthèse hormonale et d'endommager la liaison aux protéines plasmatiques. Des études ont également prouvé que ces métaux toxiques altéraient la spermatogenèse, l'ovogenèse et causaient des perturbations hépatiques chez *Labeo rohata* et chez *Auchenoglanis occidentalis* (Abalaka 2015; Saravpreed *et al.*, 2018). L'exposition aux métaux lourds affecte le développement embryonnaire et larvaire des poissons en induisant l'augmentation du rythme cardiaque, la réduction de l'activité cardiaque, l'augmentation du taux de mortalité et le taux des malformations, les déformations de la colonne vertébrale, etc (Taslina *et al.*, 2022). Les études d'une exposition aux éléments traces métalliques ont indiqué que ces métaux toxiques induisent un stress chimique qui inhibe la croissance chez plusieurs espèces de poissons dont *Catla catla*, *L. rohata*, etc (Naz et Chatha, 2022).

Pollution du lac Nokoué par les pesticides

Teneurs en pesticides dans les eaux du lac Nokoué

Les résultats de l'analyse des sédiments prélevés entre 0 et 10 cm au fond de quelques sites du lac Nokoué sont présentés dans le Tableau 5. Les taux de DDT et ses métabolites les plus élevés obtenus sur les sites du lac Nokoué sont obtenus à Ladjé et sont tous très élevés par rapport à la recommandation canadienne pour la qualité de l'eau (1,42 µg/kg [DDE],

Tableau 4: Teneurs de quelques organismes aquatiques pêchés dans le lac Nokoué en plomb, cadmium et en mercure

Éléments traces métalliques	Organismes aquatiques	Valeurs (mg/kg)	Références
Plomb	<i>Liza falcipinnis</i>	31,7	Hounkpatin <i>et al.</i> (2012)
	<i>Chrysichthys auratus</i>	29,5	
	<i>Ethmalosa fimbriata</i>	25,5	
	<i>Sarotherodon melanotheron</i>	19,2	
	<i>Penaeus kerathunis</i>	29,5	
	<i>Ethmalosa fimbriata</i>	0,113	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	<i>Chrysichtys nigrodigitatus</i>	0,099	Goussanou <i>et al.</i> (2018)
	<i>Callinectes amnicola</i>	0,82 – 1,81	
	<i>Crassostrea gigas</i>	9,39	
Cadmium	<i>Liza falcipinnis</i>	2,11	Hounkpatin <i>et al.</i> (2012)
	<i>Chrysichthys auratus</i>	0,3	
	<i>Ethmalosa fimbriata</i>	2,12	
	<i>Sarotherodon melanotheron</i>	2,193	
	<i>Penaeus kerathunis</i>	0,3	
	<i>Callinectes amnicola</i>	0,11-0,23	Goussanou <i>et al.</i> (2018)
	<i>Crassostrea gigas</i>	10,40	Kindekon <i>et al.</i> (2021)
Mercure	<i>Chrysichtys nigrodigitatus</i>	9,31-22,7	Degila <i>et al.</i> (2022)
	<i>Sarotherodon melanotheron</i>	3,47-7,27	
	<i>Penaeus spp</i>	3,80-7,27	
	<i>Crassostrea gasar</i>	4,74-8,98	
	<i>Ethmalosa fimbriata</i>	0,113	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	<i>Chrysichtys nigrodigitatus</i>	0,099	

3,54 µg/kg [DDD] et 1,19 µg/kg [DDT]). Ces teneurs obtenues dans les sédiments à Ladji par Yéhouéno (2005) sont également au-dessus des concentrations néerlandaises maximales permises (58 µg/kg [DDE], 39 µg/kg [DDD] et 98 µg/kg [DDT]). Les teneurs en DDE et DDD rapportées à Ladji sur le lac Nokoué par Yéhouéno (2005) sont respectivement supérieures à celles de Yéhouéno *et al.* (2006) à Kpassa (131 µg/kg [DDE] et 61,5 µg/kg [DDD]), et à Lowé (68 µg/kg [DDE] et 115,5 µg/kg [DDD]) sur le fleuve Ouémé. Cependant, la teneur en DDT rapportée à Ladji par Yéhouéno (2005) est en dessous de celles de Bétérou (139-809 µg/kg), Donga (134-189 µg/kg), Kpassa (159,5 µg/kg), Lowé (167,3- 312 µg/kg), Bonou (220 µg/kg) et Toué (123 µg/kg) sur le fleuve Ouémé (Yéhouéno *et al.* (2006b). Ensuite, les concentrations en DDE (280 µg/kg) et en DDT (23 µg/kg) des sédiments collectés à Ladji (Yéhouéno, 2005) sont largement au-dessus de ceux des retenus d'eau de Batran (respectivement 1,5 et 1,2 µg/kg) et de Sori (respectivement 2,1 et 1,5 µg/kg) (Douny *et al.*, 2021). Aussi, le niveau en DDE dans les sédiments de Ladji rapporté par Yéhouéno (2005) est nettement supérieur à ceux (149 µg/kg) de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire (Marchand et Martin, 1985), (15,85 µg/kg) de la rivière Agbansiandi au Togo (Mawussi, 2008) et (4,47 µg/kg) du lac Nakuru au Kenya (Mavura et Wangila, 2003). Par contre les teneurs en DDD (128 µg/kg) et en DDT (23 µg/kg) des sédiments collecté à Ladji par Yéhouéno, (2005) sont très inférieures à celles trouvées dans la lagune Ebrié respectivement de 803 µg/kg et 354 µg/kg (Marchand et Martin, 1985).

Teneurs en pesticides de quelques organismes animaux du lac Nokoué

Le Tableau 6 présente quelques données chiffrées de résidus d'organochlorés retrouvés chez quelques animaux aquatiques (poissons, mollusques et crustacés) du lac Nokoué par Yéhouéno *et al.* (2013). L'analyse du tableau montre que les teneurs résiduelles en DDT et ses métabolites dans les poissons étudiés varient de 99 à 289 ng/g (DDE), de 55 à 168 ng/g (DDD), et de 20 à 123 ng/g (DDT). Ces valeurs de DDE sont supérieures à celles rapportées dans les retenues d'eau de Batran chez *O. niloticus* (5,3 ng/g) et chez *C. gariepinus* (8,0 ng/g) (Douny *et al.*, 2021). Ces valeurs de DDE sont également au-dessus de celles obtenues sur le fleuve Ouémé à Kpassa chez *O. niloticus* (41 ng/g) à Bétérou chez *C. gariepinus* (66 ng/g) (Yéhouéno *et al.*, 2006b), et dans la rivière Pendjari chez *Polypterus endlicheri* (93 ng/g) (Soclo, 2003) mais inférieures à celles rapportées à Atchakpa-Béri chez *C. gariepinus* (421 ng/g) par Yéhouéno *et al.* (2006) et dans la rivière Dridji chez *C. gariepinus* (403 ng/g) par Agbohessi *et al.* (2012). Ces niveaux de DDE sont supérieurs à ceux qui ont été trouvés chez les poissons du lac Nakuru au Kenya (34,9 ng/g) par Mavura et Wangila, (2003) et à ceux trouvés par Afful *et al.* (2010) (1,3 à 12 ng/g) dans les poissons du bassin de Densu au Ghana. Les taux en ∑ DDT (DDE+DDD+DDT) des poissons varient de 189 à 580 ng/g de lipides. Ces concentrations en ∑ DDT des poissons capturés dans le lac Nokoué sont supérieures à celles rapportées dans le fleuve Ouémé à Kpassa chez *O. niloticus* (129 ng/g), *Sarotherodon galileus* (139 ng/g), à

Tableau 5: Résidus de pesticides organochlorés identifiés et quantifiés dans les sédiments collectés sur plusieurs sites du lac Nokoué (µg/kg Matière organique)

Résidus	Sites de collectes des sédiments									Références
	Sô-Ava	Sô-Tchanhoué	Ganvié	Abomey-Calavi	Zogbo	Awan-sori	Vèkky	Jésuko	Ladji	
DDE	<dl	<dl	11,5	7,5	15,0	74,0	<dl	<dl	280,0	Yéhouéno (2005)
DDD	<dl	<dl	23,0	15,0	<dl	56,0	<dl	<dl	128,0	
DDT	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	23,0	
∑DDT	<dl	<dl	34,5	22,5	15	130	<dl	<dl	431,0	
Pp'DDE	<dl	<dl	2,0	2,0	1,0	4,0	<dl	<dl	24,4	Yéhouéno <i>et al.</i> (2013)
Pp'DDD	<dl	<dl	4,0	4,0	<dl	3,2	<dl	<dl	11,1	
Pp'DDT	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	2,0	
∑DDT	<dl	<dl	6,0	6,0	1,0	7,2	<dl	<dl	37,5	

<dl = inférieur à la limite de détection qui est de 0,1 µg/kg

Tableau 6: Teneurs en résidus de pesticides identifiés et dosés dans les espèces de poissons du lac Nokoué (ng/g de lipides) (Yéhouéno *et al.*, 2013)

Organismes aquatiques	Teneur en lipide (ng/g)	Pp'-DDE	Op'-DDD	Pp'-DDD	Op'-DDT	Pp'-DDT	∑DDT	q'-endo	Aldrin	Dieldrine	γ-HCH
<i>Elops lacerta</i>	2	189	17	76	16	52	350	86	6	<6	<6
<i>Gobbiellus occidentalis</i>	1,9	113	<6	59	17	15	<210	31	31	19	28
<i>Ethmalosa fimbriata</i>	1,95	289	26	142	28	95	580	13	13	15	4
<i>Podamasys jubelini</i>	2	194	3	67	8	12	284	25	3	3	4
<i>Mugil cephalus</i>	2	106	12	65	9	25	217	4	4	11	<4
<i>Hemichromis fasciatus</i>	2	99	4	51	10	19	183	5	5	14	13
<i>Callinectes sp</i>		<40	-	12	-	-	<50	<50	-	-	-
<i>Penaeus notialis</i>		<40	-	-	15	-	<60	<15	-	-	-
<i>Ostrea sp</i>	-	<150	-	75	-	<60	<400	-	<10	-	-

Toué chez *Tilapia zillii* (134 ng/g) et à Lowé chez *Protopterus annectens* (130 ng/g) (Yéhouéno et al., 2006b). Cependant ces valeurs trouvées chez les poissons du lac Nokoué sont très inférieures à celles rapportées sur le même fleuve Ouémé à Bonou chez *C. gariepinus* (1 642 ng/g) à Atchakpa-Béri, chez *C. gariepinus* (1 384 ng/g), à Lowé chez *Schilbe intermedius* (1 191 ng/g) et *C. auratus* (1 238 ng/g) par les mêmes auteurs et dans la rivière Pendjari chez *P. endlicheri* (6 900 ng/g) par Soclo (2003). Ces niveaux de \sum DDT (189 à 580 ng/g) rapportés chez les poissons du lac Nokoué sont plusieurs fois élevés à ceux obtenus chez les poissons du lac Paranoa (1,35 ng/g) au Brésil (Caldas et al., 1999) mais très inférieurs à ceux rapportés chez *Micropterus Salmoides* (2100 ng/g) capturé au Kenya dans le lac Naivasha (Gitahi et al., 2002).

Les concentrations en α -endosulfan chez les poissons du lac Nokoué varient de 4 à 86 ng/g. Le niveau de α -endosulfan le plus élevé est rapporté chez *Elops lacerta* (86 ng/g) et est supérieur à celui des autres espèces mais très inférieur à celui rapporté chez *P. endlicheri* (8180 ng/g) dans la rivière Pendjari (Soclo, 2003).

Les concentrations en Aldrin des poissons du Nokoué varient de 2 à 31 ng/g et celles de la Dieldrine de 3-19 ng/g. Ces valeurs de la Dieldrine sont très inférieures à celles trouvées à Lowé par Yéhouéno et al (2006b) chez *P. annectens* (750 ng/g) et dans la rivière Pendjari chez *P. endlicheri* (200 ng/g) par Soclo (2003).

Les niveaux de γ -HCH rapportés chez les poissons du Nokoué varient de 4 à 28 ng/g mais très faibles par rapport à 174 ng/g observé dans la Pendjari chez *P. endlicheri* (Soclo, 2003).

Les niveaux de résidus organochlorés de poissons collectés dans le lac Nokoué sont inférieurs à ceux signalés pour les poissons des marchés et des zones de pêche d'Abidjan (Biego et al., 2010), du lac Qarun en Égypte (Mansour, 2009), lac Taabo en Côte d'Ivoire (Roche et al., 2007) et la lagune de Lagos au Nigeria (Adeyemi et al., 2008).

Les teneurs en \sum DDT (DDE+DDD+DDT) des poissons variant de 189 à 580 ng/g, presque identiques à celle du mollusque *Ostrea* sp (<400 ng/g de lipide), sont toutes supérieures à celles obtenues chez les crustacés *Callinectes* sp (<50 ng/g) et *Penaeus notialis* (<60 ng/g). Pour ce qui est de l'endosulfan, les crustacés en sont pourvus tandis que *Ostrea* sp n'en contient pas.

Quelques conséquences de la contamination du lac Nokoué par les pesticides

A notre connaissance aucune étude écotoxicologique ne s'est encore penchée sur l'impact des effluents agricoles sur les organismes du lac Nokoué. Cependant, plusieurs études avaient déjà prouvé que les pesticides organochlorés comme le DDT et son métabolite pp'-DDE, la Dieldrine, le lindane, l'endosulfan ont des activités oestrogéniques sur les poissons contaminés (Agbohessi et al., 2015a et b). Agbohessi (2014) et Agbohessi et al. (2015b) avaient révélé que l'endosulfan perturbe chez *Tilapia guineensis* et *C. gariepinus* le système endocrinien et induit chez les individus mâles des testis-ova et chez les femelles des ovocytes atrétiques pré-ovulatoires, indiquant une féminisation de ces poissons. Okoumassoun et al. (2002) avaient également relevé chez des individus mâles matures de *S.*

melanotheron collectés dans le fleuve Ouémé et contaminés en pesticides organochlorés (DDT, endosulfan, aldrin, dieldrine), des niveaux élevés de vitellogénine qui est une lipoprotéine synthétisée dans le foie sous l'impulsion de la 17 β -estradiol qui ne devrait pas être présent à un niveau élevé chez les mâles. Cela signifie que ces pesticides organochlorés ont des activités oestrogéniques. Ces pesticides organochlorés inhibent la croissance chez de nombreuses espèces de poisson (Agbohessi et al., 2014).

Teneurs en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) du lac Nokoué

Les teneurs moyennes totales en HAP relevées dans l'eau du lac Nokoué varient de 0,06 à 0,062 μ g/l selon Dovonou et al. (2019) et 0,067 à 0,137 μ g/l selon Tossou (2001). En termes de composition en HAP, Dovonou et al. (2019) ont trouvé dans l'eau du lac Nokoué la naphtalène (0,01 – 0,03 μ g/l), l'acenaphthène (0,02 – 0,05 μ g/l), l'anthracène (0,09 – 0,1 μ g/l), la fluoranthène (0,0 – 0,06 μ g/l) et l'acenaphthène (0,07 – 0,1 μ g/l). Ces différents niveaux de naphtalène, d'acenaphthène, de fluoranthène et d'acenaphthène dans l'eau du lac Nokoué sont très élevés par rapport à la norme ISO fixée à 0,001 μ g/l (CIRC, 2012). De la même manière la teneur en anthracène obtenue dans l'eau est supérieure à la même norme ISO fixée à 0,01 μ g/l (CIRC, 2012). Les teneurs rapportées pour le lac Nokoué par Dovonou et al. (2019) en HAP du *T. guineensis* (0,0056 – 0,0068 μ g/l), de *H. fasciatus* (0,0059 – 0,0068 μ g/l) et de *S. melanotheron* (0,0059 – 0,0073 μ g/l) sont supérieures à celles relevées par les mêmes auteurs chez les mêmes espèces dans la rivière Sô.

Aucune étude écotoxicologique n'a été faite à notre connaissance pour évaluer l'impact de ces HAP sur les organismes aquatiques dans le lac Nokoué. Mais la toxicité des HAP est reconnue et ces substances sont classées cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques et hépatotoxiques. Outre leur caractère ubiquiste, leur forte toxicité justifie leur classement en Polluants Organiques Persistants et leur inscription comme substances prioritaires sur les listes de la commission européenne, de l'agence de protection de l'environnement des États-Unis et de l'OMS (Du-Lacoste, 2008). Le benzo[a]pyrène par exemple, qui est très étudié, entraîne une diminution du poids, de la croissance, une augmentation du rapport gonado-somatique chez *Oryzias latipes* (Chikae et al., 2004), des cassures de l'ADN chez *C. gigas* (Wessel et al., 2007), des adduits à l'ADN chez *Danio rerio* (Tarantini, 2009). Des effets tératogènes notamment sur le coeur de *Clupea pallasii* et de *D. rerio* (Hicken et al., 2011) ont été observés ainsi qu'une anémie chez *Sebastes schlegeli* (Kim et al., 2008). Le benzo[a]pyrène affecte la reproduction chez *Oniscus asellus* et *Asellus porcellio* scaber, il s'accumule dans les ovocytes chez le poisson-chat *Ictalurus punctatus* (Montverdi et Di Giulio, 2000). Il perturbe l'expression de l'aromatase chez les femelles de *Fundulus heteroclitus* (Patel et al., 2006) et inhibe la synthèse de testostérone et d'œstradiol chez *Platichthys flesus* (Rocha Monteiro et al., 2000). La crevette (*Palaemonetes pugio*), exposée par l'aliment au pyrène, présente une réduction de la survie (Oberdörster et al., 2000). Les HAP sont des molécules lipophiles qui sont transportées et qui se retrouvent dans les ovaires via la vitellogénine (Montverdi and Di Giulio, 2000) et/ou la lipovitelline (Lee, 1993). Ils peuvent également entraîner une inhibition de la synthèse

de la vitellogénine, comme cela a déjà été montré chez la truite après une exposition au β -naphthoflavone (Anderson *et al.*, 1996). Cette exposition compromet la maturation des ovaires et provoque une augmentation de l'apoptose dans les cellules gonadiques (Marty *et al.*, 1997). Ces polluants entraînent, par exemple, une inhibition de la reproduction chez les crevettes exposées au pyrène (Oberdörster *et al.*, 2000). Chez les moules, les gamètes sont déformées et elles sont présentes en nombre réduit (Eertman *et al.*, 1995). Chez le mâle, la qualité du sperme est réduite, et on observe également une augmentation de l'apoptose testiculaire.

Autres polluants chimiques du lac Nokoué

Plusieurs autres contaminants chimiques notamment des micropolluants industriels ont été suspectés dans le lac Nokoué sans avoir fait l'objet d'une étude réelle. Il s'agit des détergents industriels (Dovonou *et al.*, 2019), des polychlorobiphényles (Dovonou *et al.*, 2011) et des dioxines et autres produits dérivés (Adjagodo *et al.*, 2016).

Les détergents industriels, c'est par exemple les alkylphénols polyéthoxylates qui sont des surfactants non ioniques, constituants des peintures et revêtements, des cosmétiques, etc, susceptibles d'être dans les effluents hospitaliers, les effluents domestiques et urbains, les effluents des industries de fabrication de peintures, les effluents de teinturerie, les effluents agricoles, etc. Les détergents industriels sont connus pour être des inhibiteurs de la croissance, reprotoxiques, hépatotoxiques et possèdent de très fortes activités oestrogéniques sur les poissons et autres animaux aquatiques (Boillot, 2008).

Les polychlorobiphényles (PCB) sont des composés organochlorés, des mélanges de biphényles à divers degrés de chloration. Ils sont utilisés généralement comme lubrifiants, fluides hydrauliques et fluides d'isolation. Ils se retrouvent dans l'environnement suite à l'incinération des plastiques en dessous de 1200 °C et contenus aussi dans les rejets industriels et domestiques. Les PCB sont des perturbateurs endocriniens oestrogéniques (Daouk, 2011). Ils perturbent également le développement, le système reproducteur et hépatique des poissons (Monosson, 2000).

Les dioxines et produits dérivés sont issus d'une grande variété de processus domestiques et industriels (incinérations de plastiques, industries de pâtes à papier, usines de textiles, etc). Les effluents d'usines de papeterie, de textiles et de teinturerie ont prouvé déjà leurs effets oestrogéniques sur les animaux aquatiques (Matti et Raimo, 2019). Des études ont montré que ces substances altèrent la croissance des poissons, leur productivité telle que la diminution de la taille des gonades, leurs systèmes immunitaires et leurs processus biochimiques (Kamal, 2006).

Pollution bactériologique du lac Nokoué

Peu d'études sur les teneurs en germes bactériologiques ont été réalisées sur le lac Nokoué malgré l'exposition constante de cet écosystème à ce type de polluant. Les rares données concernent celles de Dovonou *et al.* (2011) qui ont rapporté dans ce biotope des teneurs en coliformes totaux d'environ 12 000 UFC/ 100 ml, des coliformes fécaux de 40 000 UFC/ 100 ml et des streptocoques fécaux de 40 000 UFC/ 100 ml. Ces différents taux sont supérieurs chacun à la norme 10^3 UFC/100 ml fixée par OMS (1989) pour le rejet direct dans l'environnement. La charge bactérienne

en coliformes fécaux supérieure à la norme $>20\ 000$ UFC/100 ml de OMS (2014) indique une contamination par des germes fécaux. Cette contamination fécale a pour origine, la défécation directe dans l'eau du lac Nokoué par les populations lacustres, les boues de vidanges des fosses septiques des maisons de Cotonou et Calavi déversées dans ce cours d'eau, les déjections animales versées dans l'eau, les dépotoirs d'ordures ménagères par endroits le long de la berge de ce cours d'eau et les eaux résiduaires brutes de la ville d'Abomey-Calavi et de Cotonou. Des études de Adjahouinou *et al.* (2014) ont d'ailleurs montré dans les eaux résiduaires de la ville de Cotonou la présence de *Escherichia coli* ($4,32 \cdot 10^6$ UFC/100 ml), de coliformes totaux ($1,3 \cdot 10^7$ UFC/100 ml), de streptocoques fécaux ($4,3 \cdot 10^6$ UFC/100 ml) et de germes anaérobie sulfite-réducteurs ($7,9 \cdot 10^4$ UFC/100 ml). Cette charge bactérienne du lac Nokoué est tout de même faible comparée à celle trouvée par Abdelmalek *et al.* (2012) dans les eaux de l'Oued Beni Aza (Blida, Algérie) qui ont rapporté des coliformes totaux de $188 \cdot 10^7$ UFC/100 ml, des coliformes fécaux de $46 \cdot 10^7$ UFC/100 ml et des streptocoques fécaux de $28 \cdot 10^7$ UFC/100 ml. Cette contamination fécale du lac Nokoué peut influencer le système immunitaire des poissons et est une source potentielle d'épidémie (Adjahouinou *et al.*, 2014).

CONCLUSION

Le lac Nokoué est un écosystème de productivité élevée abritant une forte biodiversité de poissons, de crustacés et de mollusques. Mais cette diversité biologique connaît une érosion depuis des années due à plusieurs facteurs dont le plus important aujourd'hui est la pollution (organique, chimique et biologique). Parmi ces polluants, les plus dangereux sont ceux chimiques. Il s'agit entre autres des métaux toxiques, des pesticides chimiques, des micropolluants industriels dont les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les polychlorobiphényles, les détergents industriels, les dioxines et autres produits dérivés. C'est le mélange de tous ces toxiques qui impacte les organismes aquatiques de ce lac. Plusieurs de ces toxiques ont déjà été montrés comme perturbateurs endocriniens oestrogéniques. Afin d'éviter un désastre écologique, des études écotoxicologiques doivent donc être réalisées en vue d'évaluer l'impact réel de ce cocktail complexe de polluants sur les espèces de poissons, de crustacés et de mollusques. Certains polluants comme les métaux lourds, les HAP, les pesticides, etc, ont été retrouvés dans certains poissons très consommés à des concentrations hors normes. Cela pose le problème de la qualité sanitaire des produits de pêche issus du lac Nokoué et donc un problème de santé publique.

RÉFÉRENCES

- Abalaka S.E. (2015). Heavy metals bioaccumulation and histopathological changes in *Auchenoglanis occidentalis* fish from Tiga dam, Nigeria. *J. Environ. Health Sci. Engineering*, 13: 67.
- Abdelmalek B., Hamaidi F., Zahraoui R., Hamaidi M.S., Megateli S. (2014). Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'Oued Beni Aza (Blida, Algérie). *Lebanese Sci. J.*, 15: 39-51.
- Adadedjan D., Makponse E., Hinvli L.C., Laleye P. (2017). Données préliminaires sur la diversité du zooplancton du lac Nokoué (Sud-Bénin). *J. Appl. Biosci.*, 115: 11476-11489.

- Adeyemi D., Ukpo G., Anyakora C., Unyimadu J. (2008). Organochlorine pesticide residues in fish samples from Lagos lagoon, Nigeria. *Am. J. Environ. Sci.*, 4: 649-653.
- Adjagodo A., Agassounon D.T.M., Kelomey N.C., Lawani R. (2016). Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaîne trophique à travers le monde: synthèse bibliographique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10:1460-1472.
- Adjahouinou D.C., Yehouenou B., Liady M.N.D., Fiogbe E.D. (2014). Caractérisation bactériologique des eaux résiduaires brutes de la ville de Cotonou (Bénin). *J. Appl. Biosci.*, 78: 6705-6713.
- Afful S., Anim A.K., Serfor-Armah Y. (2010). Spectrum of organochlorine pesticide residues in fish samples from the densu basin. *Res. J. Environ. Earth Sci.*, 2: 133-138.
- Agbandou B., Houessou D., Thoto F., Chabi G. (2018). Déséquilibre écosystémique du complexe lagunaire lac Nokoué – lagune de Porto-Novo. Notes de politique ACED. <https://www.aced-benin.org/fr/publications>.
- Agbohessi T.P., Imorou Toko I., Kestemont P. (2012). État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le bassin cotonnier béninois. *Cah. Agric.*, 21: 46-56.
- Agbohessi T.P. (2014). Impact des pesticides agricoles sur le développement et la régulation du système reproducteur, le statut hépatique et la croissance des poissons dans le bassin cotonnier béninois, Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques de l'Université de Namur (Belgique), 327p.
- Agbohessi T.P., Imorou Toko I., N'tcha I., Geay F., Mandiki S.N.M., Kestemont P. (2014). Exposure to agricultural pesticides impairs growth, feed utilization and energy budget in African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *Int. Aquat. Res.*, 6: 229-243.
- Agbohessi T.P., Imorou Toko I., Ouédraogo A., Jauniaux T., Mandiki S.N.M., Kestemont P. (2015a). Assessment of the health status of wild fish inhabiting a cotton basin of Benin (West Africa) highly impacted by pesticides. *Sci. Total Environ.*, 506-507: 567-584.
- Agbohessi T.P., Imorou Toko I., Atchou V., Tonato R., Mandiki S.N.M., Kestemont P. (2015b). Pesticide used in cotton production affect reproductive development, endocrine regulation, liver status and offspring fitness in African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Comp. Biochem. Physiol., Part C: Toxicol. Pharmacol.*, 167: 157-172.
- Agbohessi P., Kinsiclounon G., Ouédraogo A., Guédégba L., Adouwekonou V., Houndji A., Imorou Toko I. (2023). Changes in blood tissue of estuarine tilapia *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell, 1852) captured in polluted Lake Nokoué (Benin, West Africa). *Res. J. Anim. Vet. Fish. Sci.*, 11: 1-7.
- Anderson M.J., Olsen H., Matsumura F., Hinton D.E. (1996). *In vivo* modulation of 17 β -estradiol-induced vitellogenin synthesis and estrogen receptor in Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) liver cells by β -Naphthoflavone. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 137: 210-218.
- Bankolé A.L., Olou A.C. (2000). Évaluation de la pollution inorganique azotée et phosphorée dans les écosystèmes du lac Nokoué et du chenal de Cotonou. Identification des sources. Mémoire pour l'obtention du DIT/CPU. Cotonou, 82p.
- Bahroun S., Houria K.B. (2011). Évaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région d'EL Tarf (Nord-est Algérien). *Larhyss J.*, 9: 171-178.
- Bawa M.L., Djaneye-Boundjou G., Boukari Y. (2005). Caractérisation de deux effluents industriels au Togo: étude d'impact sur l'environnement. *Afr. Sci.*, 02: 57 - 68.
- Benbouh H., Nassali H., Leblans M., Srhiri A. (2005). Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc). *Afr. Sci.*, 1: 109-125.
- Benzizoune S., Nassali H., Srhiri A. (2004). Étude de la cinétique d'adsorption du phosphore en solution sur les sédiments du lac Fouarat au Maroc. *Larhyss J.*, 3: 171-184.
- Biego G.H.M., Yao K.D., Ezoua P., Kouadio L. P. (2010). Assessment of organochlorine pesticides residues in fish sold in Abidjan markets and fishing sites. *Afric. J. Food Agric. Nutr. Dev.*, 10: 2305-2323.
- Boillot C. (2008). Évaluation des risques écotoxicologiques liés aux rejets d'effluents hospitaliers dans les milieux aquatiques. Contribution à l'amélioration de la phase "caractérisation des effets". INSA de Lyon. Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (France), 299p.
- Buffe J. (1958). Les pêcheries en branchages «Acadja» des lagunes du Bas-Dahomey. *Rev. Bois et Forêt des tropiques*, 59: 19-24.
- Buhungu S., Montchowui E., Barankanira E. (2018). Caractérisation spatio-temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Kinyankonge, affluent du Lac Tanganyika, Burundi. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12: 576-595.
- Caldas E.D., Coelho R., Souza L.C.K.R., Silva S.C. (1999). Organochlorine pesticides in water, sediment and fish of Paranoa Lake of Brasilia, Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 62:199-206.
- Capo-chichi H.B.P., Adandédjan D., Aglonon Houélomé T.M., Lalèyè P. (2022). Physico-chimie et pollution organique du lac Nokoué au Sud du Bénin. *J. Appl. Biosci.*, 170: 17752- 17775.
- Chahboune N., Mehdi M., Abidi M., Douira A. (2011). Impact environnemental et évaluation de la qualité des eaux par des méthodes chimiques et biologiques «Diatomées». *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6: 8024-8033.
- Chikae M., Hatano Y., Ikeda R., Morita Y., Hasan Q., Tamiya E. (2004). Effects of bis (2- ethylhexyl) phthalate and benzo[a] pyrene on the embryos of Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 16: 141-145.
- Chouti W., Mama D., Changotade O., Alapini F., Boukari M. (2010). Étude des éléments traces métalliques contenus dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (Sud Bénin), *J. Appl. Biosci.*, 34: 2186-2197.
- Coulibaly S., Atsé B.C., Koffi K.M. (2018). Contamination aux métaux lourds de la matrice eau- sédiment et muscle du Tilapia *Oreochromis niloticus* de trois fermes piscicoles en Côte d'Ivoire. *Agron. Afr.*, 30 : 249-259.
- Cledjo P. (1999). La gestion locale de l'environnement dans les cités du lac Nokoué (Région urbaine du littoral du sud Bénin). Mémoire de DEA. 60p.
- Daouk T. (2011). Effets de contaminations d'embryons et d'adultes de poissons zèbres (*Danio rerio*) par des PCB et des HAP. Thèse de l'Université de la Rochelle, 162 p.
- Degila H.W., Adoukpe J.G., Azon N.B.N., Quenum V., Aina M.P. (2022). Assessing the mercury content of fishes (*Sarotherodon melanotheron* and *Chrysichthys nigrodigitatus*), shrimps (*Penaeus* spp), and oysters (*Crassostrea gasar*) of complex "lake Nokoué -lagoon of Porto-Novo" in the Republic of Benin (West Africa). *Res. J. Animal, Veterinary and Fishery Sci.*, 10: 1-8.
- Dossou D., Bokossa H.K.J., Adanlokonon E.A.S., Zounon Y., Adanlokonon S.M.I., Johnson R.C., Fiogbe E.D., Edoth P. (2022). Évaluation de la contamination métallique des sédiments et des crabes (*Callinectes amnicola*) du lac Ahémé au sud Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 16: 2424-2435.
- Douny C., Zoumenou Y.M.B.G., Aïna M., Imorou Toko I., Igout A., Guedegba L., Chabi S.K., Kestemont P., Scippo M.L. (2021). Contamination of water, sediment and fish with residues of pesticides used in cotton production in northern Benin. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 81: 367- 385.
- Dovonou F. (2008). Pollution des plans d'eau au Bénin, mémoire de DEA en Environnement, Santé et Développement, 58p.
- Dovonou F., Aina M., Boukari M., Alassane A. (2011). Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques écotoxicologiques: cas du lac Nokoué au Sud Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5: 1590-1602.
- Dovonou E.F., Ibikounle M., Akouedegni C.G. (2019). Impacts des hydrocarbures aromatiques polycycliques sur les poissons: Cas des tilapias du lac Nokoué au Sud du Bénin (Afrique de l'Ouest). *European Scientific J.*, 36: 458-474.

- Ebrahimi M., Taherianfard M. (2011). The effects of heavy metals exposure on reproductive systems of cyprinid fish from Kor River. *Iranian J. Fisheries Sci.*, 10: 13-24.
- Eertman R.H.M., Groenink C.L.F.M.G., Sandee B., Hummel H., Smaal A.C. (1995). Response of the blue mussel *Mytilus edulis* L. following exposure to PAHs or contaminated sediment. *Mar. Environ. Res.*, 39: 169-173.
- Gitahi S.M., Harper D.M., Muchiri S.M., Tole M.P., Ng'ang'a R.C.N. (2002). Organochlorine and organo-phosphorus pesticide concentrations in water, sediment, and selected organisms in lake Naivasha (Kenya). *Hydrobiol.*, 488: 123-128.
- Gnohossou P. (2006). La faune benthique d'une lagune ouest africaine (le Lac Nokoué au Bénin), diversité abondance, variation temporelles et spatiales, place dans la zone trophique. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse: SEVAB. 169p.
- Goussanou A., Youssao A.K.A., Toléba S.S., Dagan S.B., Bonou A.G., Chikou A., Mensah G.A., Youssao A.K.I. (2018). Evaluation of crab Callinectes amnicola contamination by heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, As) in the complex Nokoué lake Porto-novo lagoon in South Benin. *Int. J. Biosci.*, 12: 98-110.
- Gras R. (1961). Liste des espèces du bas Dahomey faisant partie de la collection du laboratoire d'hydrobiologie du service des eaux, forêts et chasses du Dahomey. *Bulletin de l'Institut Français d'Afrique Noire*, 23: 527-586.
- Hachfi L., Couvray S., Simide R. (2012). Impact of endocrine disrupting chemicals (EDCs) on hypothalamic pituitary – gonad – liver (HPGL) axis in fish. *W. J. Fish. Mar. Sci.*, 4: 14 -30.
- Hekpazo P. M., Hounkpatin A. S. Y., Dougnon V. T., Boni G. E., Pognon E., Johnson R.C. (2020). Évaluation de la contamination métallique (plomb, cadmium et arsenic) et analyse de risques toxicologiques à Houin Logbo (lac Toho) dans la commune de Lokossa au sud-ouest du Bénin. *Bull. Rech. Agron. Bénin*, 30: 54-64.
- Hicken C.E., Linbo T.L., Baldwin D.H., Willis M.L., Myers M.S., Holland L., Larsen M., Stekoll M.S., Rice S.D., Collier T.K., Scholz N.L., Incardona J.P. (2011). Sublethal exposure to crude oil during embryonic development alters cardiac morphology and reduces aerobic capacity in adult fish. *Proceedings National Academy Sci.*, 108: 7086-7090.
- Hoteyi S.M.I., Gnimadi C.C., Adjadj G.V., Igué A.M., Mensah G.A. (2014). Analyse des risques de consommation des eaux en sachet pour les populations dans la ville de Porto-Novo au Sud-Bénin. *Bull. Rech Agron. Bénin. Numéro Agro-biodiversité et Santé publique*, 8p.
- Hounkpatin A.S.Y., Etorh P.A., Guédénon P. (2012). Haematological evaluation of Wistar rats exposed to chronic doses of Cadmium, Mercury and combined Cadmium and Mercury. *Afr. J. Biotechnol.*, 12: 3731-3737.
- Hounkpe J.B., Kelome N.C., Lawani R.A.N., Adechina A.R.M.A. (2017). État des lieux de la pollution des écosystèmes aquatiques au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Larhyss J.*, 30: 149-171.
- Irié Bi T. J-G., Aka N., Kando A. M-L., Coulibaly A.S., Monde S. (2019). Enrichissement des sédiments de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) en éléments traces métalliques (ETM): influence sur la qualité des sédiments et les organismes benthiques. *J. Appl. Biosci.*, 142: 14448 – 14463.
- Issola Y., Kouassi A.M., Dongui B.K., Biemi J. (2008). Caractéristiques physico-chimiques d'une lagune côtière tropicale: lagune de Fresco (Côte d'Ivoire). *Afr. sci.*, 04: 368 – 393.
- Jeff N.K., Willy L.S., John T.M. (2021). Évaluation des teneurs en éléments traces métalliques (Cadmium et Plomb) dans l'eau, les sédiments et deux espèces de poissons *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) et *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) dans le Pool Malebo (Fleuve Congo), RD Congo. *European Scientific J.*, 17: 174-192.
- Kaki C., Guedenon P., Kelome N., Etorh P.A., Adechina R. (2011). Evaluation of heavy metals pollution of Nokoué lake. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.*, 5: 255-261.
- Kamal E.H. (2006). Nouvelles conceptions d'intégration des fibres creuses d'une membrane aux boues activées (BRM) dans le traitement des eaux usées de l'industrie des pâtes et papiers. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Eau. Université du Québec. 181p.
- Karim A., Gbaguidi A., Saizonou K., Dovonon L., Laly G., Moussa A., Azokpota E., Seby F., Donard O., Soclo H. (2023). Distribution of 26 metals in the waters of the aquatic ecosystems of the Cotonou channel and lake Nokoué, Benin. *J. Mater. Sci. Chem. Engineering*, 11: 13-28.
- Khamar M., Bouya D., Ronneau C. (2000). Pollution métallique et organique des eaux et des sédiments d'un cours d'eau marocain par les rejets liquides urbains. *Water Qual. Res. J. Canada*, 35: 147- 161.
- Kim S.G., Chung D. K. P., Suck W. J., Lee J. S., Kim S. S., Chung M. H. (2008). Effects of Dietary Benzo[a]pyrene on growth and hematological parameters in juvenile Rockfish, *Sebastes schlegelii* (Hilgendorf). *Environ. Toxicol. Chem.*, 81: 470–474.
- Kpiagou P., Tchegueni S., Boguido G., Sama D., Gnandi K., Tchando T., Glitho A.I. (2022). Évaluation de la pollution des ressources en eau du bassin versant de Didagou (Dapaong, Nord-Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 16: 481-497.
- Lalèye, P.A. (1995). Écologie comparée de deux espèces de Chrysisthys, poissons siluriformes (claroteidae) du complexe lagunaire Lac Nokoué-lagune de Porto-Novo au Bénin. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Liège (Belgique), 152p.
- Lalèye P., Chikou A., Wumenou T. (1997). Poissons d'eaux douces et saumâtres du Bénin: Inventaire, distribution, statut et conservation. Inventaire des poissons menacés de disparition du Bénin. Rapport d'étude. Ambassade Royale des Pays-Bas, Cotonou (Bénin), 80p.
- Lalèye P., Niyonkuru C., Moreau J.G.G. Teugels S. (2003). Spatial and seasonal distribution of the ichthyofauna of lake Nokoué, Bénin, West Africa. *Afr. J. Aquat. Sci.*, 28: 151-161
- Le Du-lacoste M. (2008). Étude des phénomènes de biotransformation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par les organismes aquatiques (poissons): relation exposition génotoxicité. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1, 398p.
- Lee R.F. (1993). Passage of xenobiotics and their metabolites from hepatopancreas into ovary and oocytes of blue crabs, *Callinectes sapidus*: Possible implications for vitellogenesis. *Mar. Environ. Res.*, 35: 181-187.
- Mama D., Aina M., Alassane A., Boukari O.T., Chouti W., Deluchat V., Bowen J., Afouda A., Baudu M. (2011). Caractérisation physico-chimique et évaluation du risque d'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5: 2076-2093.
- Mansour S. A. (2009). Persistent organic pollutants (POPs) in Africa: Egyptian scenario. *Human Experimental Toxicol.*, 28: 531–566.
- Marchand M., Martin J.L. (1985). Détermination de la pollution chimique (hydrocarbures, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments. *Océanographie Tropicale*, 20: 25-39.
- Marty G.D., Hose J.E., McGurk M.D., Brown E.D., Hinton D.E. (1997). Histopathology and cytogenetic evaluation of Pacific herring larvae exposed to petroleum hydrocarbons in the laboratory or in Prince William Sound, Alaska, after the Exxon Valdez oil spill. *Can. J. Fish. Aquat.*, 54: 1846–1857.
- Maslin J.-L., Bouvet Y. (1986). Le lac Ahémé (Bénin): Présentation du milieu, caractéristiques mésologiques, nature des fonds et distribution des peuplements malacologiques. *Oikos*, 46: 192-202.
- Matti V., Raimo P. (2019). Multigenerational and transgenerational effects of dioxins. *Int. J. Mol. Sci.*, 20: 2947
- Mavura W.J., Wangila P.T. (2003). The pollution status of lake Nakuru, Kenya: heavy metals and pesticides. *Afric. J. Aquat. Sci.*, 114:13-18.
- Mawussi G. (2008). Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherches d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (*Hypothenemus hampei ferrari*). Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse.

- Menard L., Escarné R., Marcogliese D.J., Cyr D., Fournier M., Gagné F. (2010). The impacts of urban pollution on the immune system of spottail shiners (*Notropis hudsonius*) in the St. Lawrence river, *Fresenius Environ. Bull.*, 19: 1369-1374.
- Monosson E. (2000). Reproductive and developmental effects of PCBs in fish: a synthesis of laboratory and field studies. *Rev. Toxicol.*, 3: 25-75.
- Monteverdi G.H., Di Giulio R.T. (2000). Oocytic accumulation and tissue distribution of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin and benzo[a]pyrene in gravid *Fundulus heteroclitus*. *Environ. Toxicol. Chem.*, 19: 2512-2518.
- Moslem M., Zohreh R., Javid I., Abbas M., Tahsin R. (2019). Water Quality Assessment of the Zarivar Lake Using Physico-chemical Parameters and NSF-WQI Indicator, Kurdistan Province-Iran. *Int. J. Adv. Biol. Biom. Res.*, 7: 87-97.
- Naz S., Chatha A.M.M. (2022). Metals mixture effects on growth performance and their bioaccumulation in fish. *Iranian J. Fisheries Sci.*, 21: 605-618.
- Oberdörster E., Brouwer M., Hoexum-Brouwer T., Manning S., McLachlan J.A. (2000). Long-term pyrene exposure of grass shrimp, *Palaemonetes pugio*, affects molting and reproduction of exposed males and offspring of exposed females. *Environ. Health Persp.*, 108: 641-646.
- Ogutu -Ohwayo R., Hecky R.E., Cohen S.A., Kauf L. (1997). Human Impacts on the African Great lakes. *Environ. Biol. Fish.*, 50: 117-137.
- Okoumassoun L.E., Brochu C., Deblois C., Akponan S., Marion M., Averill-Bates D., Denizeau F. (2002). Vitellogenin in tilapia male fishes exposed to organochlorine pesticides in Ouémé River in Republic of Benin. *Sci. Tot. Environ.*, 299: 163-172.
- OMS (Organisation mondiale de la santé) (1989). L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture: recommandations à visées sanitaires. Rapport technique n°778, Genève.
- OMS (2005). Liste provisoire des principales espèces de poissons faisant l'objet d'un commerce international (y compris propositions concernant des concentrations maximales de plomb dans différentes espèces de poissons), Trente-septième session, La Haye, Pays-Bas, 4p.
- OMS (2014). Surveillance de la qualité de l'eau de boisson. OMS: Genève, 1977; 143 p.
- OMS (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4^e Édition, Genève, Suisse, 539 p.
- Ouattara A.A., Sangaré N., N'goran K.P.A., Yao K.M., Trokouey A., Diaco T. (2021). Évaluation de la contamination des éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière N'zi, Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 15: 2199-2208.
- Ouro-Sama K., Solitoke H.D., Gnandi K., Afiademanyo K.M., Bowessidjaou E.J. (2014). Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais. *Vertigo*, 14(2).
- Patel M.R., Scheffler B.E., Wang L., Willett K.L. (2006). Effects of benzo(a)pyrene exposure on killifish (*Fundulus heteroclitus*) aromatase activities and mRNA. *Aquat. Toxicol.*, 77: 267-78.
- Rocha Monteiro P.R., Reis-Henriques M.A., Coimbra J. (2000). Polycyclic aromatic hydrocarbons inhibit *in vitro* ovarian steroidogenesis in the flounder (*Platichthys flesus* L.). *Aquat. Toxicol.*, 48: 549-559.
- Roche H., Tidou A., Persic, A. (2007). Organochlorine pesticides and biomarker responses in two fishes *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) and *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepède, 1803) and an invertebrate, *Macrobrachium vollenhovenii* (Herklot, 1857), from the Lake Taabo (Côte d'Ivoire). *J. Appl. Sci.*, 7: 3860-3869.
- Rurangwa E., van den Berg J., Laleye P.A., van Duijn A.P., Rothuis A.P. (2014). Pêche Pisciculture et Aquaculture au Bénin. Un quick Scan du secteur pour des possibilités d'Interventions. Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies (IMARES): Wageningen; Rapport, E-Publication. Benin, 1-34.
- Saizonou J., Ouendo E.M., Agueh V., Tokplonou E., Makoutodé M. (2014). Évaluation de la qualité de la gestion des déchets biomédicaux solides dans la zone sanitaire Klouekanme-Toviklin-Lalo au Bénin. *J. Int. Santé Travail*, 1: 1-11.
- Saravpreet K., Kuldeep S. K., Jasjit K. K. (2018). Heavy metal induced histopathological alterations in liver, muscle and kidney of freshwater cyprinid, *Labeo rohita* (Hamilton). *J. Entom. Zool. Studies*, 6: 2137-2144.
- Satchi S.P.A., Yaou I.B. (2016). Evaluation of the knowledge and implementation of good hygiene practices by the riparian populations of Nokoué lake (South-Benin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10: 1823-1831.
- Soclo H.H. (2003). Étude de l'impact de l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides par les populations riveraines sur les écosystèmes (eaux de surface, substrat des réserves de faune) dans les complexes des aires protégées de la Pendjari et du W. Rapport d'étude. Cotonou: Cenagref.
- Tabinda A.B., Hussain M., Ahmed I., Yassar A. (2010). Accumulation of toxic and essential trace metals in fish and prawns from Keti Bunder Thatter District, Sindh. *Pakistan J. Zool.*, 42: 631-638.
- Talisma K., Al-Emran Md., Rahman R.S., Hassan J., Ferdous Z., Rohani M.F., Shadjahan Md. (2022). Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish - A review. *Toxicol. Rep.*, 9: 858-868.
- Tarantini A. (2009). Modulation de la génotoxicité des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en mélanges. Thèse de doctorat en biologie de l'Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 175 p.
- Tossou E.S. (2001). Impact du trafic de produits pétroliers sur les écosystèmes lacustres: cas du lac Nokoué et de la lagune de Cotonou, Mémoire de DEA Université d'Abomey-Calavi, 111p.
- Villanueva M.C.S. (2004). Biodiversité et relations trophiques dans quelques milieux estuariens et lagunaires de l'Afrique de l'Ouest: Adaptations aux pressions environnementales. PhD, Institut National Polytechnique de Toulouse, 272 p.
- Vodougnon M.H.B. (2015). Impacts des activités anthropiques sur la qualité de l'eau et des poissons pêchés dans le complexe lagunaire Lac Nokoué - Lagune de Porto-Novo. Mémoire master en pêche et aquaculture. 83p.
- Wessel N., Rousseau S., Caisey X., Quiniou F., Akcha F. (2007). Investigating the relationship between embryotoxic and genotoxic effects of benzo[a]pyrene, 17[alpha]-ethinylestradiol and endosulfan on *Crassostrea gigas* embryos. *Aquat. Toxicol.*, 85: 133-142.
- Yèhouénou A.P.E. (2005). Les résidus de pesticides chimiques de synthèse dans les eaux, les sédiments et les espèces aquatiques du bassin versant du fleuve Ouémé et du lac Nokoué. Thèse de doctorat unique de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 217p.
- Yehouenou A., Pazou E, Lalèye P., Boko M., Van Gestel C.A.M., Ahissou H., Akpona S., Van Hattum B., Swart K., Van Straalen N.M. (2006). Organochlorine and organophosphorous pesticide residues in the Ouémé River catchment in the Republic of Bénin. *Environ. int.*, 32: 616-623.
- Yèhouénou E.A.P., Adamou R., Azéhoun P.J., Edoh P.A., Ahoyo T. (2013). Monitoring of heavy metals in the complex Nokoué lake - Cotonou and Porto-Novo lagoon ecosystem during three years in the Republic of Benin. *Res. J. Chem. Sci.*, 3: 7.
- Yèhouénou E.A.P., Azéhoun P., Edoh P., van Straalen N.M., van Hattum B., van Gestel C.A.M. (2013). Health risks associated with pesticide residues in sediments, fish, and plants from the Ouémé valley in the Republic of Benin. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 65: 260-265.
- Youssao A., Soclo H.H., Bonou C., Vianou K., Gbaguidi M., Dovonon L. (2011). Evaluation de la contamination de la faune ichthyenne dans le complexe lagunaire Nokoué - chenal de Cotonou par le plomb: cas des espèces *Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guineensis* et *Hemichromis fasciatus* (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5: 595-602.
- Zoffoun Y.S.T. (2019). Évaluation de la contamination au mercure des sédiments et répartition des huîtres dans le complexe lagunaire chenal de Cotonou-lac Nokoué au Bénin. Rapport de fin de formation. EPAC- Aménagement et Protection de l'Environnement., 70p.

Sélection de végétaux adaptés aux terrasses des bâtiments en fonction de leur croissance

Naoual RAOUJ¹, My Chérif HARROUNI¹, Lahoussaine BAAMAL¹, Noureddine BENAODA TLEMÇANI¹

(Reçu le 22/06/2023; Accepté le 13/08/2023)

Résumé

Cet article aborde la sélection de plantes adaptées aux conditions climatiques des terrasses végétalisées. Beaucoup d'espèces de plantes peuvent être utilisées, mais à travers ce projet de recherche on sélectionnera en premier lieu les plantations qui résistent aux conditions des terrasses, qui exigent un entretien réduit et qui résistent à la sécheresse. Des essais ont été effectués pour choisir des végétaux parmi plusieurs espèces à planter sur la terrasse du bâtiment, selon les critères d'adaptation au climat de la terrasse. À partir d'une liste large des plantes à potentialités d'utilisation sur les terrasses, nous avons choisi six espèces: *Sedum acre* vert foncé, *Sedum spurium*, *Sedum rupestre* "Angelina", *Sedum rubrotineturn*, *Echeveria australis* rose et *Kalanchoe thyrsiflora* sur lesquelles nous avons mené une expérimentation de comparaison sur la base de résistance à la sécheresse, de vitesse de croissance verticale et latérale en vue d'arrêter la liste des plantes à utiliser sur la terrasse à végétaliser. Les espèces retenues selon les critères précédents sont *Sedum rupestre* "Angelina", *Echeveria australis* rose et *Kalanchoe thyrsiflora*. La distance de plantation sur une année pour une couverture totale de la terrasse est de 17,1 cm; 10,2 cm et 48,1 cm, respectivement pour *Sedum rupestre*, *Kalanchoe thyrsiflora* et *Echeveria Australis* Rose.

Mots-clés: Terrasse végétalisée, croissance végétative, végétalisation, plantation

Selection of plants adapted to the terraces of buildings according to their growth

Abstract

This article discusses the selection of plants adapted to the climatic conditions of vegetated terraces. Many plant species can be used, but this research project will primarily select plants that are adapted to terrace conditions, low maintenance and drought resistant. Trials were carried out to select plants from several species to plant on the terrace of the building, according to the criteria of adaptation to the climate of the terrace. From a large list of plants with potential for use on terraces, we chose six species: *Sedum acre* dark green, *Sedum spurium*, *Sedum rupestre* "Angelina", *Sedum rubrotineturn*, *Echeveria australis* rose and *Kalanchoe thyrsiflora* on which we conducted a comparison experiment on the basis of drought resistance, rate of vertical and lateral growth in order to decide on the list of plants to be used on the terrace to be revegetated. The selected species according to the previous criteria are *Sedum rupestre* "Angelina", *Echeveria australis* rose and *Kalanchoe thyrsiflora*. Planting distance over one year for full patio coverage is 17.1 cm; 10.2 cm and 48.1 cm, respectively for *Sedum rupestre*, *Kalanchoe thyrsiflora* and *Echeveria Australis* Rose.

Keywords: Vegetated terrace, vegetative growth, revegetation, planting

INTRODUCTION

Au Maroc, la végétalisation des toitures nécessite des améliorations professionnelles, concernant les travaux relatifs à la mise en œuvre d'un procédé d'étanchéité avec végétalisation légère. Il s'agit d'un ensemble composé en premier, d'un complexe d'étanchéité qui comporte un revêtement d'étanchéité résistant à la pénétration des racines placé sur ou sous un isolant thermique éventuel. En deuxième, un système de végétalisation composé de plantes adaptés et de l'ensemble des matériaux qui permettent le développement pérenne de la couche végétale qui assure la protection du revêtement d'étanchéité. Il a les fonctions complémentaires suivantes:

- Une fonction environnementale (amélioration de la qualité de l'air en ville, climat de ville / limitation du réchauffement climatique, amélioration de la biodiversité);
- Une fonction de régulation des eaux pluviales urbaines;
- Une fonction de confort (thermique, acoustique, esthétique).

Les avantages d'une toiture-terrasse végétalisée

Une toiture végétalisée est une excellente solution d'isolation thermique. Elle permet de réduire de près de 40% les variations de température. De cette façon, on économise en chauffage en hiver et en air conditionné en été. Sur une toiture-terrasse avec revêtement bitumeux, la température

peut grimper jusqu'à 70°C en été, contre environ 37°C pour un toit végétalisé. De plus, en été, la toiture plantée permet d'humidifier l'air desséché.

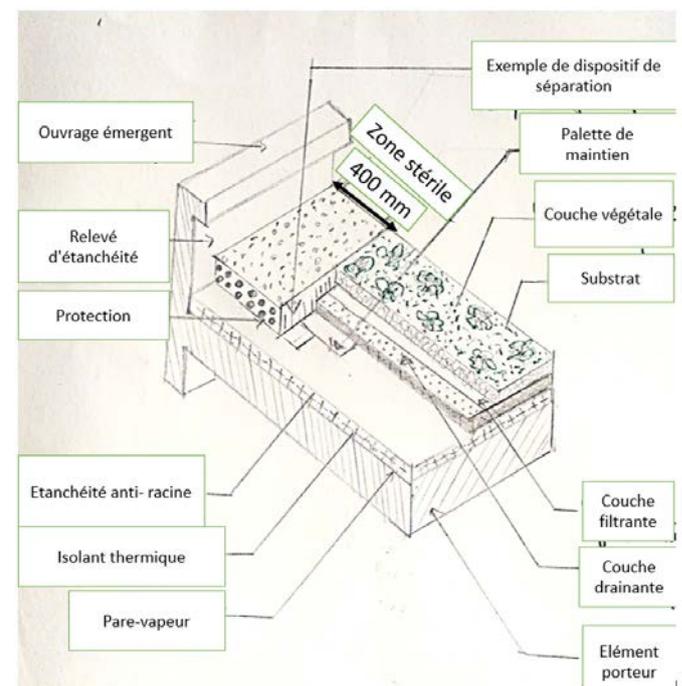


Figure 1: Schéma de principe d'une toiture végétalisée
(Source: <https://e-paysages.fr/paysagiste/toiture-vegetale-la-tendance-verte/>)

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

Du fait que la terre est également un excellent isolant thermique et phonique et que le tapis végétal assure une diminution des nuisances sonores, une toiture-terrasse végétalisée permet d'avoir des qualités acoustiques importantes. Une toiture végétalisée réduit les risques d'inondation. Elle retient l'eau de pluie, favorise l'évapotranspiration et régule le ruissellement vers le réseau de la ville. Effectivement, elle assure un meilleur drainage des eaux pluviales et une réduction de la vitesse de ruissellement.

Une toiture végétalisée produit de l'oxygène. Ainsi, elle réduit les émissions de gaz à effets de serre. Elle offre également une belle esthétique au toit et une certaine originalité.

Les exigences d'une toiture-terrasse végétalisée

Contrairement à un toit classique, une toiture végétalisée demande un savoir-faire pour sa conception et nécessite un entretien adapté. Certains végétaux nécessitent un système d'arrosage en période sèche et chaude. L'ajout d'un substrat et de végétaux nécessite une structure suffisamment forte du toit et une étanchéité parfaite. La détection de fuite ou de fissures sous la couche épaisse de substrat ne peut se faire que par un professionnel.

Techniquement, toutes les plantes peuvent pousser sur les toits mais certaines peuvent nécessiter des soins constants pour les préserver d'un soleil permanent, du gel et des grands vents. Dans la plupart des cas, la végétation ne sera qu'herbacée ou arbustive. Elle sera choisie en fonction du climat de la région, de l'ensoleillement, de la pente du toit, de l'épaisseur du substrat, etc.

Pour les substrats les plus minces, idéalement les végétaux devraient être choisis parmi la flore adaptée vivace xérophyte et litho-phytique qui est naturellement très résistante aux variations locales des paramètres climatiques. Elles s'implanteront rapidement pour couvrir les surfaces réduisant l'assèchement du substrat par le soleil et le vent. Pour des épaisseurs de sols plus importantes, les plantes alpines, succulentes et rudérales conviennent bien aussi généralement à cet usage.

MÉTHODOLOGIE

Le site d'étude

Il s'agit de la terrasse du bâtiment J, située dans la ville de Rabat à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (Figure 1).

Le type de végétalisation

Il s'agit donc d'une végétalisation extensive, semi intensive ou intensive, selon la distinction des spécificités des systèmes de végétalisation des terrasses et toitures, présentée par le tableau 1.

Tableau 1: Comparatif des spécificités des systèmes de végétalisation des terrasses et toitures

Types de toitures végétalisées	Illustration	Épaisseur du substrat
Extensive	 Végétalisation extensive	De 5 à 10 cm
Semi-intensive	 Végétalisation semi-intensive	De 10 à 25 cm
Intensive	 Végétalisation intensive	> 25 cm



Figure 1: Situation de la terrasse d'étude au sein de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

Les essais de végétalisation que nous avons effectués sur notre terrasse est basée sur des épaisseurs de substrat de 5 à 10 cm. Il s'agit donc d'une végétalisation extensive.

Protocole expérimental

Le protocole expérimental a pour but la sélection d'une liste de plantes adaptatifs aux terrasses végétalisées, et déterminer la distance de plantation adéquate selon les espèces, afin de réussir une couverture totale de la terrasse sur une année.

On a mesuré la croissance de six espèces différentes, choisies parmi les végétaux des terrasses végétalisées. Les mesures de croissance en hauteur et en largeur ont été effectuées durant une année, du 7 Mai 2020 au 7 Mai 2021. Toutes les mesures sont prises à l'aide d'un mètre ruban de 150 mètres.

Les plantes couvre-sols sont classées en premier choix car elles présentent plusieurs avantages. On cite principalement le fait de laisser peu de place aux herbes sauvages ou indésirables et de réduire l'entretien.

Le tableau 2 liste quelques végétaux utilisés en toitures végétalisées. Une association harmonieuse ou un mélange adéquat de plantes sélectionnées est possible sur la base des plantes présentées (Tableau 2).

Le tableau 3 présente les principaux végétaux à éviter en toitures végétalisées.

Le choix des végétaux à utiliser sur la terrasse du Bâtiment J, doit prendre en compte:

- La localisation géographique du site avec ses paramètres (sécheresse, gel, ensoleillement, altitude, ...);
- La présence ou non d'un arrosage automatique sur la toiture;
- La disponibilité des plantes selon la saison;
- L'adéquation entre conditionnement des végétaux, épaisseur de substrat et densité de plantation.

Tableau 3: Les végétaux interdits en toitures végétalisées

Nom commun	Genre	Espèce
Toutes les espèces de bambou dont:	Bambusa	<i>arundinacia</i>
		<i>fargesia</i>
		<i>phyllostachys</i>
		<i>pleioblastus</i>
		<i>pseudosasa</i>
		<i>sinarundinaria</i>
		<i>oligostachyum</i>
		<i>drepanostachyum</i>
		<i>chimonobambusa</i>
		<i>crachystachium</i>
		<i>borinda</i>
		<i>olmeca</i>
		<i>otatea</i>
<i>ochlandra</i>		
<i>sasa</i>		
<i>yushania</i>		
<i>shibataea</i>		
Canne de Provence	<i>Arundo</i>	<i>donax</i>
Roseau (Noms synonymes)	<i>Phragmites</i>	<i>australis</i> <i>communis</i> <i>vulgaris</i> <i>longivalvis</i>
	<i>Arundo</i>	<i>phragmites</i> <i>australis</i> <i>vulgaris</i>
Elime / Lime grass	<i>Leymus</i>	<i>racemosus</i>
Spartine	<i>Spartina</i>	<i>pectinata</i>
Renouée du Japon	<i>Reynoutria</i>	<i>japonica</i>
Renouée amphibie	<i>Polygonum</i>	<i>amphibium</i>
Renouée maritime	<i>Polygonum</i>	<i>maritimum</i>
Renouée à épis	<i>Polygonum</i>	<i>polystachyum</i>

Tableau 2: Les plantes utilisés en terrasses végétalisées

Les types de plantes	Les genres
Couvre-sols	Les sedums
	Les gypsophiles
	Les thyms
	Les œillets
	Les jubarbes
Graminées	La fétuque bleue (<i>Festuca glauca</i>)
	La fétuque améthyste (<i>Festuca amethystina</i>)
Plantes fleuries	Les iris nain comme l' <i>Iris pumila</i>
	Les alliums comme la ciboulette
	Le gazon d'Espagne ou armérie maritime (<i>Armeria maritima</i>)
	Le géraniums sanguin (<i>G. sanguineum</i>)
	Les origans
Plantes vertes	La corbeille d'argent (<i>Iberis sempervirens</i>)
	Les armoises
Plantes diverses	Les cactées <i>Kalanchoe</i> <i>Echeveria</i>

Sedums

Le protocole expérimental est basé, en premier lieu sur le choix des listes des végétaux de type Sedums utilisés en toitures extensives (5 à 10 cm d'épaisseurs). Les données précédentes des végétaux qui peuvent être utilisés en terrasse végétalisée, nous a permis d'arrêter une liste de quatre espèces principales qui répondent aux exigences des terrasses végétalisées. Les quatre espèces sont (Tableau 4):

Sedum acre vert foncé

Sedum spurium

Sedum rupestre «Angelina» (Figure 2)

Sedum rubrotinctum

Echeverias

Dans le but d'arrêter une liste des espèces d'*Echeveria* les plus adaptées aux conditions des terrasses, on a utilisé en expérimentation l'espèce *Echeveria australis* Rose (Figure 3).

Kalanchoés

Dans le but d'arrêter une liste des espèces de Kalanchoés les plus adaptés aux conditions des terrasses végétalisées, on a utilisé en essai l'espèce *Kalanchoe thyrsiflora* (Figure 4).



Figure 2: *Sedum rupestre* «Angelina» ou *Sedum reflexum*



Figure 3: *Echeveria australis* Rose



Figure 4: *Kalanchoe thyrsiflora* en terrasse

Tableau 4: Les quatre espèces de *Sedum* utilisées sur terrasse

<i>Sedum acre</i> vert foncé	<i>Sedum spurium</i>	<i>Sedum rupestre</i> "Angelina"	<i>Sedum rubrotinctum</i>
			

RÉSULTAT ET DISCUSSION

D’après la comparaison des différentes caractéristiques des espèces de *Sedum*, on a opté pour une liste de plantes à utiliser sur la terrasse du bâtiment J. Le choix est fait sur plusieurs critères, on cite principalement: La résistance à la sécheresse, la croissance horizontale et verticale rapide, et le poids global qui ne doit pas être très lourd.

Les sedums, les Echeverias et les Kalanchoés sont classés parmi les premiers choix grâce à leur adaptation aux conditions des terrasses.

Après plusieurs essais de plantations de quelques espèces d’*Echeveria* dans des conditions d’économie d’eau, et après des mesures de croissance en hauteur et en largeur, on a choisi une seule espèce d’*Echeveria*: *Echeveria australis* rose, grâce à sa résistance à la sécheresse, on l’irrigue une ou deux fois par semaine, son épaisseur de substrat qui varie entre 8-12 cm, et sa croissance importante dans toutes les directions.

La terrasse de l’expérimentation est exposée au soleil durant toute la journée. Elle est prise en vent, ce qui est une contrainte dans le choix des végétaux.

Les trois espèces choisies sont:

Sedum rupestre «Angelina» ou *Sedum reflexum*

Kalanchoe thyrsiflora

Echeveria australis Rose

Évolution de la croissance horizontale en fonction de la croissance verticale des trois espèces sélectionnées

Droite de régression linéaire entre la croissance horizontale et la croissance verticale du *Sedum rupestre*

On souhaite estimer la croissance horizontale du *sedum rupestre* si on prévoit une croissance verticale du *sedum rupestre* de 8 cm, 14 cm et 16 cm. (Tableau 3).

D’après la droite de régression entre la croissance horizontale et la croissance verticale du *Sedum rupestre* (Figure 5), on déduit que la croissance horizontale du *Sedum rupestre* est importante et plus rapide par rapport à la croissance verticale. Un centimètre de croissance en hauteur correspond aux 3,88 cm de croissance en largeur durant les premiers six mois de plantation. (31,0:8). Après 18 mois de plantation le taux de croissance diminue à 2,61 cm de croissance horizontale pour chaque centimètre de croissance verticale.

Droite de régression linéaire entre la croissance horizontale et la croissance verticale du Kalanchoé thyrsiflora

On souhaite estimer la croissance horizontale du *Kalanchoe thyrsiflora*, si on prévoit une croissance verticale du *Kalanchoe thyrsiflora* de 11 cm, 15 cm et 21 cm (Tableau 4).

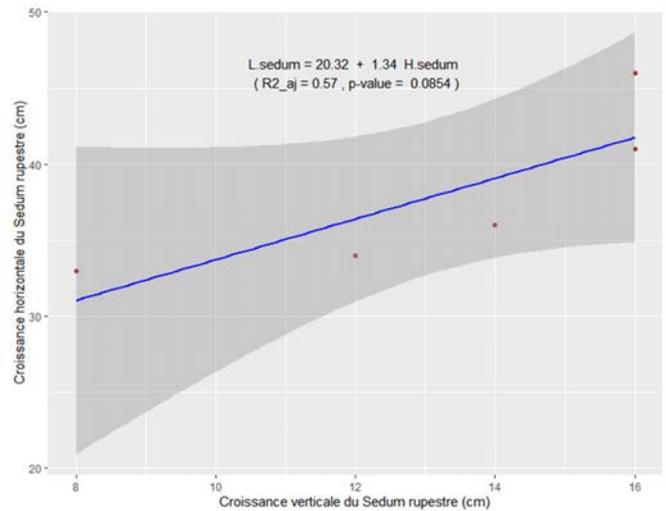


Figure 5: La croissance horizontale en fonction de la croissance verticale du *Sedum rupestre*

D’après la droite de régression entre la croissance horizontale et la croissance verticale du *Kalanchoe thyrsiflora* (Figure 6), on déduit que la croissance horizontale du *Kalanchoe thyrsiflora* est élevée par rapport à la croissance verticale. Un centimètre de croissance en hauteur correspond aux 1,18 cm de croissance en largeur durant les premiers six mois de plantation. (12,9:11= 1,18 cm). Après 18 mois de plantation, le taux de croissance augmente à 1,32 cm de croissance horizontale pour chaque centimètre de croissance verticale.

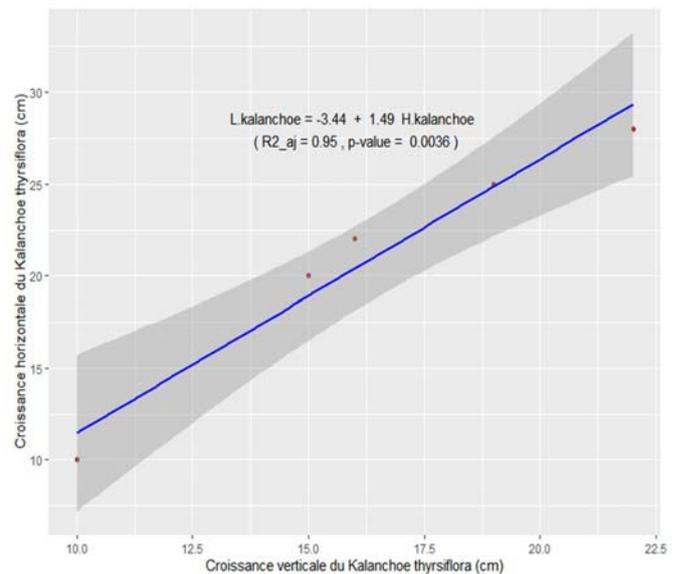


Figure 6: La croissance horizontale en fonction de la croissance verticale du *Kalanchoe thyrsiflora*

Tableau 3: Estimation de la croissance horizontale du *sedum rupestre* à partir de la croissance verticale

Croissance verticale du <i>Sedum rupestre</i> en cm	Croissance horizontale du <i>Sedum rupestre</i> en cm
8	31,0
14	39,1
16	41,8

Tableau 4: Estimation de la croissance horizontale du *Kalanchoe thyrsiflora* à partir de la croissance verticale

Croissance verticale du <i>Kalanchoe thyrsiflora</i> en cm	Croissance horizontale du <i>Kalanchoe thyrsiflora</i> en cm
11	12,9
15	18,9
21	27,8

Droite de régression linéaire entre la croissance horizontale et la croissance verticale d'*Echeveria australis* Rose

On souhaite estimer la croissance horizontale d'*Echeveria australis* Rose, si on prévoit une croissance verticale d'*Echeveria australis* Rose de 6 cm, 14 cm et 22 cm. (Tableau 5).

D'après la droite de régression entre la croissance horizontale et la croissance verticale d'*Echeveria australis* Rose (Figure 8), on déduit que la croissance horizontale d'*Echeveria australis* Rose est inférieure par rapport à la croissance verticale. Un centimètre de croissance en hauteur correspond aux 0,87 cm de croissance en largeur durant les premiers six mois de plantation. ($5,24:6=0,87$ cm). Après 18 mois de plantation le taux de croissance augmente à 1,96 cm de croissance horizontale pour chaque centimètre de croissance verticale.

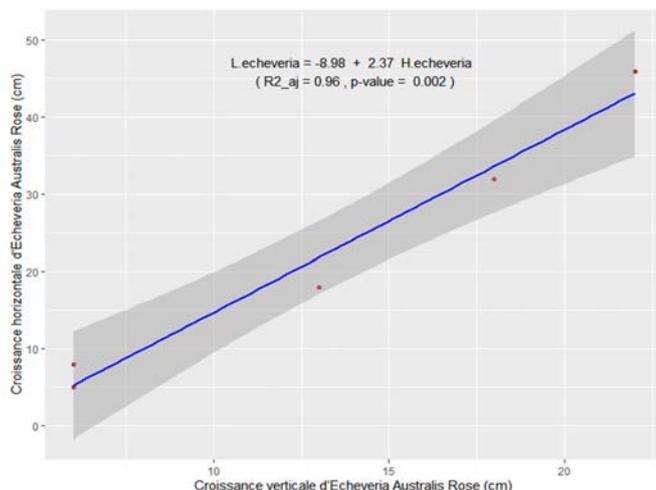


Figure 7: La croissance horizontale en fonction de la croissance verticale d'*Echeveria australis* Rose

Détermination de la distance de plantation adéquate pour une couverture totale de la terrasse sur une année

Sedum rupestre

La vitesse de croissance horizontale du *sedum rupestre* est 4 cm par mois [46 cm - 36 cm = 10 cm de croissance en largeur divisé par 7 mois] (Tableau 6). On a choisi une distance de plantation des *sedums rupestres* de 50 cm de toutes directions (Figure 9). Donc pour une distance de plantation de 50 cm, on a besoin de 35,2 mois (50 cm divisé par 1,42 cm = 35,2 mois = 2,93 années).

Tableau 5: Estimation de la croissance horizontale d'*Echeveria australis* Rose à partir de la croissance verticale

Croissance verticale d' <i>Echeveria australis</i> Rose en cm	Croissance horizontale d' <i>Echeveria australis</i> Rose en cm
6	5,24
14	24,2
22	43,2

Tableau 6: Mesures de la croissance horizontale en cm des trois espèces choisis durant une année

Date de mesure	Croissance horizontale en cm		
	<i>Sedum rupestre</i>	<i>Kalanchoe thyrsiflora</i>	<i>Echeveria australis</i> Rose
07-mai-20	33	10	5
15-juil-20	34	20	8
07-oct-20	36	22	18
15-févr-21	41	25	32
07-mai-21	46	28	46

La distance de plantation du *Sedum rupestre* sur une année pour une couverture totale de la terrasse est 17,1 cm.



Figure 8: Distance de plantation pour le *Sedum rupestre* en terrasse

Kalanchoes thyrsiflora

La vitesse de croissance horizontale du *Kalanchoe thyrsiflora* est 0,85 cm par mois [28 cm - 22 cm = 6 cm de croissance en largeur divisé par 7 mois] (Tableau 6). On a choisi une distance de plantation du *Kalanchoe thyrsiflora* de 50 cm de toutes directions. Donc, pour une distance de plantation de 50 cm, on a besoin de 58,8 mois (50 cm divisé par 0,85 cm = 58,8 mois = 4,9 années).

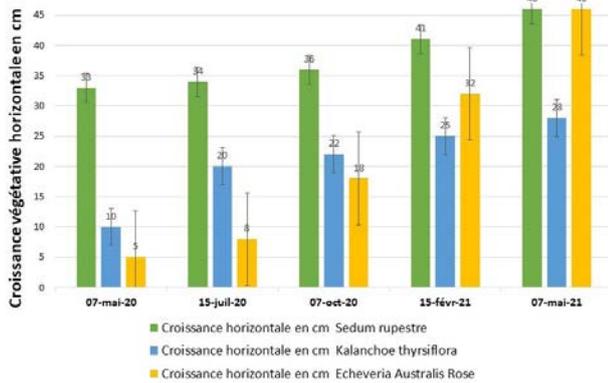
La distance de plantation du *Kalanchoe thyrsiflora* sur une année pour une couverture totale de la terrasse est 10,2 cm.

Echeveria australis Rose

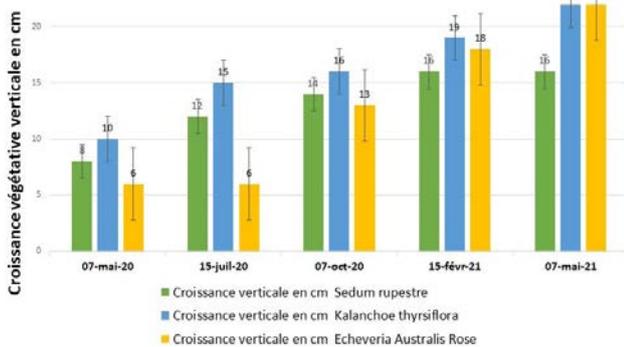
La vitesse de croissance horizontale d'*Echeveria australis* Rose est 4 cm par mois [46 cm - 18 cm = 28 cm de croissance en largeur divisé par 7 mois] (Tableau 6). On a choisi une distance de plantation d'*Echeveria australis* Rose de 50 cm de toutes directions. Donc pour une distance de plantation de 50 cm, on a besoin de 12,5 mois (50 cm divisé par 4 cm = 12,5 mois = 1,04 années).

La distance de plantation du d'*Echeveria australis* Rose sur une année pour une couverture totale de la terrasse est 48,1 cm.

La croissance végétative horizontale des trois espèces sélectionnées: *Sedum rupestre*, *Kalanchoe thyrsiflora*, *Echeveria Australis Rose*



La croissance végétative verticale des trois espèces sélectionnées: *Sedum rupestre*, *Kalanchoe thyrsiflora*, *Echeveria Australis Rose*



CONCLUSION

Les plantes qui peuvent être utilisées en terrasses végétalisées sont très variées. Les terrasses végétalisées extensives sont les plus répandues comme type de végétalisation en terrasse, grâce à leur substrat qui ne dépasse pas 12 cm de profondeur. Dans ce projet de recherche, on a essayé d'arrêter une liste des végétaux des terrasses végétalisées soumis à des essais de croissance sur terrasse. La liste définitive contient principalement: *Sedum rupestre* «*Angelina*» ou *Sedum reflexum*, *Kalanchoe thyrsiflora*, et *Echeveria australis* Rose.

Pour une année de plantation:

Le taux de croissance du *Sedum rupestre* est de 2,61 cm de croissance horizontale pour chaque centimètre de croissance verticale. Le taux de croissance du *Kalanchoe thyrsiflora* est de 1,32 cm de croissance horizontale pour chaque centimètre de croissance verticale. Le taux de croissance d'*Echeveria australis* Rose est 1,96 cm de croissance horizontale pour chaque centimètre de croissance verticale.

Les distances de plantation du *Sedum rupestre*, *Kalanchoe thyrsiflora* et *Echeveria australis* Rose, sur une année pour une couverture totale de la terrasse sont successivement: 17,1 cm, 10,2 cm et 48,1 cm.

RÉFÉRENCES

Esther Lapierre, Stéphanie Pellerin (2018). Portrait des infrastructures vertes et des ouvrages phytotechnologiques dans l'agglomération de Montréal. «<https://www.phytotechno.com/wp-content/uploads/2019/02/Infrastructures-vertes-de-1%C3%AEle-de-Montr%C3%A9al.pdf>», [En ligne, consulté le 6 Mars 2023]

Toitures végétalisées et toitures-terrasses jardins, Siplast: «https://assets.ctfassets.net/h1lj96ycs4pf/1k25gDnOjPm6F6aFpxRcLE/28314f90539c26c6f8866a9954ea4f52/Toitures_et_terrasses_inaccessibles_ve_ge_talise_es.pdf», [En ligne, consulté le 2 Février 2023].

Le sedum pour vos toitures végétalisées. https://www.ecovegetal.com/wp-content/uploads/2019/08/2018-03-18-Fiche-resource_sedum.pdf, [En ligne, consulté le 10 Janvier 2023].

Chloé Frédette (2022). Inventaire des infrastructures végétalisées au Québec. Québec Vert, Québec, Canada.

A. Potvin (2021). Des bâtiments verts et intelligents pour la santé globale et l'action sur les changements climatiques: Une vision numérique intégrée pour la transformation durable du milieu bâti. Mémoire déposé dans le cadre de l'étape 1 de la Consultation publique de la SQI sur le Bâtiment vert et intelligent (BVI). Université Laval. 13 p.

H. Cheminade (2020). Le végétal, facteur d'appropriation des toits terrasses. Mémoire de fin d'études, 60 p.

Bongartz, Julien (2019). Construction durable au 21^{ème} siècle, mythe ou réalité? Approche critique: transition, low tech, résilience. Mémoire de fin d'études. Université de Liège – faculté d'architecture, Belgique. 110 p.

Y. Dusza (2017). Toitures végétalisées et services écosystémiques: favoriser la multifonctionnalité via les interactions sols-plantes et la diversité végétale. Thèse de Doctorat en Écologie, Environnement. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 209 p.

J. Ortiz Castaño (2017). L'écoconception de bâtiments et de matériaux de construction face aux défis des territoires durables: l'échelle des écoquartiers, perspectives et définition des indicateurs. Géographie. Université Grenoble Alpes, Institut de Géographie Alpine. 57 p.

Too L. (2011). Les bâtiments écologiques: rêve ou cauchemar pour les gestionnaires de biens?. *Télescope*, 17: 228-238.

Commission de l'aménagement du territoire (2011). Avant-projet de loi: Loi sur l'aménagement durable du territoire et l'urbanisme. Mémoire de la Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec. Québec, Canada.