

Université Badji Mokhtar Annaba . Algérie

e-ISSN : 2352-9717

Direction des Publications



Symthèse

Revue
des Sciences
et de la Technologie

ISSN - 1111 - 4924

Volume 29
Numéro 01 , Juin 2023

Section A (Maths, Chemistry, Physics, Computer Science)
Section B (Natural, Life Sciences and Medicine)
Section C (Earth Sciences, Mining and Architecture)
Section D (Engineering Sciences)

Journal Director

Pr. Mohamed Manaa
Recteur de l'Université Badji Mokhtar – Annaba

Publication Director

Pr Kamel Chaoui

Editor in chief

Pr Kamel Chaoui

Editorial Board

Pr. Souad Djerad
[Faculty of Engineering Sciences, Process Engineering Department.](#)
Pr. Hichem Kara
[Faculté des Sciences , Département des Sciences de la Mer](#)
Pr Fatma zohra Nouri
[Faculty of Sciences, Department of Marine Sciences](#)
Pr. Malika Berredjem
[Faculty of Sciences, Department of Chemistry.](#)
Pr. Ali Gasmi
[Faculty of Sciences, Physics Department.](#)
Pr. Zine Kechrid
[Faculty of Sciences, Department of Biology.](#)
Pr. Kamel Djeghaba
[Faculty of Engineering Sciences, Mechanical Department.](#)
Pr. Mohamed Tarek Khadir
[Faculty of Engineering Sciences, Computer Science Department.](#)
Pr. Noureddine Doghmane
[Faculty of Engineering Sciences, Electronics Department.](#)
Pr. Azzedine Hani
[Faculty of Earth Sciences, Geology Department.](#)

Secretary

M^{me} Wided Bouteraa
[IT engineer](#)

Rédaction et Administration

Direction des Publications,
University Badji Mokhtar,
BP 12, Annaba, 23000, Algeria.
Tel/Fax : 213 (0) 38 57 00 04
E-mail : revue.synthese@gmail.com

HOMMAGE AU REGRETTÉ
PROFESSEUR MOUSSA BENHAMZA



La date du lundi 22 Mai 2023 a vu la disparition de notre cher et regretté collègue, le Professeur Moussa BENHAMZA, membre du Comité de Rédaction de la Revue des Sciences et de Technologie de l'Université Badji Mokhtar d'Annaba (SYNTHÈSE). Ti est décédé au sein de notre université en train de s'acquitter de ses taches pédagogiques. Il a longuement œuvré pour rehausser le niveau de SYNTHÈSE en réalisant des expertises et en apportant ses réflexions constructives sur le domaine ses compétences à savoir l'eau, la pollution et la géologie des sols.

Il a occupé plusieurs postes dans sa Faculté (Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers). Il a encadré plusieurs thèses de doctorat sur des thèmes relatifs à la pollution des sols et des eaux. Particulièrement, il a travaillé sur la pollution des eaux par le mercure dans la région d'Essebt (Azzaba, W. Skikda). Il reste l'un des spécialistes de cette question en Algérie vu les travaux de recherche qu'il a entrepris.

Le Professeur Benhamza était un enseignant simple, accueillant et disponible pour des étudiants et ses collègues. Il était serviable et plein de convivialité. Il était patient, bienveillant et toujours prêt à écouter et à soutenir ceux qui avaient besoin de son aide. Sa disparition soudaine a laissé un vide immense dans les cœurs de ses collègues de la Direction des Publications et la Faculté.

En cette douloureuse occasion, un vibrant hommage lui est rendu et la Direction lui dédie le Numéro de Juin 2023 de la Revue SYNTHÈSE.

La Direction des Publications.

Sommaire

Évaluation de l'activité antimicrobienne l'huile essentielle de la lavande (*Lavandula stoechas*)

Manel Lina Djendi, Chahrazed Benzaid, Karima Bouguerra et Mahfoud Djebien.....1

Diversité et structure des formations végétales de la forêt communautaire d'Alibi-1 au Togo

Atakpama Wouyo, Egbelou Hodabalo, Kombate Bimare, Biaou Séverin, Batawila Komlan et Akpagana Koffi.....6

Physiochemical characterization of a biosurfactant produced by bacteria isolated from pharmaceutical process water

Abed Belkacemi, Soumia Seddari et Nadji Moulai-Mostefa.....21

Morphology and sexual dimorphism of the Salema *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758) on Annaba coasts

Lilia Labiba Groud, Ali Becheker, Mohamed Hichem Kara et Lamya Chaoui28

Study of the electrochemical behavior of Al-Zn-In based sacrificial anodes in sea water

H. Ferkous, A. Dilemi, A. Abdennouri, S.I.R Malha.....36

Évaluation de l'activité antimicrobienne l'huile essentielle de la lavande (*Lavandula stoechas*)

Manel Lina Djendi¹, Chahrazed Benzaid¹, Karima Bouguerra² et Mahfoud Djebien²

¹Laboratoire de Chimie Organique Appliquée (LCOA)- Université Badji Mokhtar -Annaba

²Faculté de médecine - Université Badji Mokhtar -Annaba. BP 12, 23000 Annaba, Algérie.

Article Info	Résumé
Article history: Received 30/04/2023 Revised 31/05/2023/ Accepted 04/06/2023 Mots clés : <i>Lavandula stoechas</i> ; résistance microbienne ; huile essentielle ; activité antimicrobienne.	La multi-résistance microbienne pose de grands problèmes pour la santé publique. À cet effet, il ne reste que peu d'agents antimicrobiens effectifs contre certains microbes multi-résistants. Ce qui a pour conséquence majeure la recherche de nouveaux produits antimicrobiens. Cette étude vise l'évaluation de l'activité antimicrobienne l'huile essentielle de la <i>Lavandula stoechas</i> largement utilisée en médecine traditionnelle algérienne. Ainsi, des tests de sensibilité sur des microorganismes ont été effectués sur quatre souches bactériennes cliniques multi résistantes (<i>Escherichia coli</i>, <i>Klebsiella pneumoniae</i>, <i>Pseudomonas aeruginosa</i>, <i>Staphylococcus aureus</i>) et une levure (<i>Candida albicans</i>) en utilisant la technique des disques. Les résultats révèlent que l'huile essentielle extraite à partir des fleurs de <i>Lavandula stoechas</i> exerce une importante activité vis-à-vis d'<i>Escherichia coli</i>, <i>Klebsiella pneumoniae</i> une activité inhibitrice modérée sur la croissance de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> et <i>staphylococcus aureus</i>, tandis qu'avec la levure <i>Candida albicans</i> une résistance est observée. Ces résultats démontrent que l'huile essentielle de <i>Lavandula stoechas</i> est une source prometteuse d'agents antimicrobiens, qui peut être adoptée à des fins thérapeutiques.
Corresponding Author : cbenzaid@gmail.com	

1. INTRODUCTION

La résistance aux antibiotiques est aujourd'hui un problème majeur de santé publique. L'augmentation de la résistance aux antibiotiques se traduit dans la pratique hospitalière par une augmentation de temps de séjour, la morbidité et de la mortalité ; ainsi que par l'apparition de microorganismes résistants à l'ensemble des antibiotiques disponibles, et ce par la création d'un mécanisme de protection [1]. Le fait que le nombre de microorganismes multi-résistants augmente, surgit une grande inquiétude que plusieurs antibiotiques deviendront inefficaces. D'où la nécessité de développement de nouveaux agents antimicrobiens [2].

L'utilisation thérapeutique des plantes pour le traitement de toutes les maladies de l'homme est très ancienne et évolue avec l'histoire de l'humanité [3]. En effet, il existe environ 500.000 espèces de plantes sur terre, dont 80.000 possèdent des propriétés médicinales [4].

Les *Lavandula* (un genre de la famille des Lamiacées), composées de 39 espèces et d'une large gamme de 400 cultivars, sont parmi les plantes les plus populaires récoltées pour la production d'huiles essentielles utilisées dans de nombreuses applications comme l'industrie alimentaire, cosmétique et de la parfumerie et sont surtout en aromathérapie, ou l'inhalation de leurs composés volatils soulagerait les symptômes du stress, de l'épuisement, des migraines, de l'anxiété, de l'insomnie et de la dépression [5].

Les huiles essentielles de *Lavandula* sont obtenues à partir de deux espèces principales : *L. angustifolia* mill. et *L. stoechas* L. L'huile essentielle de *L. angustifolia* est souvent utilisée dans l'industrie du parfum [4], tandis que l'huile essentielle de *L. stoechas* est principalement utilisée comme agent thérapeutique [6]. Les huiles essentielles de *Lavandula* présentent également des propriétés antimicrobiennes, anticholinestérasiques et antioxydantes, ce qui a conduit à leur utilisation en tant qu'ingrédients actifs dans les produits de traitement de la peau et pour la production de biopesticides [7]. D'où l'intérêt que porte notre étude à cette plante omniprésente dans la flore endémique algérienne en voulant évaluer l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle (HE) dans le but d'une éventuelle exploitation thérapeutique.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel végétal et extraction

La plante de *Lavandula stoechas* a été récoltée au mois de mars et d'avril de l'année 2021 en montagne de l'Edough-Séraïdi ; situées à l'ouest de la wilaya d'Annaba- Algérie. L'identification de l'espèce a été confirmée par Laboratoire de Recherche en Biologie Végétale et Environnement (LBVE), à l'université Badji Mokhtar-Annaba.



Figure 1. Photographie de *Lavandula stoechas*
(Benzaïd, Ch. Mont Edough-Annaba-

<http://www.maplandia.com/algeria/annaba/seraidi/>)

Les parties aériennes ont été cueillies, soigneusement lavées et séchées à l'abri de l'humidité et de la lumière. Une fois séchées, on a procédé à l'extraction de l'huile essentielle à partir des fleurs par hydro distillation sous micro-ondes sans solvant organique (ESSAM) selon la technique utilisée par Lucchensi Marie-Elisabeth [8] avec quelques modifications.

Elle consiste à placer le matériel végétal dans un ballon au sein d'un four micro-ondes sans ajout d'eau ou de solvant. Le chauffage interne de l'eau contenue dans la plante permet d'en dilater ses cellules et conduit à la rupture des glandes et L'HE ainsi libérée est évaporée avec l'eau de la plante.

Ce procédé a été mené sur 125g de fleurs de lavande, la puissance de chauffe des microondes est de 500W et le débit de vapeur est de 25 g/min. lors de l'extraction. Le rendement de la plante en huile essentielle a été évalué à l'issue de cette expérimentation avec la formule $R = (PB / PA) \times 100$, ou PB : la masse d'H.E obtenue. PA : la masse de la matière végétale sèche.

2.2. Matériel biologique

Les microorganismes utilisés dans cette étude sont consignés dans le tableau 1. Ce sont des isolats cliniques fournis par le service de réanimation chirurgicale du centre hospitalo- universitaire d'Annaba.

Tableau 1. Microorganismes utilisés

Souche	Famille	Gram	Provenance
<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterobacteriaceae</i>	Gram-	Dispositifs médicaux (sonde urinaire, cathéter) de patients hospitalisés en réanimation chirurgicale
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Enterobacteriaceae</i>	Gram-	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Pseudomonaceae</i>	Gram-	
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Staphylococcaceae</i>	Gram+	
<i>Candida albicans</i>	<i>Saccharomycetaceae</i>	/	

2.3. Préparation des milieux et des solutions

- Les milieux de culture

Les milieux de culture utilisés dans cette étude sont :

- Le milieu gélose Mueller-Hinton (MH) : pour l'ensemencement et l'étude de l'activité antibactérienne.
- Le milieu gélose Sabouraud : pour l'ensemencement et l'étude de l'activité antifongique

2.4. Évaluation de l'activité antimicrobienne :

• Préparation de l'inoculum

À partir d'une culture pure jeune de 18 à 24h sur le milieu d'isolement approprié, on prépare une suspension microbienne dont la densité optique est ajustée à 0,08 à 0,1 à 600 nm, correspondant à (10^8 UFC/mL) Mc Farland.

• Méthode de diffusion sur disque

Pour évaluer l'activité antimicrobienne de l'HE, nous avons adopté la méthode de diffusion appelée aussi aromagramme sur milieu gélosé en utilisant des disques de papier wattman n°6 stériles [9].

1. 100µl de la suspension microbienne sont étalés en surface de la gélose par la méthode d'inondation.
2. De façon aseptique, nous prélevons un disque qui sera ensuite imbibé avec 10µl d'HE et déposé sur la surface de la gélose (MH) et Sabouraud puis incubé à 37°C à l'étuve pendant 24 heures pour les bactéries et 48 heures pour les levures.
3. Pour le contrôle positif, on a utilisé des disques de Ceftazidime pour les bactéries et des disques imbibés avec l'amphotéricine B (fungizone. ®) pour les levures.

L'expérience est répétée en triplicatas pour chaque espèce microbienne.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'Extraction de l'huile essentielle

L'extraction de l'huile essentielle des fleurs de *Lavandula stoechas* de la région de Séraïdi -Annaba par hydrodistillation a fourni une huile d'un aspect : liquide limpide. Couleur : jaune pâle. Odeur : une odeur âcre caractéristique, avec un rendement de 1.83%.

Activité antimicrobienne

L'activité antimicrobienne par la méthode de diffusion sur milieu Muller Hinton et Sabouraud été évaluée en mesurant le diamètre des zones claires encore appelées zones d'inhibition avec une règle exprimée en millimètre. Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivant :

Tableau 2. Activité antifongique de l'Huile essentielle

Souche fongique	Diamètres des zones d'inhibition	
	HE	Amphotéricine B
<i>Candida albicans</i>	R	R

HE : Huile essentielle R : résistant

Tableau 3. Activité antibactérienne de l'Huile essentielle

Souches bactériennes	Diamètres des zones d'inhibition	
	HE	Ceftazidime
<i>Escherichia coli</i>	17mm	24mm
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	20mm	12mm
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	12.5mm	22.5mm
<i>Staphylococcus aureus</i>	13.5mm	40mm

HE : Huile essentielle

Les résultats sont exprimés par le diamètre de la zone d'inhibition (DZI) et peuvent être symbolisés par des signes d'après la sensibilité des souches vis-à-vis de l'huile essentielle [10]

- Non sensible (-) ou résistante : diamètre<8mm
- Sensible (+) : diamètre compris entre 9 à 14mm
- Très sensible (++) : diamètre compris entre 14 à 19mm
- Extrêmement sensible (+++) : diamètre>20mm

Les résultats présentés dans le tableau 2 montrent que *Candida albicans* a présenté une résistance nette contre l'HE de *Lavandula stoechas* extraite à partir des fleurs. Nos résultats ne corroborent pas avec les études réalisées où la levure *Candida albicans* présente une grande sensibilité à cette HE. [11,12,13].

Tandis que les résultats présentés dans le tableau 3 montrent que l'HE de *Lavandula stoechas* extraite à partir des fleurs exerce une activité inhibitrice modérée de la croissance de *Pseudomonas aeruginosa* et *staphylococcus aureus* et une importante activité vis-à-vis de la souche d'*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, nos résultats sont similaires à d'autres [11] qui ont constaté que les huiles essentielles de *L. stoechas* produit des diamètres de zone d'inhibition contre les mêmes espèces testées dans notre étude.

L'activité antimicrobienne de l'huile essentielle peut être attribuée principalement à son constituant majoritaire ainsi que la nature des souches microbiennes [11], par exemple les alcools terpéniques qui sont particulièrement actifs contre les cellules microbiennes car ils sont solubles dans des microorganismes [14]. De plus, possèdent une activité bactéricide plutôt que bactériostatique [15].

En se référant aux résultats présentés dans le tableau 2, on remarque que *Candida albicans* est résistante à notre HE et l'amphotéricine B (fungizone. ®). Cette résistance est probablement due à l'influence de plusieurs facteurs tels que, la résistance de la souche fongique testée, la nature et la concentration l'huile essentielle utilisée [16].

Nous avons remarqué qu'il n'y a pas une différence de sensibilité entre les bactéries à Gram+ et à Gram-. Ceci est en contradiction avec la majorité des travaux antérieurs [11,17,18,19]. Ces derniers confirment que les Gram+ sont plus sensibles à l'action antimicrobienne des l'HE que les Gram-. En fait, les Gram- possèdent une résistance intrinsèque aux agents biocides, qui est en relation avec la nature de leur paroi bactérienne [11].

Les mécanismes probables du pouvoir antimicrobien de l'HE de *L. stoechas* contre les bactéries sont basés sur le contact direct de ses composés hydrophobes avec la membrane cellulaire, et son pouvoir de répartir les phospholipides en les rendant plus perméables ce qui pourrait causer des dommages structuraux ou une rupture complète des membranes cellulaires et des pertes de nutriments [20].

En revanche, de rares publications rapportent qu'il n'existe aucun lien apparent, ni aucune corrélation entre l'activité anti microbienne de l'HE et la nature de la paroi bactérienne [21].

CONCLUSION

La thérapie via les plantes médicinales constitue une mine infaillible pour la santé publique où la diversité en propriétés biologiques est attribuée à une gamme extraordinaire de molécules bioactives. L'évaluation in vitro l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Lavandula stoechas* montre une activité antibactérienne agissant sur les bactéries à Gram + et les bactéries à Gram-. Les résultats obtenus constituent une justification scientifique de l'usage traditionnel des plantes médicinales et confirment la pertinence de la phytothérapie dans le traitement des maladies évitant ainsi le phénomène de la résistance aux antibiotiques.

REFERENCES

- [1] Muller, A., Patry, I., Talon, D., Cornette, C., Lopez-Lozano, J. M., Plésiat, P. & Bertrand, X. (2006). Mise en place d'un outil informatisé de surveillance de la résistance bactérienne et de la consommation antibiotique dans un centre hospitalier universitaire. *Pathologie Biologie*, 54(2), 112-117.
- [2] Pan, L., de Blanco, E. J. C. et Kinghorn, A. D. (2009). Les produits naturels d'origine végétale comme pistes pour la découverte de médicaments. *Produits naturels d'origine végétale : synthèse, fonction et application*, 547-567.
- [3] Benkhniq, O., Zidane, L., Fadli, M., Elyacoubi, H., Rochdi, A., & Douira, A. (2010). Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Mechraâ Bel Ksiri (Région du Gharb du Maroc). *Acta botánica barcinonensis*, 191-216.
- [4] Nemudzhivadi, V., & Masoko, P. (2014). *In vitro* assessment of cytotoxicity, antioxidant, and anti-inflammatory activities of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) leaf extracts. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014.
- [5] Kazeminia, M., Abdi, A., Vaisi-Raygani, A., Jalali, R., Shohaimi, S., Daneshkhah, A. & Mohammadi, M. (2020). L'effet de la lavande (*Lavandula stoechas* L.) sur la réduction de la douleur du travail : une revue systématique et une méta-analyse. *Médecine complémentaire et alternative fondée sur des données probantes*, 2020.
- [6] Insawang, S., Pripdeevech, P., Tanapichatsakul, C., Khruengsai, S., Monggoot, S., Nakham, T. & Panuwet, P. (2019). Essential oil compositions and antibacterial and antioxidant activities of five *Lavandula stoechas* cultivars grown in Thailand. *Chemistry & biodiversity*, 16(10), e1900371.
- [7] Sahinler, S. Ş., Yilmaz, B. S., Sarikurkcü, C. & Bektaş, T. E. P. E. (2022). The importance of *Lavandula stoechas* L. in pharmacognosy and phytotherapy. *International Journal of Secondary Metabolite*, 9(3), 360-376.
- [8] Lucchesi, M. E., Chemat, F. & Smadja, J. (2004). Extraction micro-ondes sans solvant de l'huile essentielle à partir d'herbes aromatiques : comparaison avec l'hydrodistillation conventionnelle. *Journal of Chromatography a*, 1043(2), 323-327.
- [9] Hussain, A. I., Anwar, F., Chatha, S. A. S., Jabbar, A., Mahboob, S. & Nigam, P. S. (2010). Rosmarinus deFiCinalis Huile essentielle : antiproliférative, antioxydante et antibac-activités teriales. *Journal brésilien de microbiologie*, 41, 1070-1078.
- [10] Ponce, N. M., Pujol, C. A., Damonte, E. B., Flores, M. L. & Stortz, C. A. (2003). Fucoidans de l'algue brune *Adenocystis utricularis* : méthodes d'extraction, activité antivirale et études structurales. *Carbohydrate Research*, 338(2), 153-165.
- [11] Ez zoubi, Y., Bousta, D. & Farah, A. (2020). A Phytopharmacological review of a Mediterranean plant: *Lavandula stoechas* L. *Clinical Phytoscience*, 6, 1-9
- [12] Bachiri, L., Echchegadda, G., Ibijbijen, J. & Nassiri, L. (2016). Étude phytochimique et activité antibactérienne de deux espèces de Lavande Autochtones Au Maroc : « *Lavandula stoechas* L. et *Lavandula dentata* L. ». *European Scientific Journal*, 12(30), 313-333.

-
- [13] Domingues, J., Goulão, M., Delgado, F., Gonçalves, J. C., Gonçalves, J. & Pintado, C. S. (2023). Essential Oils of Two Portuguese Endemic Species of *Lavandula* as a Source of Antifungal and Antibacterial Agents. *Processes*, 11(4), 1165.
- [14] Filippi, J. J., Lanfranchi, D. A., Prado, S., Baldovini, N. & Meierhenrich, U. J. (2006). Composition, enantiomeric distribution, and antibacterial activity of the essential oil of *Achillea ligustica* All. from Corsica. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(17), 6308-6313.
- [15] Lawrence, B. M., Hogg, J. W., Terhune, S. J. & Pichitakul, N. (1972). Essential oils and their constituents. IX. The Oils of *Ocimum sanctum* and *Ocimum basilicum* from Thailand. *Flavour ind.*3(1) :47-49
- [16] Nikaido, H. (1996). Pompes d'efflux multi médicaments de bactéries à Gram négatif. *Journal of bacteriology*, 178(20), 5853-5859.
- [17] Tepe, B., Daferera, D., Sokmen, A., Sokmen, M. & Polissiou, M. (2005). Activités antimicrobiennes et antioxydantes de l'huile essentielle et de divers extraits de *Salvia tomentosa* Miller (Lamiaceae). *Food chemistry*, 90(3), 333-340.
- [18] Gilles, M., Zhao, J., An, M. & Agboola, S. (2010). Composition chimique et propriétés antimicrobiennes des huiles essentielles de trois espèces d'*eucalyptus australiens*. *Food Chemistry*, 119(2), 731-737.
- [19] Cummins, C. S. & Harris, H. (1956). La composition chimique de la paroi cellulaire chez certaines bactéries à Gram positif et sa valeur possible en tant que caractère taxonomique. *Microbiology*, 14(3), 583-600.
- [20] Pieroza, K.M. (2009). Chemical characterization and antimicrobial activity of essential oils of salvia L. species; *Ciênc. Tecnol. Aliment*, Campinas, 29(4) : 764-770, out. -dez.
- [21] Zaïka, L. L. (1988). Épices et herbes : leur activité antimicrobienne et leur détermination 1. *Journal of food safety*, 9(2), 97-118.

Diversité et structure des formations végétales de la forêt communautaire d'Alibi-1 au Togo

Atakpama Wouyo^{1,2*}, Egbelou Hodabalo¹, Kombate Bimare¹, Biaou Séverin³, Batawila Komlan¹ et Akpagana Koffi¹

¹ Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale (LBEV), Département botanique, Faculté des sciences (FDS), Université de Lomé (UL), 01 BP 1515, Lomé 1, Togo.

² West Africa Plant Red List Authority (WAPRLA), IUCN Species Survival Commission, Rue Mauverney 28, 1196 Gland, Switzerland.

³ Laboratoire d'Écologie, de Botanique et de Biologie végétale (LEB), Faculté d'Agronomie, Université de Parakou (UP), 03 BP 125, Parakou, Bénin.

Info. Article	RÉSUMÉ
Historique de l'article Reçu le 09/11/2022 Révisé le 13/07/2023 Accepté le 16/07/2023 Mots-clés : Biodiversité, structure, forêt communautaire, gestion durable, Togo. Key words: Biodiversity, structure, community forest, sustainable management, Togo.	Au Togo, l'on assiste ces dernières années à plusieurs initiatives de foresterie communautaire. La présente étude a : (i) évalué la diversité floristique et (ii) caractérisé la structure des formations ligneuses de la forêt communautaire d'Alibi-1 dans la région Centrale du Togo. L'analyse s'est basée 74 relevés floristiques, forestiers et écologiques. La flore recensée comprend 229 espèces appartenant à 166 genres et 51 familles. Les familles les plus diversifiées sont les Fabaceae (42 espèces), Malvaceae (18 espèces) et Poaceae (17 espèces). Cinq (5) groupements de relevés ont été discriminés : deux (2) groupements de savanes arborées/arbustives, deux (2) groupements de forêts claires/savanes boisées et un (1) groupement de forêts galeries/forêts denses sèches. La structure verticale et horizontale des groupements est en « J » renversé et en cloche dissymétrique gauche ressortant une forte représentativité des individus de faibles diamètres et de hauteurs. La densité et la surface terrière des arbres sont les plus élevées s'observent dans les savanes arborées/arbustives et les plus faibles dans les galeries forestières/savanes boisées. Une meilleure gestion de la biodiversité et des écosystèmes de cette forêt contribuera à l'amélioration des biens et services écosystémiques de cette dernière. ABSTRACT In recent years, there have been several community forestry initiatives in recent years in Togo. This study aimed to: (i) assess the diversity of plant species, and (ii) characterize woody plant community structure of in the Alibi-I community forest located in central Togo. Within 74 sample plots, floristic, forestry and ecological inventories were carried out. A total of 229 species were recorded. They belong to 166 genera and 51 families. Fabaceae (42 species), Malvaceae (18 species) and Poaceae (17 species) were the most diversified families. Five groups of plots were discriminated: two groups of wooded/shrub savannahs, two groups of open forest/wooded savannahs, and one group of gallery forest/dense dry forest. The diametric and height structure of the clusters is in the form of an inverted "J" and bell-lef dyssimetric. This shows a relatively high representation of small diameter and tall individuals. Density and basal area of the trees highest values were observed in trees/shrubs savannahs and the lowest in forest galleries/wooded savannahs. Better biodiversity and ecological management in this forest will help to improve its ecological goods and services.
* Auteur correspondant : Atakpama Wouyo . Email : wouyoatakpama@outlook.com	

1. INTRODUCTION

Le taux de recul de la superficie forestière en Afrique est le plus élevé dans le monde au cours de la période 2010 à 2020 avec une perte de 3,9 millions d'hectares par an [1]. Ces pertes de superficies contribuent fortement à la modification de la structure et de la physionomie des écosystèmes forestiers. Les principales causes de cette dégradation et déforestation sont l'agriculture, l'exploitation des bois d'œuvre, la croissance démographique et le feu de végétations [2-5]. La persistance de ces facteurs est à l'origine de l'empiètement des aires protégées et des forêts communautaires dédiées pour la conservation de la biodiversité [6]. En plus de leur rôle de conservation de la biodiversité, les écosystèmes forestiers constituent des puits de carbone contribuant ainsi à l'atténuation des émissions des gaz à effet de serre et par conséquent à la réduction des effets du changement climatique [7].

Au Togo, la superficie forestière totale était estimée à 24,24 % en 2015 [8]. La plupart des forêts comptabilisées sont anthropisées et modifiées par les activités humaines engagées pour répondre aux besoins socio-économiques d'une population sans cesse croissante [6, 9, 10] couplées aux effets du changement global [11]. Face à cette préoccupation, l'amélioration des principes de l'utilisation durable des ressources forestières [12] impliquant toutes les parties prenantes est indubitable [13]. La connaissance de la composition, de la structure et du fonctionnement des écosystèmes forestiers est cruciale pour planifier des stratégies de gestion durable.

La situation paraît confuse dans les forêts communautaires qui pour la plupart ne sont pas dotées d'un statut légal et des plans de gestion. Les études sur les forêts communautaires du Togo, notamment leurs biodiversités, élément capital de la gestion restent limitées [14-17]. Un état de lieux de la diversité floristique et écologique de ces forêts communautaires reste un atout pour la politique locale et nationale de gestion des ressources naturelles. La caractérisation structurale des peuplements ligneux est reconnue par plusieurs auteurs comme un élément fondamental pour une bonne connaissance des processus écologiques et du fonctionnement des forêts [9, 17-19]. Ces paramètres de diversité et de structure sont des indicateurs de l'évolution des phytocénoses et une base incontournable dans l'aménagement forestier [9].

La forêt communautaire d'Alibi-1 (FCA-1) dans la préfecture de Tchamba au Togo fait partie des forêts préservées par la communauté locale dans le but de pérenniser les activités de chasse, de conservation de la biodiversité et d'approvisionnement en ressources forestières ligneuses et non ligneuses. Au-delà de la fonction de protection de la biodiversité et de la résilience climatique, cette forêt constitue une source de produits alimentaires, énergétiques et de revenus pour les populations locales [20]. Elle a aussi la particularité d'être contiguë à la Réserve de faune d'Abdoulaye (RFA) [13]. Par conséquent, la bonne gestion de cette forêt communautaire constituerait une opportunité pour rendre plus efficace la politique de gestion de la RFA.

La présente étude est une contribution à la gestion durable des forêts communautaires du Togo, notamment la FCA-1. Elle vise spécifiquement à : (i) évaluer la diversité floristique des formations végétales et (ii) caractériser la structure démographique des formations ligneuses de la FCA-1.

2. MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

2.1. Milieu d'étude

L'étude est réalisée dans la FCA-1, préfecture de Tcham, Région Centrale du Togo. Avec une superficie de 5 496 ha (Figure 1), la FCA-1 fait partie de la zone écologique III du Togo [21]. Les formations dominantes de cette forêt communautaires sont les savanes boisées, les forêts claires, des forêts galeries et des forêts denses sèches [7]. Les espèces dominantes sont : *Chromolaena odorata* et *Vitellaria paradoxa* [22]. Le relief est une plaine d'altitude comprise entre 250 et 350 m. Les sols rencontrés sont de types ferrugineux tropicaux : les sols peu profonds limono-argileux, les sols profonds sablo-limono-argileux et les sols profonds sablo-limoneux [23]. Le climat est tropical unimodal à pluviosité oscillant entre 1200 et 1300 mm/an et des températures mensuelles variant entre 20 et 32 °C [21].

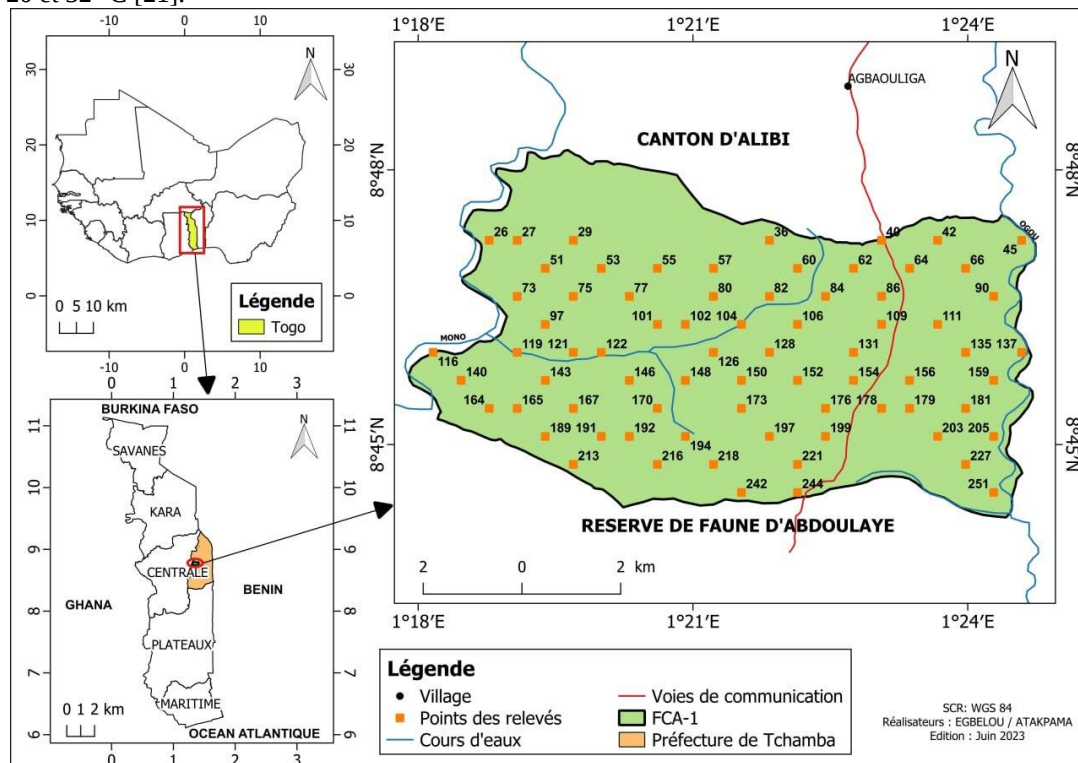


Figure 1. Localisation et plan d'échantillonnage de la forêt communautaire d'Alibi-I dans la Préfecture de Tchamba au Togo.

2.2. Collecte de données

Les inventaires ont été menés dans 74 placeaux (Figure 1) choisis aléatoirement au sein d'une maille de points de 500 m X 500 m d'équidistance générés en se servant de l'outil « Recherche » du logiciel QGIS 2. Au niveau de chacun de ces points, trois (3) types de données ont été collectées : les données phytosociologiques, les données écologiques et les données forestières. Les inventaires forestiers et phytosociologiques des espèces ligneuses ont été réalisés dans des placettes unitaires de 50 m x 20 m tandis que les inventaires phytosociologiques des plantes herbacées ont été réalisés au sein des sous-placettes de 10 m x 10 m. Ces dernières ont été installées au centre des grandes placettes [24, 25].

Chaque espèce recensée est affectée d'un coefficient d'abondance-dominance selon l'échelle de Braun-Blanquet [26]. La détermination des espèces est réalisée à l'aide de la flore Analytique du Togo et du Bénin [27, 28]. L'inventaire forestier (diamètre et hauteur totale) a concerné les arbres de diamètre à hauteur de poitrine, DHP ≥ 10 cm considérés comme adultes. Les individus de DHP < 10 cm ont été considérés comme des régénérations potentielles [29]. Les facteurs écologiques pris en compte au cours de cette étude sont : le degré de fermeture de couvert de la strate ligneuse, la densité des arbres, la collecte de produits forestiers, le pâturage et le feu de végétation [30].

2.3. Traitement et analyse des données

Les données collectées ont été saisies dans un tableur Microsoft Excel. L'analyse floristique a consisté à dresser la liste globale des espèces recensées avec leurs familles en référence à la classification phylogénique (<https://africanplantdatabase.ch/en>) [31, 32]. Le type biologique et le type phytogéographique de chaque espèce ont été recherchés [27, 33, 34]. Le statut de conservation des espèces est déterminé suivant l'échelle de vulnérabilité de l'Union Internationale de la Conservation de la Nature (UICN) (www.iucnredlist.org) le 20 juin 2023 [35]. La liste des espèces vulnérables du Togo a été également consultée [36].

L'analyse canonique des corrélations (CCA, Canonical Correlation Analysis) réalisée avec le logiciel CANOCO [37] a permis de discriminer les groupements végétaux sur la base de la diversité floristique. Les groupements discriminés ont été caractérisés par : la richesse spécifique, les fréquences et les abondances spécifiques [38]. La hauteur moyenne, le diamètre moyen, la densité moyenne, la surface terrière, l'indice de diversité de Shannon (H') et l'équitabilité de Pielou (E) ont été déterminés [15, 38, 39].

Une répartition des individus de DHP ≥ 10 cm en classe de diamètre et de hauteur a été établie grâce au logiciel Minitab 16 couplé au tableur Microsoft Excel [15]. Le logiciel Minitab a permis de calculer les différentes valeurs des paramètres de la probabilité de distribution de Weibull, les calculs des moyennes et les écarts-types. L'amplitude des classes de diamètres est de 10 cm et le diamètre minimal est 10 cm. Pour les classes de hauteurs, l'amplitude est de 2 m. Les structures des peuplements ont été ajustées avec la fonction de distribution théorique suivant les trois (3) paramètres de Weibull. Le tableur Microsoft Excel est utilisé dans la réalisation des figures.

3. RÉSULTATS

3.1. Bilan floristique

L'inventaire floristique réalisé dans la FCA-1 a permis de recenser une florule de 229 espèces appartenant à 166 genres et 51 familles. Cette florule comprend 102 espèces ligneuses contre 127 espèces herbacées. Les familles les plus représentées sont les Fabaceae (42 espèces), les Malvaceae (18 espèces) et les Poaceae (17 espèces) (Figure 2). Les espèces telles que *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn. ssp. *paradoxa* (10,26 %) et *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr. (9,10 %) sont les plus dominantes dans la FCA-1. L'indice de diversité de Shannon est de 5,55 bits et l'équitabilité de Pielou est de 0,4. Les plantes herbacées ont une occupation spatiale de 47 % contre 53 % des plantes ligneuses.

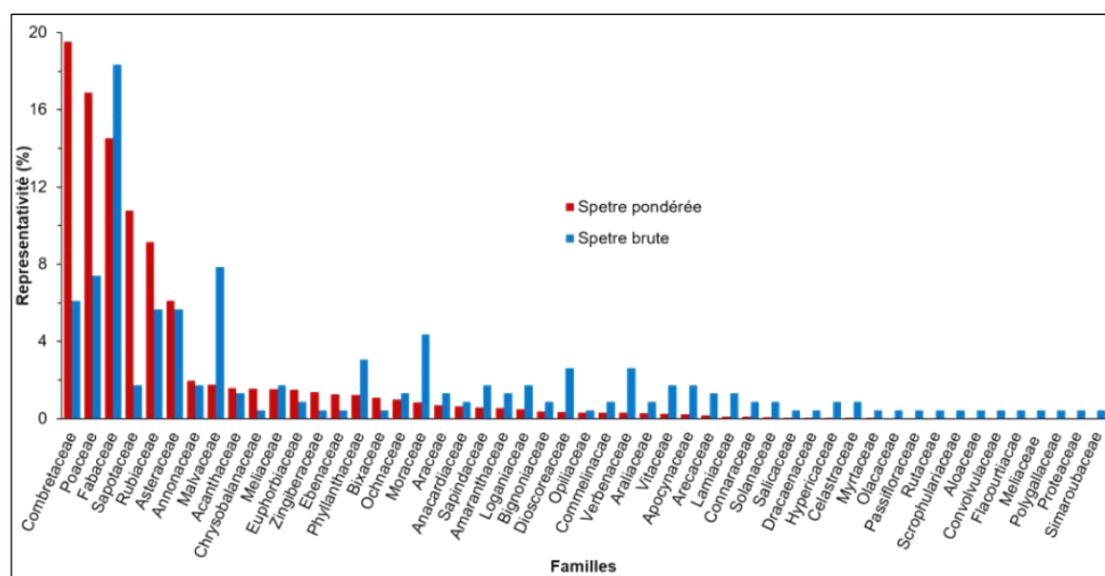


Figure 2. Spectre spécifique des familles

Parmi les espèces recensées figurent une espèce en danger (*Pterocarpus erinaceus* Poir.), quatre (4) espèces vulnérables (*Azelia africana* Sm., *Cedrela odorata* L., *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. et *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn. ssp. *paradoxa*) et deux (2) quasi menacées (*Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg et *Raphia sudanica* A. Chev.) suivant l'échelle de vulnérabilité de l'IUCN (Annexe 1). Une proportion de 41 % des espèces sont non-évaluée et 55 % sont peu concernées (Annexe 2). On distingue aussi 12 espèces vulnérables à l'échelle du Togo (Tableau 1).

Tableau 1 : Liste des espèces vulnérables de la FCA-1 suivant de l'IUCN et la liste des plantes vulnérables du Togo

Espèces	Statut UICN	Vulnerabilité Togo
<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	EN	V
<i>Borassus aethiopum</i> Mart.	LC	V
<i>Carissa edulis</i> (Forssk.) Vahl	LC	V
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	LC	V
<i>Detarium senegalense</i> J.F.Gmel.	LC	V
<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. Ex A.DC.	LC	V
<i>Oncoba spinosa</i> Forssk.	LC	V
<i>Anthocleista nobilis</i> G.Don	LC	V
<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) C.C. Berg	NT	V
<i>Azelia africana</i> Sm.	VU	V
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	VU	V
<i>Vitellaria paradoxa</i> C.F.Gaertn. ssp. <i>paradoxa</i>	VU	V
<i>Raphia sudanica</i> A. Chev.	NT	NE
<i>Cedrela odorata</i> L.	VU	NE

Suivant les types biologiques, les mésophanérophyles sont les plus représentées aussi bien en termes d'occupation spatiale (32,68 %) que du nombre d'espèces (18,34 %). Les microphanérophytes, bien que moins diversifiées restent assez représentées dans la végétation de la FCA-1, en seconde position après les mésophanérophyles. Les hémicryptophytes, les chaméphytes, les lianes nanophanérophyles et les mégaphanérophyles sont sous-représentées (Figure 3). Quant au spectre phytogéographique, les espèces guinéo-congolaises/soudano-zambézienne (53,71 %) et les espèces soudano-zambézienne (28,82 %) sont les plus dominants. Ensuite viennent les espèces guinéo-congolaise (15,28 %). Les espèces introduites (1,75 %) et les espèces appartenant au massif forestier occidental (0,44 %) sont faiblement représentées. La liste de toutes les espèces recensées, leurs types biologiques, phytogéographique et le statut de conservation suivant l'IUCN se retrouvent dans l'Annexe 1.

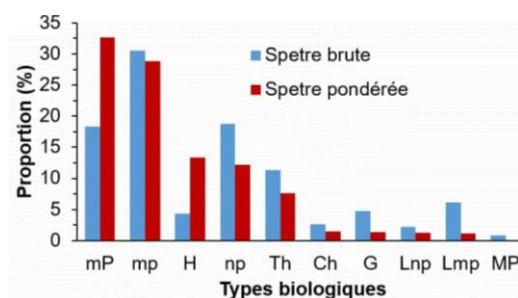


Figure 3. Spetre des types biologiques de la forêt communautaire d'Alibi 1
 mp : microphanérophytes, mP : mésophanérophites, np : nanophanérophites, Th : thérophites, Lmph :
 mésophanérophites lianescents, MP : mégaphanérophites, G : géophytes, Ch : chaméphytes, H :
 hémicryptophytes, Lnp : nanophanérophites lianescents.

3.2. Typologie et descriptions des formations végétales

L'analyse de correspondance canonique (CCA) des relevés a permis de discriminer cinq grands principaux groupes. Ces groupements ont été discriminés en fonction de la physionomie de la végétation et la diversité floristique. Il s'agit de deux (2) groupements de savanes arborées/arbustives (G1 et G5), de deux (2) groupements de forêts claires/savanes boisées (G3 et G4) et d'un groupement de forêts galeries/denses sèches (G2) (Figure 4).

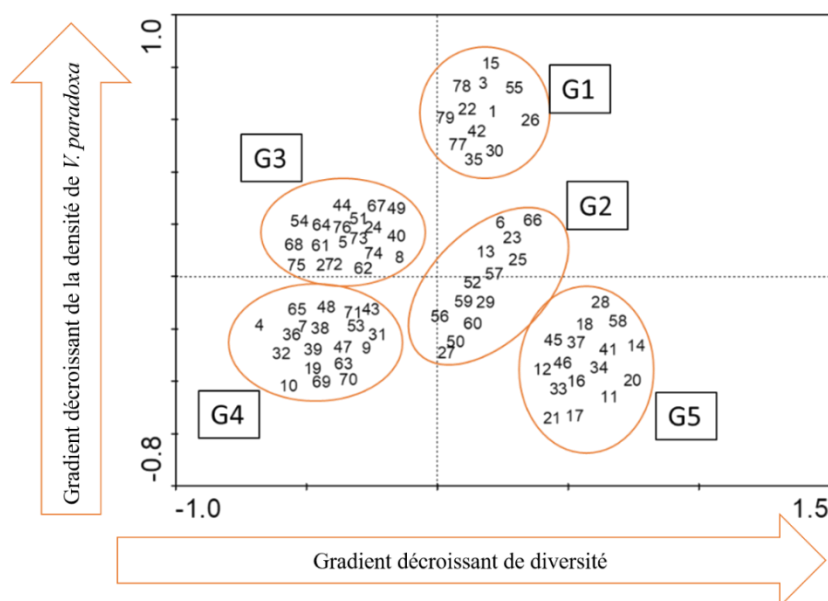
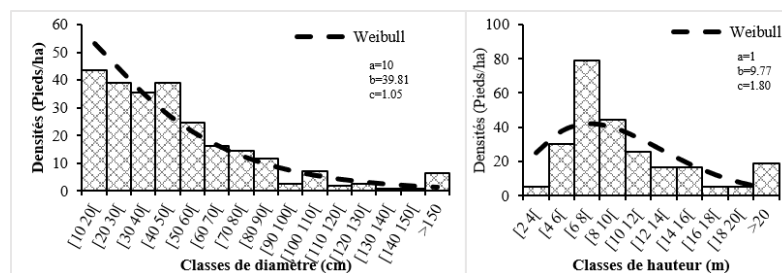


Figure 4. Classification Hiérarchique Ascendante des relevés
 (G1 : Savanes arborées/arbustives à *A. leiocarpus* et *V. paradoxa*, G2 : Galeries forestières/Forêts
 denses à *A. leiocarpus* et *V. paradoxa*, G3 : Forêts claires/Savanes boisées à *V. paradoxa* et *B. africana*, G4 :
 Forêts claires/Savanes boisées à *V. paradoxa* et *A. leiocarpus*, et G5 : Savanes arborées/arbustives à *V. paradoxa*
 et *P. erinaceus*)

Savanes arborées/arbustives à *A. leiocarpus* et *V. paradoxa* (G1)

Le groupe des savanes arborées/arbustives à *A. leiocarpus* et *V. paradoxa* est constitué de 11 relevés d'une richesse spécifique de 66 espèces végétales appartenant à 58 genres et 24 familles. Le nombre d'espèces ligneuses adultes (DHP ≥ 10 cm) est de 47. Parmi ces derniers, les Combretaceae (34,95 %) dominent nettement suivies des Sapotaceae (12,87 %), des Acanthaceae (10,83 %), des Fabaceae (8,01 %) et des Rubiaceae (7,84 %). Les espèces dominantes dans la strate ligneuse sont : *A. leiocarpus*, *Combretum collinum* Fresen., *V. paradoxa*, *Diospyros mespiliformis* Hochst. Ex A. DC. et *Terminalia macroptera* Guill.. L'indice de diversité de Shannon est de 4,62 bits et l'équitabilité de Pielou est de 0,5. La densité des ligneux est de 248 pieds/ha, avec un diamètre moyen de 48,89 cm, une hauteur moyenne de 9,62 m et une surface terrière de 76,14 m²/ha.

La structure verticale montre une distribution asymétrique droite ($1 < C < 3,6$) avec une densité élevée dans la classe [6-8 m]. La structure horizontale fait ressortir la même distribution avec une dominance des individus de classe [10-20 cm] (Figure 5).

Figure 5. Structure en diamètre et en hauteur des savanes/arbustives à *A. leiocarpus* et *V. paradoxa*

Galerias forestières/forêts denses à *A. leiocarpus* et *V. paradoxa* (G2)

Le groupe des galeries forestières/forêts denses à *A. leiocarpus* et *V. paradoxa* est constitué de 33 relevés et de richesse spécifique (No) de 58 espèces appartenant à 51 genres et 22 familles. La diversité des espèces ligneuses de DHP ≥ 10 cm est de 52. Les familles les plus représentées sont les Fabaceae (34,16 %) suivi des Combretaceae (25,28 %) et les Sapotaceae (13,93 %). Ces formations sont caractérisées par des espèces comme *A. leiocarpa*, *P. erinaceus*, *V. paradoxa*, *Detarium microcarpum* Guill. & Perr., *Terminalia laxiflora* Engl et *Diospyros mespiliformis* Hochst. Ex A. DC. L'indice de Shannon a pour valeur 4,38 bits et l'équitabilité de Pielou 0,50. Le diamètre moyen est de 68,43 cm, la hauteur moyenne est de 11,11 m et la surface terrière est de 47,52 m²/ha. La densité est de 86 pieds/ha.

La structure verticale montre une distribution asymétrique droite avec une densité élevée dans la classe [6-8[. La structure horizontale fait ressortir une distribution asymétrique droite avec une dominance des individus de classe [30-40[(Figure 6).

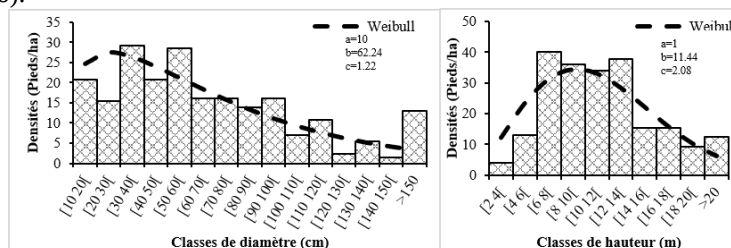
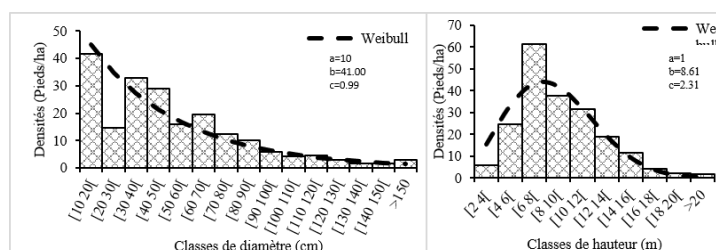


Figure 6. Structure en diamètre et en hauteur des galeries forestières/forêts denses

Forêts claires/Savanes boisées à *V. paradoxa* et *B. africana* (G3)

Le groupe des forêts claires/savanes boisées à *V. paradoxa* et *B. africana* est constitué de 17 relevés et de richesse spécifique de 76 espèces appartenant à 70 genres et 30 familles. Les espèces dominantes sont *V. paradoxa*, *Burkea africana* Hook., *Terminalia laxiflora* Engl. et *A. leiocarpus*. La florule des espèces à DHP ≥ 10 cm comprend 45 espèces. Les familles les plus représentées sont celles des Fabaceae (18,06 %), Combretaceae (15,58 %) et des Sapotaceae (11,95 %). L'indice de Shannon est de 4,61 bits et 0,44 pour l'équitabilité de Pielou. Cette formation est caractérisée par une densité de 200 pieds/ha avec un diamètre moyen de 51,14 cm, une hauteur moyenne de 8,61 m et une surface terrière de 65,49 m²/ha.

La structure verticale montre une distribution en cloche avec une densité élevée des individus de la classe de hauteur [6-8[m. La structure horizontale présente une structure en « L » avec une dominance des individus de classe [10-20[cm (Figure 7).

Figure 7. Structure en diamètre et en hauteur des forêts claires/savanes boisées à *V. paradoxa* et *B. africana*

Forêts claires/Savanes boisées à *V. paradoxa* et *A. leiocarpus* (G4)

Le groupe des galeries forestières/forêts denses sèches constitué de 19 relevés a une richesse spécifique de 74 espèces appartenant à 63 genres et 26 familles. Les espèces dominantes sont *V. paradoxa*, *A. leiocarpus*, *Burkea africana* Hook. et *Crossopteryx febrifuga* (G.Don) Benth. La florule des espèces à DHP ≥ 10 cm comprend 47 espèces. Les familles les plus représentées sont des Combretaceae (26,1 %), les Fabaceae (18,49 %), les

Sapotaceae (13,16 %) et les Rubiaceae (10,23 %). L'indice de Shannon est de 4,73 bits et 0,46 pour l'équitabilité de Pielou. Cette formation est caractérisée par une densité de 272 pieds/ha avec un diamètre moyen de 53,98 cm, une hauteur moyenne de 9,40 m et une surface terrière de 87 m²/ha.

La structure verticale montre une distribution en cloche avec une densité élevée dans la classe [6 8[m. La structure horizontale est est quasiment en cloche dissymétrique gauche avec une dominance des individus de classe [40 50[cm (Figure 8).

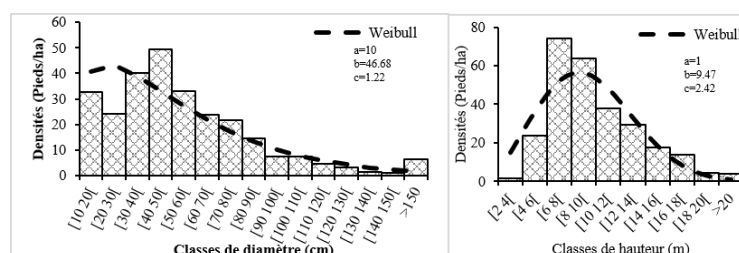


Figure 8. Structure en diamètre et en hauteur des forêts claires/savanes boisées à *V. paradoxa* et *A. leiocarpus*

Savanes arborées/arbustives à *V. paradoxa* et *P. erinaceus* (G5)

Le groupe des galeries forestières/forêts denses sèches comprend 16 relevés de richesse spécifique de 46 espèces appartenant à 41 genres et 18 familles. Les espèces dominantes sont *V. paradoxa*, *Pterocarpus erinaceus* Poir, *T. macroptera*, *A. leiocarpus* et *Diospyros mespiliformis* Hochst. Ex A. DC.. La florule des espèces à DHP ≥ 10 cm comprend 50 espèces. Les familles les plus représentées sont des Fabaceae (26,95 %), Sapotaceae (26,37 %) et les Combretaceae (22,63 %). L'indice de Shannon est de 4,04 bits et 0,42 pour l'équitabilité de Pielou. Cette formation est caractérisée par une densité de 283 pieds/ha avec un diamètre moyen de 57,94 cm, une hauteur moyenne de 8,96 m et une surface terrière de 110,58 m²/ha.

La structure verticale montre une distribution en cloche avec une densité élevée dans la classe [6 8[. La structure horizontale avec une dominance des individus de [30-50[cm est en en cloche dissymétrique gauche (Figure 9).

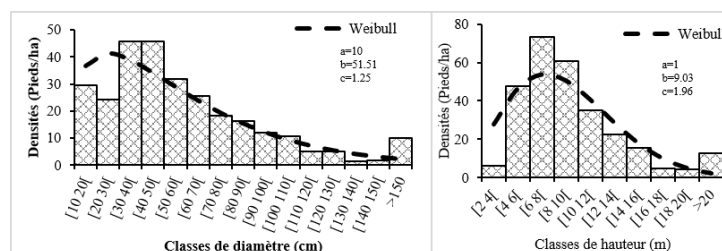


Figure 9. Structure en diamètre et en hauteur des savanes arborées/arbustives à *V. paradoxa* et *P. erinaceus*

Tableau 2 : Caractéristiques structurales des formations boisées étudiées

Formations	Densité (D, Pieds/Ha)	Diamètre moyen (Dm, cm)	Hauteur moyenne (Hm, m)	Surface terrière (G, m ² /Ha)
Savanes arborées/Savanes arbustives à <i>A. leiocarpus</i> et <i>V. paradoxa</i> (G1)	248 ± 5	48.89 ± 39.20	9,62 ± 5,22	76.14 ± 0.68
Galeries forestières/Forêts denses à <i>A. leiocarpus</i> et <i>V. paradoxa</i> (G2)	86 ± 5	68.43 ± 49.05	11,11 ± 5,15	47.52 ± 0.33
Forêts claires/Savanes boisées à <i>V. paradoxa</i> et <i>B. africana</i> (G3)	200 ± 8	51.14 ± 39.47	8,61 ± 3,50	65.49 ± 0.5
Forêts claires/Savanes boisées à <i>V. paradoxa</i> et <i>A. leiocarpus</i> (G4)	272 ± 12	53.98 ± 34.28	9.40 ± 3.68	87.00 ± 0.26
Savanes arborées/Savanes arbustives à <i>V. paradoxa</i> et <i>P. erinaceus</i> (G5)	283 ± 9	57,94 ± 40,38	8.96 ± 4.36	110.58 ± 0.51

4. DISCUSSION

4.1. Diversité et composition floristique de la forêt communautaire

L'analyse floristique de la FCA-1 montre qu'elle renferme un potentiel floristique important, 229 espèces. Cette diversité est un peu plus inférieure à celles rapportées dans la réserve de faune d'Abdoulaye (RFA) contiguë à cette dernière [38], 258 espèces. La flore de la FCA-1 est également moins diversifiée que celle de la réserve de faune Oti-Kéran-Mandouri dans la région des Savanes du Togo respectivement évaluée à 272 [40] et 320 [24] plantes. Cette différence serait liée à la diversité des écosystèmes et à la taille d'échantillonnage. La méthodologie de l'échantillonnage et les périodes d'inventaire sont aussi des paramètres influençant la diversité. Ceci ressort dans la comparaison de deux études antérieures dans la RFA. Dans ces études, l'on note une différence significative dans la diversité spécifique, 258 espèces dans l'étude sur les forêts denses sèches [38] contre 170 dans la caractérisation de la biodiversité en lien avec le feu de végétation [30]. Concernant les superficies des zones d'étude, bien que les superficies des forêts communautaires d'Amavénou et d'Aboudjokopé soient nettement inférieures à celle de la FCA-1, leurs diversités ont été plus élevées, respectivement 264 et 276 espèces [15, 41]. La grande diversité de la flore de ces forêts communautaires serait liée aux conditions climatiques et édaphiques plus favorables au développement de plusieurs espèces végétales. En effet ces dernières se situent dans la zone guinéenne avec une pluviosité plus importante [28]. La diversité des écosystèmes et les conditions favorables justifient également la grande diversité de la flore du parc national Fazao-Malfakassa situé dans la région Centrale du Togo [42, 43]. Par contre, la diversité floristique de la FCA-1 est nettement supérieure à celles des trois (3) forêts communautaires de la préfecture de Dankpen et la forêt communautaire d'Agbedougbo au Togo [16, 44] au Togo. Par rapport à la FCA-1, ces dernières ont des superficies assez réduites et sont fortement anthropisées.

La FCA-1 contribue à la protection des espèces vulnérables et des espèces quasi menacées suivant l'échelle de l'IUCN. La forte représentativité des espèces de préoccupation mineure et des espèces non évaluées selon l'IUCN ressort la nécessité d'évaluation de la vulnérabilité de la flore de la FCA-1 dont les études récentes montrent une relative conservation de la végétation [7]. Cette préoccupation semble être partiellement prise en compte par l'étude sur la série de pâturage de la FCA-1 [22] qui rapporte sept (7) espèces très vulnérables et quatre (4) moyennement à l'échelle locale. A l'échelle nationale, on distingue 12 espèces vulnérables [36] dont 6 dites de préoccupation mineure sur la liste de l'IUCN.

La diversité des espèces ligneuses de la FCA-1, 102 espèces est un peu plus supérieure à celle de la Forêt classée d'Alédjo [45], 94 espèces ligneuses. Cette diversité des espèces ligneuses est nettement supérieure à celle des forêts denses sèches de la RFA [38]. Cette différence serait liée à la diversité des écosystèmes dans la présente étude tandis que dans le cadre de la RFA, seules les forêts denses sèches ont été investiguées.

Les Combretaceae, les Poaceae, les Fabaceae et les Sapotaceae sont familles de plantes les plus représentées. La forte représentativité des Combretaceae, des Poaceae et des Sapotaceae ressort le caractère pyrophyte de la végétation de la zone [2]. En effet ces familles renferment plusieurs espèces pyrophytes. L'abondance de la famille des Sapotaceae est due au karité qui reste l'espèce ligneuse la plus représentative dans la physionomie de la végétation de la FCA-1. Sa forte présence dénote d'une présence d'agrosystèmes dans les années antérieures. L'abondance du karité est aussi rapportée lors de l'étude sur la flore pyrophyte de la RFA [30]. Les familles des Fabaceae, les Malvaceae et les Poaceae sont les familles les plus diversifiées de la FCA-1. Cette caractéristique des savanes guinéennes est également rapportée dans la RFA [30] et dans le complexe d'aires protégées Oti-Kéran-Mandouri dans la zone soudanienne du Togo [24]. L'abondance de ces familles dans la zone soudanienne du Togo est justifiée par le réseau hydrographique favorable au développement d'une flore plus hygrophile par comparaison au contexte climatique de cette zone.

Le caractère climatique de la végétation de la FCA-1 ressort à travers la nette dominance des espèces de transition guinéo-congolaises/soudano-zambéziennes et des espèces soudanaises adaptées aux zones de transition entre le climat guinéen et le climat soudanien. Ceci est également relevé dans l'étude de la végétation l'OKM dans la zone soudanienne [24] et de la forêt communautaire d'Amavénou dans la zone guinéenne du Togo [15]. La différence fondamentale entre cette florule et celle de la zone guinéenne se retrouve au niveau de la présence remarquable des espèces soudanaises dans la FCA-1 en lieu et place des espèces guinéo-congolaises dans la zone guinéenne [15].

Les spectres biologiques montrent une grande diversité des microphanérophytes, suivie des nanophanérophites et des mésophanérophites dans la FCA-1. Le spectre pondéré ressort une dominance des mésophanérophites et des microphanérophytes. La présence des microphanérophytes et des mésophanérophites suggère une dominance des ligneux dans les formations végétales. Cela constitue un atout pour l'amélioration de la couverture forestière [46] si les mesures de gestion adéquates sont mises en place. La faible diversité et représentativité des thérophytes et des chaméphytes est le signe évident de la faible perturbation des formations de la FCA-1 par les activités humaines [47]. Parmi les perturbations anthropiques, on note les coupes illicites de bois d'œuvre, de services et de bois énergie, mais aussi le feu de végétation causé par les bouviers, la collecte de miel et le braconnage. L'effet du pâturage et du feu de végétation sur la structure de la diversité ressort dans l'étude sur la série de pâturage de la FCA-1 [22]. Bien que ces activités n'affectent pas significativement la couverture de la végétation de la FCA-1 [7], la maîtrise de ces derniers contribuera à une meilleure valorisation des ressources biologiques de la forêt.

4.2. Structure des formations végétales

L'état de conservation d'une formation végétale est reconnu par les caractéristiques structurales des arbres dominants et la structure du peuplement qui la compose. La distribution verticale est presque similaire dans toutes les formations végétales. Les peuplements sont caractérisés par une distribution dissymétrique gauche centrée sur la classe de hauteur de 6 à 8 m. Cette distribution caractérise un peuplement relativement dominé par des individus de faibles hauteurs. La densité des pieds de grandes hauteurs est plus faible dans les forêts claires/savanes boisées tandis que les forêts galeries/forêts denses sèches disposent de plus de tiges de grandes hauteurs. Ceci contraste avec les densités globales des individus qui sont assez élevés dans les forêts claires/savanes boisées, soit un peu plus de quatre (4) fois la densité des arbres des forêts galeries/forêts denses sèches. Ces différences peuvent s'expliquer par les conditions écologiques, humidité plus élevée et la compétition vis-à-vis de la lumière favorable à la croissance des plantes en hauteur au niveau des galeries forestières et les forêts denses sèches [48]. Cependant, les faibles densités de ces dernières peuvent être imputables aux exploitations forestières : bois d'œuvre, de service et d'énergie suite aux intrusions illégales des riverains. Ceci justifie la dégradation de ces formations surtout dans la partie ouest de la FCA-1, le long du fleuve Mono [7]. Cependant, l'étude sur la dynamique de l'occupation du sol de la FCA-1 montre une progression de ces formations dans les 20 dernières années en particulier dans la partie est [7].

Globalement, la structure en diamètre montre une relative abondance des individus de faibles diamètres. Cette distribution semble erratique et décroissante des individus de faibles diamètres aux diamètres élevés montre des écosystèmes un peu plus stables. Cette distribution pourrait être due à une irrégularité de la succession ou une interruption temporaire des vagues de régénération au sein de ces formations [49]. Une très forte représentativité des individus de faibles diamètres et la quasi-absence des individus de grands diamètres sont rapportées dans les études précédentes sur d'autres forêts communautaires du Togo [9, 15-17, 44]. Cette différence montre la faible représentativité des formations athropogènes et des activités de collectes des produits forestiers ligneux dans la FCA-1 par comparaison aux autres forêts communautaires.

La surface terrière la plus importante s'observe dans les savanes arborées/arbustives à *V. paradoxa* et *P. erinaceus* et la plus faible dans les galeries forestières et les forêts denses sèches. Ce résultat est la conséquence de la faible densité des arbres dans ces derniers. L'influence de la densité et du diamètre sur la surface terrière est précédemment rapportées dans l'étude sur les parcs agroforestiers à néré (*Parkia biglobosa*) dans la zone soudanienne du Togo [50]. Si les conditions de protection demeurent favorables, ces formations savaniques pourraient évoluer vers des forêts claires.

3. CONCLUSION

Cette étude a caractérisé la biodiversité et la structure des formations ligneuses de la FCA-1 dans la préfecture de Tchamba au Togo. La diversité floristique recensée dans la FCA-1 est de 229 espèces réparties en 171 genres et 62 familles. La FCA-1 demeure une zone de refuge pour plusieurs espèces vulnérables. Cependant une évaluation plus spécifique de la vulnérabilité des la FCA-1 permettra de concevoir un programme de conservation et de gestion plus adapté de la biodiversité de cette forêt. La florule est dominée par les mésophanérophyles et des microphanérophyles. Les espèces d'origine guinéo-congolaises/soudano-zambézienne et soudaniennes, caractéristiques des savanes guinéennes de transition ressort le caractère transitionnel de la végétation de la FCA-1. La structure démographique est marquée par la dominance relative des individus de faibles diamètres et de hauteurs ressortant une relative stabilité des formations ligneuses. La forte présence du karité ressort l'impact antérieur des parcs agroforestiers. Les forêts galeries et les forêts denses sèches sont les moins pourvues en boisement à cause des pratiques de récolte illégale des produits forestiers ligneux. Une attention particulière devrait d'être accordée à ces formations en particulier les forêts galeries eu égard à leurs importances écologiques. Il s'agira de l'enrichissement et de la protection contre les coupes illicites. Par ailleurs, la promotion des plantations de bois énergie auprès des riverains contribuerait à la réduire la dépendance des populations riveraines des ressources ligneuses de la FCA-1. Une promotion de l'apiculture dans la FCA-1 serait aussi une approche de solution pouvant permettre d'augmenter la présence des gestionnaires et par conséquent la réduction du feu de végétation et des intrusions illégales.

RÉFÉRENCES

1. FAO, 2021. *Évaluation des ressources forestières mondiales 2020: Rapport principal*. Rome, Italy: FAO, 184p.
2. Atakpama W., Amegnaglo K.B., Afelu B., Folega F., Batawila K. & Akpagana K., 2019. Biodiversité et biomasse pyrophytes au Togo. *VertigO* Vol. 19(3). <https://doi.org/0.4000/vertigo.27000>
3. Afelu B., Fontodji K.J. & Kokou K., 2016. Impact des feux sur la biomasse dans les savanes guinéo-soudaniennes du Togo. *VertigO* Vol. 16(1). <https://doi.org/10.4000/vertigo.17106>
4. Polo-Akpisso A., Folega F., Souleman O., Atakpama W., Coulibaly M., Wala K., Röder A., Akpagana K. & Yao T., 2018. Habitat biophysical and spatial patterns assessment within Oti-Keran-Mandouri protected area network in Togo. *Int. J. Biodiv. Conserv.* Vol. 10(5) : 214-229. <https://doi.org/10.5897/IJBC2017.1139>

5. Dimobe K., Ouédraogo A., Soma S., Goetze D., Porembski S. & Thiombiano A., 2015. Identification of driving factors of land degradation and deforestation in the Wildlife Reserve of Bontioli (Burkina Faso, West Africa). *Glob. Ecol. Conserv.* Vol. 4(559-571). <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2015.10.006>
6. Polo-Akpisso A., Wala K., Souleman O., Folega F., Akpagana K. & Tano Y., 2020. Assessment of Habitat Change Processes within the Oti-Keran-Mandouri Network of Protected Areas in Togo (West Africa) from 1987 to 2013 Using Decision Tree Analysis. *Sci* Vol. 2(1) : 19. <https://doi.org/10.3390/sci2010001>
7. Kombate B., Atakpama W., Egbelou H., Ahuide K., Dourma M., Folega F., Batawila K. & Akpagana K., 2023. Dynamique de l'occupation de sol et modélisation du carbone de la Forêt Communautaire d'Alibi 1. *Ann. Rech. For. Algérie* Vol. 12(2) : 13-26. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/592/13/1/219326>
8. MEDDPN, 2020. *Niveau de référence pour les forêts (NRF) du Togo*. 55 p.
9. Bawa D.M.-E., Folega F., Atato A., Diwediga B., Wala K. & Akpagana K., 2022. Caractéristiques floristiques et structurales de la forêt communautaire d'Agbandi au centre du Togo (Afrique de l'ouest). *Rev. Écosyst. Pays.* Vol. 1(2) : 55-74.
10. Dimobe K., Wala K., Batawila K., Dourma M., Woegan Y.A. & Akpagana K., 2012. Analyse spatiale des différentes formes de pressions anthropiques dans la réserve de faune de l'Oti-Mandouri (Togo). *VertigO* Vol. Hors-série 14 <https://doi.org/10.4000/vertigo.12423>
11. Fahrig L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* Vol. 34(1) : 487-515.
12. UICN, 2008. *Parcs et réserves du Togo : Évaluation de l'efficacité de la gestion des aires protégées*. In. Programme Afrique Centrale et Occidentale (PACO), 41.
13. Issifou A., Folega F., Kombate B., Atakpama W., Batawila K., Ketoh G.K. & Akpagana K., 2022. Cartographie participative des terroirs riverains de la réserve de faune d'Abdoulaye au Togo. *Rev. Écosyst. Pays. (Togo)* Vol. 1(2) : 83-97. <https://lbev-univlome.com/wp-content/uploads/2022/08/Issifou-et-al21.2022.pdf>
14. Atakpama W., Asseki E., Kpemissi Amana E., Koudegnan C., Batawila K. & Akpagana K., 2018. Importance socio-économique de la forêt communautaire d'Edouwossi-copé dans la préfecture d'Amou au Togo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* Vol. 6(1) : 55-63.
15. Atakpama W., Folega F., Azo A.K., Pereki H., Mensah K., Wala K. & Akpagana K., 2017. Cartographie, diversité et structure démographique de la forêt communautaire d'Amavénou dans la préfecture d'Agou au Togo. *Rev. Géog. Univ. Ouagadougou* Vol. 2(6) : 59-82.
16. Folega F., Atakpama W., Pereki H., Djiwa O., Dourma M., Abreni K., Wala K. & Akpagana K., 2017. Potentialités écologiques et socio-économiques de la forêt communautaire d'Agbedougbe (Région des Plateaux-Togo). *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)* Vol. 19(2) : 31-50. <https://www.ajol.info/index.php/jrsul/article/view/163257>
17. Folega F., Pereki H., Woegan A., Dourma M., Atakpama W., Maza M. & Akpagana K., 2017. Caractérisation écologique de la Forêt Communautaire d'Edouwossi-Cope (Région des Plateaux-Togo). *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)* Vol. 19(3) : 47-61.
18. Miabangana E.S. & Malaisse F., 2020. Structure, composition et diversité floristiques de l'île forestière Loufézou dans le Plateau des Cataractes (République du Congo). *Geo-Eco-Trop* Vol. 44(2) : 1-16.
19. Kouyate A.M., Diarra I. & Habou R., 2020. Composition Floristique, Diversité Et Structure Des Espèces Forestières Alimentaires De La Région De Sikasso Au Sud Du Mali. *Europ. Sci. J.* Vol. 6(12) : 156-178.
20. AE2D, 2020. *Plan d'Aménagement et de Gestion de la Forêt communautaire d'Alibi-1 2021-2030*. In. Ministère d'Environnement et des Ressources Forestières, Togo, 83.
21. Ern H., 1979. Die Vegetation Togos, Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. *Willdenowia* Vol. 9(295-315). 10.2307/3995654
22. Atakpama W., Tchiritema B., Batawila K. & Akpagana K., 2022. Disponibilité et usage des plantes fourragères de la série de pâturage de la Forêt Communautaire d'Alibi 1 au Togo. *Rev. Écosyst. Pays. (Togo)* Vol. 1(3) : 145-161. <https://lbev-univlome.com/wp-content/uploads/2022/12/Atakpama-et-al.pdf>
23. Lamouroux M., 1969. *Note explicative N 34 : Carte pédologique du Togo au 1/1.000.000*. Paris, France: ORSTOM, 91 p.
24. Polo-Akpisso A., Wala K., Ouattara S., Woegan Y.A., Coulibaly M., Atato A., Atakpama W., Nare M.T., Tano Y. & Akpagana K., 2015. Plant Species Characteristics and Woody Plant Community Types within the Historical Range of Savannah Elephant, *Loxodonta africana* Blumenbach 1797 in Northern Togo (West Africa). *Ann. Res. Rev. Biol.* Vol. 7(5) : 283-299. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2015/19271>
25. Ibrahim-Naim R.A., Atakpama W., Amegnaglo K.B., Noundja L., Batawila K. & Akpagana K., 2021. Diversité floristique et biomasse fourragère des parcours potentiels de pastoralisme du socle éburnéen au Togo. *Rev. Écosyst. Pays. (Togo)* Vol. 1(1) : 12-29. <https://lbev-univlome.com/wp-content/uploads/2022/01/02-Ibrahim-et-al.-dec.2021.pdf>
26. Braun-Blanquet J., 1932. *Plant sociology. The study of plant communities*. p.
27. Akoégninou A., van der Burg W.J., van der Maesen L.J.G., Adjakidjè V., Essou J.P., Sinsin B. & Yédomonhan H., 2006. *Flore Analytique du Bénin*. Cotonou & Wageningen: Backhuys Publishers, 1034 p.
28. Brunel J.F., Hiepko P. & Scholz H., 1984. *Flore analytique du Togo : Phanerogames*. Eschborn: GTZ, 751 p.

29. Dourma M., Soou E., Atakpama W., Folega F. & Akpagana K., 2019. Dynamique spatio-temporelle et structure de la végétation de la forêt classée d'Atakpamé au Togo. *Ann. Sci. Tech.* Vol. 19(1) : 1-22. <http://www.annalesumng.org/index.php/st/article/view/642/182319>
30. Atakpama W., Agbetanu K.M.W., Atara L.L., Biaou S., Batawila K. & Akpagana K., 2021. Biodiversité et gestion des feux de végétation dans la réserve de faune d'Abdoulaye au Togo. *Rev. Sci. Technol., Synthèse* Vol. 27(1) : 51-64. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/173064>
31. Chase M.W., Christenhusz M.J.M., Fay M.F., Byng J.W., Judd W.S., Soltis D.E., Mabberley D.J., Sennikov A.N., Soltis P.S. & Stevens P.F., 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* Vol. 181(1) : 1-20.
32. Database A.P., 2013. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute, Pretoria. Vol. : .
33. Aké Assi L., 1984. *Flore de la Côte d'Ivoire : Etude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques*. Faculté de Sciences et Techniques, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, Thèse de doctorat d'Etat, 1206 p.
34. White F., 1986. *La végétation de l'Afrique-Recherches sur les ressources naturelles*. Paris: ORSTOM-UNESCO, 384 p.
35. IUCN, 2022. *The IUCN Red List of Threatened species. Version 2022-1*. In.
36. Radji P.R. & Akpene K., 2018. *Liste des espèces végétales menacées au Togo*. In Version 1.4. Université de Lomé, Togo.
37. Ter Braak C. & Šmilauer P., 2012. *Canoco reference manual and user's guide: software for ordination (version 5.0)*.
38. Pereki H., Wala K., Thiel-clemen T., Bessike M.P.B., Zida M., Dourma M., Batawila K. & Akpagana K., 2013. Woody species diversity and important value indices in dense dry forests in Abdoulaye Wildlife Reserve (Togo, West Africa). *Int. J. Biodivers. Conserv.* Vol. 5(6) : 358-366. <https://doi.org/10.5897/IJBC12.061>
39. Magurran A.E., 2004. *Measurement biological diversity*. Blackwell Science Ltd, 260 p.
40. Folega F., Zhao X., Batawila K., Zhang C., Huang H., Dimobe K., Pereki H., Bawa A., Wala K. & Akpagana K., 2012. Quick numerical assessment of plant communities and land use change of Oti prefecture protected areas (North Togo). *African J. Agri. Res.* Vol. 7(6) : 1011-1022. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1314>
41. Egbelou H., Atakpama W., Dourma M., Folega F. & Akpagana K., 2021. Dynamique spatio-temporelle et flore de la forêt d'Aboudjokopé au Togo. *Rev. Sci. Technol., Synthèse* Vol. 27(2) : 37-50. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/34/27/2/173063>
42. Atsri H.K., Abotsi K.E. & Kokou K., 2018. Enjeux écologiques de la conservation des mosaïques forêt-savane semi-montagnardes au centre du Togo (Afrique de l'Ouest). *Journal of Animal & Plant Sciences* Vol. 38(1) : 6112-6128. http://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2018/09/6.Atsri_.pdf
43. Woegan Y.A., 2011. Diversité des formations végétales ligneuses du Parc national de Fazao-Malfakassa et de la réserve d'Aledjo (Togo). *Act. Bot. Gal.* Vol. 158(3) : 445-449. <https://doi.org/10.1080/12538078.2011.10516286>
44. Atakpama W., Egbelou H., Folega F., Afo C., Batawila K. & Akpagana K., 2022. Diversité floristique des forêts communautaires de la préfecture de Dankpen au Togo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* Vol. 10(4) : 548-557.
45. Wala K., Woegan A.Y., Borozi W., Dourma M., Atato A., Batawila K. & Akpagana K., 2012. Assessment of vegetation structure and human impacts in the protected area of Alédjo (Togo). *African J. Ecol.* Vol. 50(3) : 355-366. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2012.01334.x>
46. Moumouni Y.I., Imorou I.T. & Moussa A.D., 2019. Caractérisation de la Dégradation à Travers la Diversité Floristique et la Structure de la Végétation dans le Bassin Moyen de la Sota au Nord-Bénin. *Int. J. Prog. Sci. Tech.* Vol. 18(1) : 53-70.
47. Gnahoré É., Koné M., Soro Y., N'guessan Y.J. & Bakayoko A., 2020. Effets de l'anthropisation sur la diversité floristique à la périphérie du Parc National du Banco, Abidjan, Côte d'Ivoire. *Afrique Science* Vol. 16(4) : 167-180. <http://afriquescience.net/PDF/16/4/14.pdf>
48. Issa I., Wala K., Dourma M., Atakpama W., Woegan Y.A., Folega F., Batawila K. & Akpagana K., 2015. *Typologie et structure de Khaya senegalensis (Desr.) A. Juss. (Meliaceae) sur les Monts Défalé (préfecture de Doufelgou)*. In L'Harmattan E (ed) 1er colloque Scientifique Internationale de l'Université de Kara. Kara, Togo, 99-110.
49. Geldenhuys C.J., 2010. Managing forest complexity through application of disturbance-recovery knowledge in development of silvicultural systems and ecological rehabilitation in natural forest systems in Africa. *Journal of forest research* Vol. 15(1) : 3-13. 1. FAO, 2021. *Évaluation des ressources forestières mondiales 2020: Rapport principal*. Rome, Italy: FAO, 184 p.
50. Padakale E., Atakpama W., Dourma M., Dimobe K., Wala K. & Akpagana K., 2015. Woody species diversity and structure of *Parkia biglobosa* Jacq. Dong parklands in the sudanian zone of Togo (West Africa). *Annual Review & Research in Biology* Vol. 6(2) : 103-114. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2015/14105>

Annexe 1 : Liste des espèces, familles, types biologiques, types phytogéographiques et statut de conservation selon l'UICN

Espèces	Familles	TB	TP	Statut UICN
<i>Acacia polyacantha</i> Willd.	Fabaceae	mP	GC-SZ	NE
<i>Acacia sieberiana</i> DC. var. <i>villosa</i> DC.	Fabaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Achyranthes aspera</i> L. var. <i>aspera</i>	Amaranthaceae	Th	GC-SZ	NE
<i>Adenia lobata</i> (Jacq.) Engl.	Passifloraceae	Lmp	GC	NE
<i>Adenodolichos paniculatus</i> (Hua) Hutch. & Dalziel	Fabaceae	mp	GC-SZ	NE
<i>Aframomum sceptrum</i> (Oliv. & D.Ranb.) K.Schum	Zingiberaceae	np	GC	LC
<i>Azelia africana</i> Sm.	Fabaceae	mP	GC-SZ	VU
<i>Aganope stuhlmannii</i> (Taub.) Adema	Fabaceae	mp	GC	LC
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Asteraceae	Th	GC-SZ	LC
<i>Albizia adianthifolia</i> (Schumach.) W.F.Wright	Fabaceae	mP	GC	LC
<i>Albizia zygia</i> (DC.) J.F.Macbr.	Fabaceae	mP	GC	LC
<i>Allophylus africanus</i> P. Beauv.	Sapindaceae	mp	GC	LC
<i>Allophylus spicatus</i> (Poir.) Radlk.	Sapindaceae	mp	GC-SZ	NE
<i>Aloe macrocarpa</i> Todaro	Aloaceae	H	GC-SZ	LC
<i>Ampelocissus grantii</i> (Baker) Planch.	Vitaceae	Lmp	GC-SZ	NE
<i>Ampelocissus leonensis</i> (Hook.f.) Planch.	Vitaceae	Lmp	GC-SZ	NE
<i>Anchomanes difformis</i> (Blume) Engl.	Araceae	G	GC	NE
<i>Andropogon africanus</i> Franch.	Poaceae	H	SZ	LC
<i>Andropogon gayanus</i> kunth var. <i>gayanus</i>	Poaceae	H	GC-SZ	NE
<i>Andropogon tectorum</i> Schum. & Thonn.	Poaceae	H	GC-SZ	NE
<i>Aneilema paludosum</i> A.Chev. ssp. <i>paludosum</i>	Commelinaceae	Ch	SZ	LC
<i>Annona senegalensis</i> Pers. ssp. <i>senegalensis</i>	Annonaceae	np	GC-SZ	LC
<i>Anogeissus leiocarpa</i> (DC.) Guill. & Perr.	Combretaceae	mP	SZ	LC
<i>Anthocleista djalensis</i> A.Chev.	Loganiaceae	mp	GC	LC
<i>Anthocleista nobilis</i> G.Don	Loganiaceae	mp	GC	LC
<i>Antiaris africana</i> Engl.	Moraceae	mP	GC-SZ	NE
<i>Antidesma membranaceum</i> var. <i>molle</i> Müll. Arg.	Phyllanthaceae	np	GC	LC
<i>Aristida hordeacea</i> Kunth	Poaceae	Th	SZ	NE
<i>Aspilula africana</i> (Pers.) Adams	Asteraceae	np	SZ	NE
<i>Berlinia grandiflora</i> (Vahl) Hutch. & Dalziel	Fabaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Blumea mollis</i> (D. Don) Merr.	Asteraceae	Th	GC	NE
<i>Blumea viscosa</i> (Mill.) V.M.Badillo	Asteraceae	Th	GC	NE
<i>Bombax costatum</i> Pellegr. & Vuill.	Malvaceae	mP	SZ	LC
<i>Borassus aethiopum</i> Mart.	Arecaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Bridelia ferruginea</i> Benth.	Phyllanthaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Burkea africana</i> Hook.	Fabaceae	mP	SZ	LC
<i>Byrsocarpus coccineus</i> Schumach. & Thonn.	Connaraceae	Lnp	GC	LC
<i>Cardiospermum halicacabum</i> L.	Sapindaceae	Lmp	GC-SZ	LC
<i>Carissa edulis</i> (Forssk.) Vahl	Apocynaceae	Lmp	SZ	LC
<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	MP	I	VU
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Malvaceae	MP	GC-SZ	LC
<i>Centrosema pubescens</i> Benth.	Fabaceae	Lmp	GC	NE
<i>Chamaecrista mimosoides</i> (L.) Greene	Fabaceae	Th	GC-SZ	LC
<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M.King	Asteraceae	np	GC	NE
<i>Cissus populnea</i> Guill. & Perr.	Vitaceae	Lmp	GC-SZ	NE
<i>Clausena anisata</i> (Willd.) Hook.f. ex Benth	Vitaceae	Lmp	GC-SZ	LC
<i>Cochlospermum planchonii</i> Hook.f.	Bixaceae	np	SZ	NE
<i>Cola gigantea</i> A. Chev. var. <i>gigantea</i>	Malvaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Combretum adenogonium</i> Steud. ex A. Rich.	Combretaceae	mp	SZ	LC
<i>Combretum collinum</i> Fresen.	Combretaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC.	Combretaceae	mp	SZ	LC
<i>Combretum micranthum</i> G.Don	Combretaceae	mp	SZ	NE
<i>Combretum molle</i> R. Br. ex G. Don	Combretaceae	mp	SZ	LC
<i>Combretum nigricans</i> Lepr. ex Guill. & Perr.	Combretaceae	mp	SZ	LC
<i>Combretum paniculatum</i> Vent.	Combretaceae	Lmp	GC-SZ	LC
<i>Commelina erecta</i> L. ssp. <i>erecta</i>	Commelinaceae	Ch	GC-SZ	LC
<i>Corchorus fascicularis</i> Lam.	Malvaceae	Th	GC-SZ	NE
<i>Crossopteryx febrifuga</i> (Afzel. ex G. Don) Benth.	Rubiaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Crotalaria calycina</i> Schrank	Fabaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Crotalaria retusa</i> L.	Fabaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Cussonia arborea</i> Hochst. ex A. Rich.	Araliaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Rubiaceae	H	GC-SZ	LC
<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Clapier. & Dalziel	Fabaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Desmodium salicifolium</i> (Poir.) DC.	Fabaceae	Ch	GC-SZ	LC

Espèces	Familles	TB	TP	Statut UICN
<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.	Fabaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Desmodium velutinum</i> (Willd.) DC.	Fabaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Detarium microcarpum</i> Guill. & Perr.	Fabaceae	mp	SZ	LC
<i>Detarium microcarpum</i> Guill. & Perr.	Fabaceae	mp	SZ	LC
<i>Detarium senegalense</i> J.F.Gmel.	Fabaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight & Arn.	Fabaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Dioscorea alata</i> L.	Dioscoreaceae	G	I	NE
<i>Dioscorea bulbifera</i> L.	Dioscoreaceae	G	GC-SZ	NE
<i>Dioscorea burkilliana</i> J.Miège	Dioscoreaceae	G	GC-SZ	LC
<i>Dioscorea dumetorum</i> (Kunth) Pax	Dioscoreaceae	G	GC-SZ	NE
<i>Dioscorea mangelotiana</i> J. Miège	Dioscoreaceae	G	GC	NE
<i>Dioscorea smilacifolia</i> De Wild.	Dioscoreaceae	G	GC	LC
<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. Ex A.DC.	Ebenaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Ekebergia senegalensis</i> A. Juss.	Meliaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Arecaceae	mP	GC	LC
<i>Elephantopus mollis</i> Kunth	Asteraceae	Th	GC	NE
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Poaceae	Th	GC-SZ	LC
<i>Entada abyssinica</i> Steud. ex A. Rich.	Fabaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Entada africana</i> Guill. & Perr.	Fabaceae	mp	SZ	LC
<i>Eriosema griseum</i> Baker var. <i>griseum</i>	Fabaceae	H	SZ	NE
<i>Erythrophleum suaveolens</i> (Guill. & Perr.) Brenan	Fabaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Eupatorium odoratum</i> L.	Asteraceae	np	GC	NE
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euphorbiaceae	Th	GC-SZ	LC
<i>Fadogia agrestis</i> Schweif. ex Hiern	Rubiaceae	np	SZ	NE
<i>Fagara zanthoxyloides</i> Lam.	Rutaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Ficus dicranostyla</i> Mildbr.	Moraceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Ficus exasperata</i> Vahl	Moraceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Ficus glumosa</i> Delile	Moraceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Ficus ingens</i> (Miq.) Miq.	Moraceae	mP	SZ	LC
<i>Ficus ovata</i> Vahl	Moraceae	mp	GC	NE
<i>Ficus sur</i> Forssk.	Moraceae	mp	GC	LC
<i>Ficus sycamorus</i> L. subsp. <i>sycamorus</i>	Moraceae	mP	SZ	LC
<i>Ficus vallis-choudae</i> Delile	Moraceae	mp	SZ	LC
<i>Flacourtia indica</i> (Burm.f.) Merr.	Flacourtiaceae	mp	SZ	LC
<i>Flueggea virosa</i> (Roxb. ex Willd.) Voigt.	Phyllanthaceae	np	GC-SZ	LC
<i>Gardenia aqualla</i> Stapf & Hutch.	Rubiaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Gardenia erubescens</i> Stapf & Hutch.	Rubiaceae	np	GC-SZ	LC
<i>Gardenia ternifolia</i> Schumach. & Thonn. subsp. <i>ternifolia</i>	Rubiaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Grewia lasiodiscus</i> K. Schum.	Malvaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Grewia venusta</i> Fresen.	Malvaceae	mp	SZ	NE
<i>Grewia villosa</i> Willd.	Malvaceae	mp	SZ	LC
<i>Gymnosporia senegalensis</i> (Lam.) Loes.	Celastraceae	mp	SZ	LC
<i>Hannoa undulata</i> (Guill. & Perr.) Planch.	Simaroubaceae	mp	SZ	NE
<i>Hexalobus crispiflorus</i> A. Rich.	Annonaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Hexalobus monopetalus</i> (A. Rich.) Engl. & Diels.	Annonaceae	mp	SZ	LC
<i>Hibiscus asper</i> Hook.f.	Malvaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Hibiscus surattensis</i> L.	Malvaceae	Lnp	GC-SZ	NE
<i>Holarrhena floribunda</i> (G.Don) Durand & Schinz	Apocynaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Hoslundia opposita</i> var. <i>verticillata</i> (Vahl) Baker	Lamiaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Hymenocardia acida</i> Tul.	Euphorbiaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Hyparrhenia rufa</i> (Nees) Stapf	Poaceae	H	GC-SZ	NE
<i>Imperata cylindrica</i> (L.) P. Beauv.	Poaceae	G	GC-SZ	LC
<i>Indigofera arrecta</i> Hochst. ex A. Rich.	Fabaceae	np	SZ	NE
<i>Indigofera tinctoria</i> L. var. <i>tinctoria</i>	Fabaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Ipomoea obscura</i> (L.) Ker Gawl.	Convolvulaceae	Th	GC-SZ	NE
<i>Isoberlinia tomentosa</i> (Harms) Craib & Stapf	Fabaceae	mP	SZ	LC
<i>Justicia insularis</i> T. Anderson	Acanthaceae	Ch	GC	NE
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	Meliaceae	mP	GC-SZ	VU
<i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth.	Bignoniaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Kyllinga erecta</i> Schumach.	Rubiaceae	G	GC-SZ	LC
<i>Lannea acida</i> A.Rich.s.l.	Anacardiaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Lannea barteri</i> (Oliv.) Engl.	Anacardiaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Leptochloa coerulescens</i> Steud.	Poaceae	H	GC-SZ	NE
<i>Lippia multiflora</i> Moldenke	Verbenaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Lippia rugosa</i> A. Chev.	Verbenaceae	np	SZ	NE
<i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) Kunth ex DC.	Fabaceae	mP	GC	LC
<i>Lophira lanceolata</i> Tiegh. ex Keay	Ochnaceae	mP	SZ	LC
<i>Loudetia arundinacea</i> (Hochst. ex A. Rich.) Steud.	Poaceae	H	SZ	NE

Espèces	Familles	TB	TP	Statut UICN
<i>Loudetia togoensis</i> (Pilg.) C.E. Hubb.	Poaceae	Th	SZ	NE
<i>Macrosphyra longistyla</i> (DC.) Hiern	Rubiaceae	mp	GC	NE
<i>Manilkara multinervis</i> (Baker) Dubard	Sapotaceae	mp	GC-SZ	NE
<i>Margaritaria discoidea</i> (Baill.) G.L. Webster	Phyllanthaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Exell	Celastraceae	mp	SZ	NE
<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) C.C. Berg	Moraceae	mP	GC-SZ	NT
<i>Milletia thonningii</i> (Schumach. & Thonn.) Baker	Fabaceae	mp	GC	LC
<i>Mimusops kummel</i> Bruce ex A. DC.	Sapotaceae	mp	SZ	LC
<i>Mnesithea granularis</i> (L.) de Koning & Sosef	Poaceae	Th	GC-SZ	NE
<i>Monechma ciliatum</i> (Jacq.) Milne-Redh.	Acanthaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Mucuna pruriens</i> (L.) DC. var. <i>pruriens</i>	Fabaceae	Lmp	GC-SZ	LC
<i>Ochna rhizomatosa</i> (Tiegh.) Keay	Ochnaceae	np	SZ	NE
<i>Ochna schweinfurthiana</i> F. Hoffm.	Ochnaceae	np	SZ	LC
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Lamiaceae	np	I	NE
<i>Oncoba spinosa</i> Forssk.	Salicaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Opilia amentacea</i> Roxb.	Opiliaceae	Lmp	GC-SZ	NE
<i>Oplismenus hirtellus</i> (L.) P. Beauv. subsp. <i>hirtellus</i>	Poaceae	Ch	GC	NE
<i>Pandiaka angustifolia</i> (Vahl) Hepper	Amaranthaceae	Th	GC-SZ	NE
<i>Pandiaka involucrata</i> (Moq.) Prises BD.	Amaranthaceae	Th	GC-SZ	NE
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Poaceae	Th	GC	NE
<i>Parinari curatellifolia</i> Planch. ex Benth.	Chrysobalanaceae	mp	SZ	LC
<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don	Fabaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Paullinia pinnata</i> L.	Sapindaceae	Lmp	GC-SZ	NE
<i>Pavetta corymbosa</i> (DC.) F.N. Williams	Rubiaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R.Br. ssp. <i>violaceum</i> (Lam) Rich	Poaceae	Th	GC-SZ	LC
<i>Pennisetum polystachion</i> (L.) Schult. subsp. <i>polystachion</i>	Poaceae	Th	GC-SZ	LC
<i>Pericopsis laxiflora</i> (Benth.) Meeuwen	Fabaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Phaulopsis ciliata</i> (Willd.) Hepper	Acanthaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Phoenix reclinata</i> Jacq.	Araceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.	Phyllanthaceae	Th	GC	NE
<i>Physalis pubescens</i> L.	Solanaceae	Th	GC-SZ	LC
<i>Piliostigma thonningii</i> (Schumach.) Milne-Redh	Fabaceae	mp	GC-SZ	NE
<i>Polygala multiflora</i> Poir.	Polygallaceae	Th	GC-SZ	NE
<i>Polysphaeria arbuscula</i> K. Schum.	Rubiaceae	mp	GC	LC
<i>Pouteria alnifolia</i> (Baker) Roberty var. <i>alnifolia</i>	Sapotaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Prosopis africana</i> (Guill. & Perr.) Taub.	Fabaceae	mP	SZ	LC
<i>Protea madiensis</i> Oliv. ssp. <i>madiensis</i>	Proteaceae	np	GC-SZ	LC
<i>Pseudocedrela kotschy</i> (Schweinf.) Harms	Meliaceae	mp	SZ	LC
<i>Psorospermum corymbiferum</i> Hochr. var. <i>corymbiferum</i>	Hypericaceae	mp	SZ	LC
<i>Psorospermum febrifugum</i> Spach	Hypericaceae	mp	SZ	LC
<i>Pteleopsis suberosa</i> Engl. & Diels	Combretaceae	mp	SZ	LC
<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	Fabaceae	mP	SZ	EN
<i>Raphia sudanica</i> A. Chev.	Arecaceae	mp	SZ	NT
<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) Clayton	Poaceae	Th	GC-SZ	NE
<i>Rourea thomsonii</i> (Baker) Jongkind	Connaraceae	Lnp	GC	LC
<i>Saba comorensis</i> (Bojer ex A. DC.) Pichon	Apocynaceae	Lmp	GC	NE
<i>Sansevieria liberica</i> Gérôme & Labroy	Dracaenaceae	G	GC-SZ	NE
<i>Sarcocephalus latifolius</i> (Sm.) E.A. Bruce	Rubiaceae	mp	GC-SZ	NE
<i>Scoparia dulcis</i> L.	Scrophulariaceae	Th	GC-SZ	NE
<i>Senna hirsuta</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby	Fabaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Sida acuta</i> Burm.f. ssp. <i>acuta</i>	Malvaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Sida rhombifolia</i> L. subsp. <i>rhombifolia</i>	Malvaceae	np	GC	NE
<i>Sida urens</i> L.	Malvaceae	np	GC	NE
<i>Solanum torvum</i> Sw.	Solanaceae	np	GC	NE
<i>Spermacoce ruelliae</i> DC.	Rubiaceae	Th	GC-SZ	NE
<i>Sporobolus pyramidalis</i> P.Beauv.	Poaceae	H	GC-SZ	NE
<i>Steganotaenia araliacea</i> Hochst.	Araliaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Sterculia setigera</i> Delile	Malvaceae	mp	SZ	LC
<i>Sterculia tragacantha</i> Lindl.	Malvaceae	mp	SZ	LC
<i>Stereospermum kunthianum</i> Cham.	Bignoniaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Strophanthus hispidus</i> DC.	Apocynaceae	Lmp	GC-SZ	LC
<i>Strychnos afzelii</i> Gilg	Loganiaceae	mp	SZ	NE
<i>Strychnos spinosa</i> Lam.	Loganiaceae	mp	SZ	NE
<i>Stylochaeton hypogaeus</i> Lepr.	Araceae	G	GC-SZ	NE
<i>Swartzia madagascariensis</i> Desv.	Fabaceae	mp	SZ	LC
<i>Syzygium guineense</i> (Willd.) DC. var. <i>guineense</i>	Myrtaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Tectona grandis</i> L. f.	Verbenaceae	mP	I	EN
<i>Tephrosia bracteolata</i> Guill. & Perr.	Fabaceae	np	GC-SZ	NE

Espèces	Familles	TB	TP	Statut UICN
<i>Tephrosia elegans</i> Schumach.	Fabaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Tephrosia flexuosa</i> G.Don	Fabaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Terminalia avicennioides</i> Guill. & Perr.	Combretaceae	mp	SZ	LC
<i>Terminalia glaucescens</i> Planch. ex Benth.	Combretaceae	mp	SZ	LC
<i>Terminalia laxiflora</i> Engl. & Diels	Combretaceae	mp	SZ	LC
<i>Terminalia macroptera</i> Guill. & Perr.	Combretaceae	mp	SZ	LC
<i>Terminalia mollis</i> M.A.Lawson	Combretaceae	mp	SZ	LC
<i>Tinnea barteri</i> Gürke	Lamiaceae	np	SZ	NE
<i>Trichilia emetica</i> Vahl	Meliaceae	mp	SZ	LC
<i>Tridax procumbens</i> L.	Asteraceae	Ch	GC-SZ	NE
<i>Triumfetta dubia</i> De Wild.	Malvaceae	np	SZ	NE
<i>Triumfetta rhomboidea</i> Jacq.	Malvaceae	np	GC-SZ	NE
<i>Uapaca guineensis</i> Müll. Arg.	Phyllanthaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Uapaca togoensis</i> Pax	Phyllanthaceae	mp	GC-SZ	LC
<i>Urena lobata</i> L.	Malvaceae	np	GC-SZ	LC
<i>Uvaria chamae</i> P. Beauv.	Annonaceae	Lnp	GC-SZ	LC
<i>Vangueriopsis vanguerioides</i> (Hiern) Robyns	Rubiaceae	mp	GCW	NE
<i>Vernonia ambigua</i> Kotschy & Peyr.	Asteraceae	np	SZ	NE
<i>Vernonia colorata</i> (Willd.) Drake	Asteraceae	np	GC-SZ	LC
<i>Vernonia galamensis</i> (Cass.) Moins.	Asteraceae	Th	SZ	NE
<i>Vernonia nigrifolia</i> Oliv. & Hiern	Asteraceae	np	SZ	NE
<i>Vernonia perrottetii</i> Sch. Bip.	Asteraceae	Th	SZ	NE
<i>Vigna reticulata</i> Hook. f.	Fabaceae	Lnp	GC-SZ	LC
<i>Vitellaria paradoxa</i> C.F. Gaertn. ssp. <i>paradoxa</i>	Sapotaceae	mP	SZ	VU
<i>Vitex doniana</i> Sweet	Verbenaceae	mP	GC-SZ	LC
<i>Vitex simplicifolia</i> Oliv.	Verbenaceae	mp	SZ	LC
<i>Voacanga africana</i> Stapf	Verbenaceae	mp	SZ	LC
<i>Waltheria indica</i> L.	Malvaceae	np	GC-SZ	LC
<i>Ximenia americana</i> L.	Olacaceae	mp	GC-SZ	LC

Annexe 2 : Proportion du statut UICN de conservation des espèces recensées dans la forêt

Statut UICN	Nombre d'espèces	Proportion
En danger	2	0.87
Peu préoccupant	127	55.46
Non évaluer	94	41.05
Quasi menacé	2	0.87
Vulnérable	4	1.75
Total	229	100

Physiochemical characterization of a biosurfactant produced by bacteria isolated from pharmaceutical process water

Abed Belkacemi, Soumia Seddari et Nadji Moulai-Mostefa

Materials and Environmental Laboratory,
University of Medea, Ain D'Heb, 26001 Medea, Algeria

Article Info

Article history:

Received 20/05/2023

Revised 01/07/2023

Accepted 04/07/2023

Keywords:

Biosurfactants, Process water, Bacterial strains, Surface tension, Stability.

ABSTRACT

The study was performed on samples from pharmaceutical process water. Only strains presumed to produce biosurfactants were selected depending on microbiological analyses. So, the main objective of this investigation was the isolation, identification and characterization of some microorganisms producing biosurfactants. These characteristics were compared with previous references. The capacity and conditions of biosurfactant production were determined via several tests such as the rate of biomass after incubation, pH, surface tension and emulsification index. Four strains have been identified, namely *Pseudomonas Spp1*, *Pseudomonas Spp2*, *Flavobacterium spp* and *Serratia liquefaciens*. The results obtained showed that the selected bacteria could produce biosurfactants with significant surface properties except for *Pseudomonas Spp2*. They were characterized in terms of structure, surface tension, emulsification capacity, thermal, and chemical stability. In addition, the emulsifying capacities were found to be very attractive; the best results were obtained for the products extracted from *Pseudomonas Spp1*, which were equivalent to those obtained from the reference (*Bacillus subtilis*). Furthermore, all the biosurfactants have good thermal stability. However, their properties seem to be sensitive to pH; a basic pH leads to a lowering of the surface tension and an increase of the emulsifying capacity. Based on the spectral characteristics, the biosurfactants produced mainly by the isolated strains were found as glycolipid types.

Corresponding Author: Soumia Seddari

Email: soumiaseddari@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Biosurfactants are amphiphilic molecules produced by some microorganisms. Their nature, as well as their surfactant capacity, are highly dependent on the type of microorganisms used (bacteria, yeasts, fungi), the strain tested and the nutrient substrate available for the cell development [1]. According to their emulsifying and solubilizing properties, these molecules have many potential applications covering a wide variety of fields such as environment, medicine, agriculture and pharmacy [2, 3, 4]. They are constituted of a polar hydrophilic part and a non-polar hydrophobic one. Generally, the hydrophilic group consists of amino acids, peptides or polysaccharides and the hydrophobic group consists of saturated or unsaturated fatty acids [5]. In contrary to synthetic surfactants, which are generally classified according to the nature of their polar group, biosurfactants are classified mainly according to their chemical composition and microbial origin [5, 6]. Therefore, various biosurfactants are listed, such as glycolipids, lipopeptides, phospholipids, neutral lipids, fatty acids or lipopolysaccharides [7, 8].

Microorganisms developing aerobically in an aqueous medium containing one or more carbon sources as carbohydrates, oils or hydrocarbons produce microbial biosurfactants. These organisms are usually bacteria, yeasts and fungi [9]. The physiological role of a biosurfactant is to allow microorganisms to develop on insoluble substrates by reducing the interfacial tension between water and the substrate, making the latter more easily accessible [10].

The bacteria used to produce biosurfactants are generally extracted from soils contaminated by hydrophobic molecules. They are isolated from their natural environment and cultivated in the laboratory [6]. This allows doing tests to choose the appropriate culture medium containing the best carbon source in order to obtain a maximum production rate. Although many species produce biosurfactants; the regulation of their synthesis is still poorly understood, except for the strains of *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* which are currently the most studied bacteria [11]. Biosurfactants are known to be non-toxic, biodegradable, and can be used under

extreme conditions [11, 12]. The success of their use and production requires a reduction in production costs. This goal can be achieved through the development of growth substrates of low-cost products [13].

These green-surfactants can be produced using agricultural resources and renewable wastes. This allows not only a significant reduction in production cost, but also a decrease in the quantities of biowastes to be treated. Furthermore, research on biosurfactants has increased significantly [14]. Recently, it has been reported that a large number of microorganisms producing biosurfactants can be isolated from polluted and unpolluted waters [11]. Thus, Carmen Rizzo et al. [15] showed that biosurfactants can be produced by microorganisms isolated from freshwater. Poonguzhali et al. [16] synthesized a biosurfactant with inexpensive rice water; they justified its use as a biological control agent. Nevertheless, it was not given to our knowledge a work on water collected from an industrial process network.

The main objective of this investigation was the isolation, identification, and characterization of some microorganisms producing biosurfactants from pharmaceutical process water.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Bacterial strains

Pharmaceutical water samples were obtained from the water used in a process network of a pharmaceutical production unit (Medea, Algeria). They were collected aseptically using pre-sterilized vials, and filtered through a sterile Millipore filter (0.22 µm porosity). The filters having retained the microorganisms were placed in Petri dishes containing suitable solid culture media [17, 18] and then, they were incubated for 48 h at 37 °C for *Pseudomonas* and at 44 °C for *Enterobacteriaceae*. After incubation, individual colonies were randomly selected, picked and purified by repeated streaking under the same conditions. Subsequently, the selected isolates were identified by standard microbiological techniques [19].

For the comparison, two strains *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 and *Bacillus Subtilis* ATCC 6633 were used as reference strains. They were stored in test tubes containing nutrient agar at 4 °C and reactivated each month to constitute a working stock.

2.2. Microbial growth and strain characterization

In a sterile environment, and from a pure culture on nutrient agar, a surface of an isolated bacterium strain was introduced into a 250 mL Erlenmeyer flask. It contains a nutrient broth that has been autoclaved beforehand. The culture medium for *Bacillus subtilis* is composed of a solution containing 7 g/L of $\text{NH}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 3 g/L of KH_2PO_4 , 1 g/L of NH_4HCl , 5 g/L of NaCl, 0.25 g/L of $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.02 g/L of CaCl_2 , and 4 g/L of Glucose; the pH was adjusted to 7. However, for the other strains, the culture medium is composed of 1 g/L of KH_2PO_4 , 0.2 g/L of $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.02 g/L of CaCl_2 , 0.05 g/L of $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 2 g/L of NaNO_3 , and 30 g/L of glycerol; the pH was adjusted to 6.8 [20, 21].

For each liquid culture sample, biomass, pH, emulsification index (E_{24}) and surface tension (TS) were measured before and at the end of production. For the determination of biomass growth, the microbial suspension was separated and its absorbance was measured at 600 nm using a mini1240 UV spectrophotometer (Shimadzu, Japan). The pH of broth culture and supernatant were also controlled by a pH meter (Hanna Instruments PH 211). The TS was measured using a bidirectional tensiometer (CSC Du Nouy 70545). The E_{24} was calculated by measuring the layer of emulsion formed after 24 h. For this, equal volumes of collected supernatant and diesel (5 mL) were mixed using a vortex for 3 min and then left to stand for 24 h [22].

$$E_{24} = (E / E') \times 100 \quad (1)$$

where E is the volume of the emulsified layer and E', the total volume of the mixture.

2.3. Extraction and characterization of biosurfactants

After separating the biomass by centrifugation at 4000 rpm for 20 min at 4 °C, the supernatant was collected in tubes and used for biosurfactant extraction. The operation was carried out by pouring three volumes of icy acetone into a volume of supernatant and then left to stand for 24 h at 4 °C, so a white precipitate was formed. It was recovered by vacuum filtration and then by drying at room temperature [5].

The foaming capacity of the obtained biosurfactants was determined by manually shaking a test tube containing a solution of biosurfactant in distilled water for 30 s and then left to stand for 5 min. The emulsifying activity was evaluated by measuring E_{24} (Eq.1).

The effect of temperature on the thermal stability of biosurfactants was studied by measuring TS and E_{24} of the broth supernatant after incubation at different temperatures (20, 50, and 120 °C) for 15 min.

The chemical stability was evaluated by varying the pH of the supernatant from 2 to 11 and by measuring, after a rest period of 10 min, the TS and E_{24} .

On the other hand, the characterization of biosurfactants was performed using the Rhamnose test according to the method of Dubois [23] and, Fourier transform infrared (FT-IR) spectrometric analysis [24]. For this, an amount of 2 mg of the crude biosurfactant was ground with 200 mg of KBr powder to form a fine powder. The powder was then compressed to form translucent pellets that they were analyzed by FT-IR spectroscopy (Bruker, Germany) in the range of 400 to 4000 cm^{-1} .

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Strain isolation and identification

From the six samples collected, four strains were isolated and retained as strains presumed to produce biosurfactants. Based on Gram stain and oxidase test, the isolated strains were found to be gram negative. The API®20 E identification tests also made it possible to determine the genus of the bacteria [19]. The numerical profiles of this identification were 00000046, 00000045, 0042000 and 1306563, which correspond to the species *Pseudomonas Spp1*, *Pseudomonas Spp2*, *Flavobacterium spp* and *Serratia liquefaciens*.

The biomass rate was evaluated for different microorganisms to control the growth of bacterial strains. The optical density (OD) was measured before (at the inoculation of the culture media) and after a culture. The incubation time was determined according to strains types. The results of the measurements of OD and pH of the isolated strains as well as those of the reference are summarized in Table 1.

Table 1: OD, pH and TS of the isolated strains and reference

Microorganisms	At inoculation		After incubation		TS (mN/m)
	OD	pH	OD	pH	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0.792	6.80	1.052	6.51	45.6
<i>Bacillus subtilis</i>	0.736	7.01	2.185	4.50	39.0
<i>Pseudomonas spp1</i>	0.191	6.80	2.385	6.00	56.4
<i>Pseudomonas spp2</i>	0.721	6.84	0.800	6.80	61.0
<i>Flavobacterium spp</i>	0.190	6.82	1.653	5.70	36.1
<i>Serratia liquefaciens</i>	1.736	6.78	2.280	5.22	41.4

Analysis of the obtained results showed an increase in the biomass after the culture of the different strains, except for *Pseudomonas Spp2*, where the value of OD remained constant. In addition, a decrease was observed in the pH after the culture of different strains. This can be explained by the production and release of acids. In addition, the recorded TS values reflect good surface properties, except *Pseudomonas Spp2*, which had a high value of TS. This strain was not retained for further investigation.

3.2. Characterization of biosurfactants

3.2.1 Biosurfactant functional characterization

The precipitate obtained from the culture broth of the different isolates was a crystalline powder, soluble in water; it showed a high foaming power. The appearance of the emulsions formulated using the biosurfactants produced by the different isolated bacteria is shown in Figure 1. A good ability to emulsify diesel was observed for all samples.

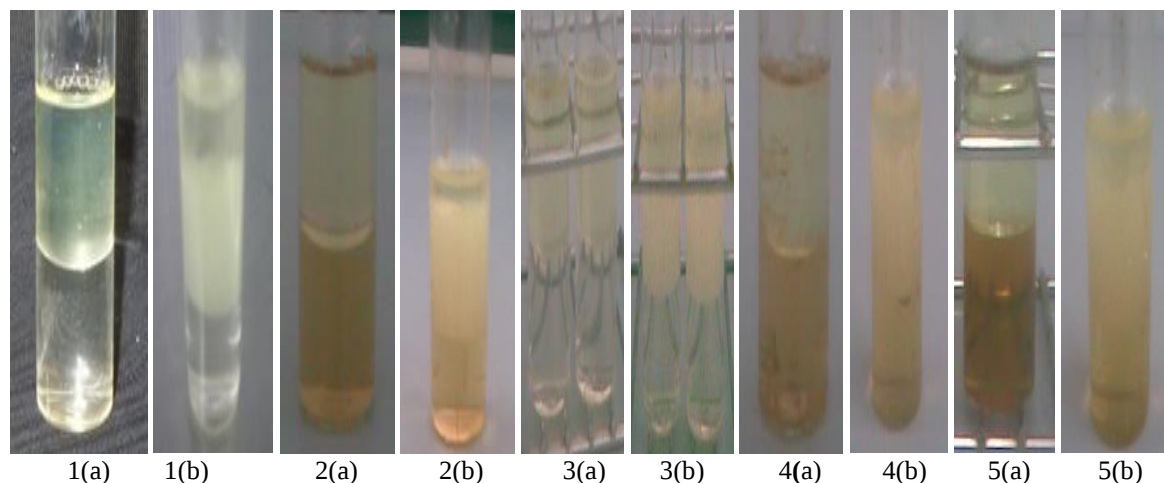
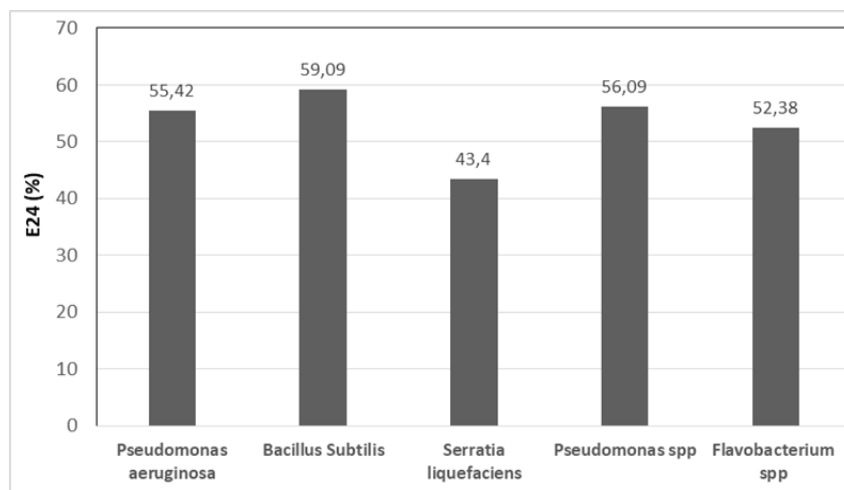


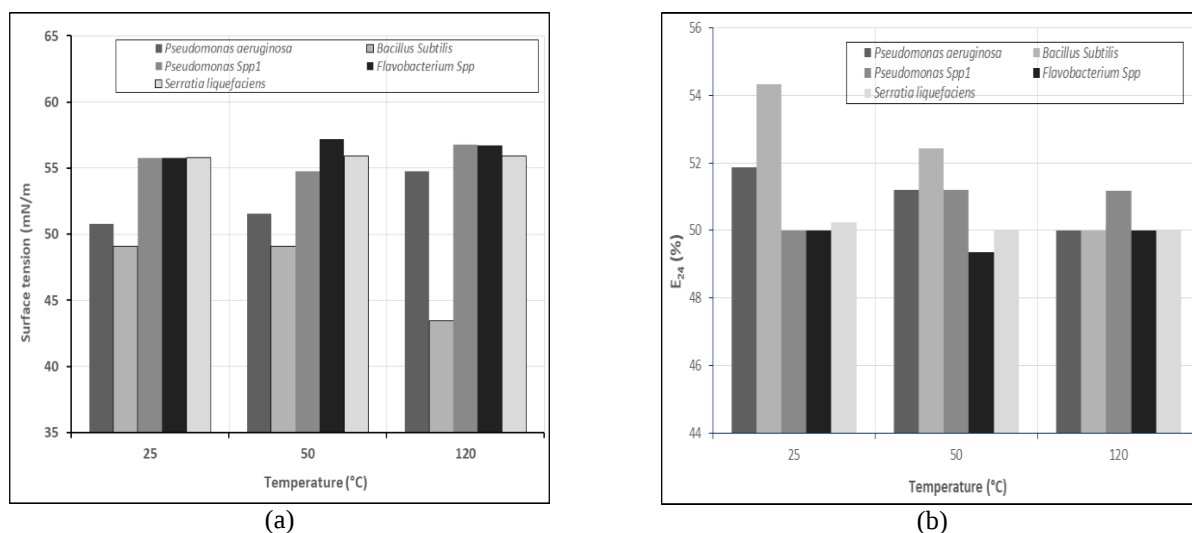
Figure 1. Appearance of emulsions formulated using produced biosurfactants
(1: *Pseudomonas aeruginosa*, 2: *Bacillus Subtilis*, 3: *Serratia liquefaciens*, 4: *Pseudomonas spp1*, 5: *Flavobacterium spp*; (a): before agitation, (b): emulsion after 24 h of rest; T = 25 °C)

The evolution of E_{24} of biosurfactants obtained from the selected strains is shown in Figure 2. It was observed that the diesel was emulsified by all strains used with E_{24} values varying between 43.4 and 59.09%. The highest emulsification activity was obtained by the biosurfactant produced by *Bacillus Subtilis* (59.09%), followed by that produced by *Pseudomonas spp1* (56.09%), *Pseudomonas aeruginosa* (55.42%), *Flavobacterium spp* (52.38%) and *Serratia liquefaciens* (43.4%).

Figure 2. Emulsification activity (E₂₄) of biosurfactants against different microbial strains

In conclusion, the isolated strains allowed producing biosurfactants with a significant emulsification activity close to that obtained with the reference strains. These bacteria (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* and *Serratia*) are already known for their production of biosurfactants [25].

The effect of temperature on the stability of biosurfactants was evaluated by measuring TS and E₂₄ as a function of three working temperatures (20, 50, and 120 °C). It was shown that the TS and E₂₄ are influenced by the temperature except for the product obtained from *Serratia liquefaciens*. Between 25 and 50 °C, the TS is almost stable for biosurfactants derived from the two reference strains (Figure 3-a). However, above 50 °C, the TS of the biosurfactant from *Bacillus Subtilis* decreases, while of that obtained from *Pseudomonas aeruginosa* increases. The same results were observed for E₂₄; the emulsification activity is influenced by the temperature except for products obtained from *Flavobacterium Spp* and *Pseudomonas Spp1* where the effect of temperature is not important (Figure 3-b), their TS and E₂₄ are constant. The biosurfactant produced from *Serratia liquefaciens* presented the best stability, its TS and E₂₄ remained relatively constant with increasing temperature. These results demonstrated that the isolated strains made it possible to produce stable biosurfactants with significant surface properties.

Figure 3. (a): Variations of surface tension (TS) as a function of temperature;
(b): Variations of E₂₄ as a function of temperature

Furthermore, the variations of TS and E₂₄ as a function of pH are illustrated in Figure 4. For the reference strains, an increase in pH from 2 to 11 leads to a decrease in the TS values from 55 to 45 mN/m for the product derived from *Pseudomonas aeruginosa* (Figure 4-a). For *Bacillus subtilis*, the TS remained nearly constant. However, the TS of biosurfactants from *Pseudomonas spp1* and *Serratia liquefaciens* increases for a pH between 2 and 6 then decreases considerably towards an alkaline pH (11). This proves that these bioproducts are stable at alkaline pH and their surface properties are much improved. This may be due to the change in the charge of the existing groups at the ends of the molecules [26]. For the product derived from *Flavobacterium spp*, the TS decreases with the increase in pH. Consequently, the basic pH reduces the TS and improves the surface properties.

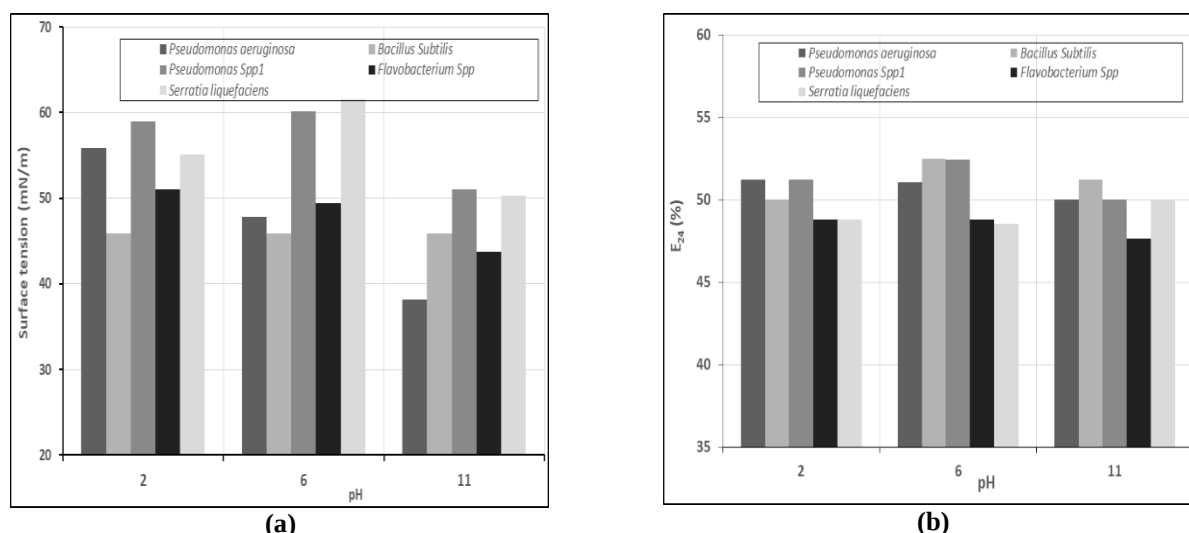


Figure 4. (a): Variations of surface tension as a function of pH; (b): Variations of E_{24} as a function of pH

These results are in agreement with those obtained by other authors [27, 28]. In addition, E_{24} decreases slightly towards the basic pH (Figure 4-b). Since at a strongly basic pH, E_{24} still reaches higher values. However, the biosurfactants produced from *Pseudomonas spp1* and *Flavobacterium spp* have better activities at pH 6, while those produced from *Serratia lequefaciens* give better results at a basic pH. In this range of pH, a good emulsification is obtained, which is in agreement with the results of TS. In the case of biosurfactants obtained from *Serratia*, as those from *Pseudomonas* and *Flabobacterium*, high values of E_{24} and low TS are obtained at basic pH. Thus, it can be concluded that the biosurfactants produced by all the strains do not possess the same characteristics, whether reference strains or those isolated and identified.

3.2.2 Chemical structures

The carbohydrate test based on the Dubois assay was positive; this indicates that the isolated biosurfactants could be glycolipids. However, the type of glycolipids produced depends on the bacterial strain, the carbon source used, and the process strategy [29]. FTIR spectroscopy was used to identify their molecular structure. The characteristic bands of biosurfactants along with their assignment are listed in Table 2 in the FTIR spectra ranging from 350 to 4000 cm^{-1} . For all products obtained from the different isolated strains, O-H stretching vibrations at 3400–3500 cm^{-1} revealed alcohols. Similarly, O-H vibrations between 2800 and 3000 cm^{-1} confirmed the presence of carboxylic groups. The vibrations at 2921 cm^{-1} , 2851 cm^{-1} , and 1456 cm^{-1} are associated with the symmetrical vibrations of the (-CH) bond for the (-CH₂) and (-CH₃) groups for the saturated aliphatic chains (alkanes). The adsorption bands located between 2925 and 1650 with 1459 cm^{-1} indicate that all the substances have structures identical to those of glycolipids [30].

Table 2. Observed FTIR bands (cm^{-1}) in biosurfactants and their assignments

Assignment (cm^{-1})	Groupements	Intensity %	Strains
1654.07	C=C (acid)	53.0	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
1085.81	C-O (ester)	50.5	
983.16	C-H (alkene)	54.2	
1638.00	C=C (acid)	61.0	<i>Bacillus Subtilis</i>
1459.00	CH ₂ ou CH ₃ (ester)	63.0	
617.00	N-C=O (amide)	63.5	
1653.84	C=C (acid)	43.7	<i>Pseudomonas Spp</i>
1101.67	C-C (alkane)	45.9	
1654.00	C=C (acid)	42.0	
1083.25	C-O (ester)	23.0	<i>Flavobacterium spp</i>
864.99	C-H (alkene)	45.0	
598.00	C=O (amide)	30.0	
1655.89	C=C (acid)	26.0	<i>Serratia liquefaciens</i>
1085.99	C-O (ester)	21.0	
982.54	C-H (alkene)	25.0	

4. CONCLUSION

The results obtained showed that the strains *Pseudomonas Spp1*, *Flavobacterium Spp*, and *Serratia liquefaciens* could produce biosurfactants, based on their surface properties. The selection of the best strain was made according to its high emulsifying activity and minimum value of the surface tension. Thus, the *Pseudomonas Spp1* strain made it possible to obtain a biosurfactant with an emulsifying power equivalent to that of the reference (*Bacillus subtilis*). Furthermore, it has been found that all biosurfactants are thermally stable. Nevertheless, it seems that their properties are sensitive to pH; a noticeable improvement was observed at basic pH. FT-IR analysis showed that biosurfactants obtained from different strains have almost the same functional groups, mainly acid and ester groups, which confirmed that their structure is of glycolipid type.

REFERENCES

- [1] Henkel M. & Hausmann R., 2019. Diversity and classification of microbial surfactants. Second ed., Elsevier Inc. Chapter 2, pp. 41-63.
- [2] Ren X., Zeng G., Tang L., Wang J., Wan J., Liu Y., Yu J., Yi H., Ye S. & Deng R., 2018. Sorption, transport and biodegradation – An insight into bioavailability of persistent organic pollutants in soil, *Science of the Total Environment*, Vol. 610–611, 1154–1163.
- [3] Marchant R. & Banat I.M., 2012. Microbial biosurfactants: challenges and opportunities for future exploitation, *Trends in Biotechnology*, Vol. 30(11), 558-565.
- [4] Naughton P.J., Marchant R., Naughton V. & Banat, I.M., 2019. Microbial biosurfactants: current trends and applications in agricultural and biomedical industries, *Journal of Applied Microbiology*, Vol. 127, 12–28.
- [5] Sobrinho H.B.S., Luna J.M., Rufino R.D., Porto A.F.P. & Sarubbo L.A., 2014. Biosurfactants: classification, properties and environmental applications, *Biotechnology*, Vol. 11, 7-8.
- [6] Fenibo E.O., Douglas S.I. & Stanley H.O., 2019. A review on microbial surfactants: production, classifications, properties and characterization, *Journal of Advances in Microbiology*, Vol. 18, 1-22.
- [7] Sobrinho H.B., Luna J.M., Rufino R.D., Porto A.L.F. & Sarubbo L.A., 2013. Biosurfactants: classification, properties and environmental applications. In book: Recent Developments in Biotechnology, Studium Press LLC, USA, pp. 303-330.
- [8] Vijayakumar S. & Saravanan V., 2015. Biosurfactants - types, sources and applications, *Research Journal of Microbiology*, Vol. 10, 181-192.
- [9] Markande A.R., Patel D. & Varjani S., 2021. A review on biosurfactants: properties, applications and current developments, *Bioresource Technology*, Vol. 330, 124963.
- [10] Lotfabad T.B., Shourianc M., Roostaazada R., Najafabadib A.R., Adelzadeha M.R. & Noghabic K.A., 2009. An efficient biosurfactant-producing bacterium *Pseudomonas aeruginosa* MR01, isolated from oil excavation areas in south of Iran, *Colloid Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 69, 183-193.
- [11] Banat I.M., Makkar R.S. & Cameotra S.S., 2000. Potential commercial applications of microbial surfactants, *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 53(5), 495-508.
- [12] Desai J.D. & Banat I.M., 1997. Microbial production of surfactants and their commercial potential, *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, Vol. 61(1), 47-64.
- [13] Makkar R.S., Cameotra S.S. & Banat I.M., 2011. Advances in utilization of renewable substrates for biosurfactant production, *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 1, 1-19.
- [14] Marcelino P.R.F., Gonçalves F., Jimenez I.M., Carneiro B.C. Santos B.B. & da Silva S.S., 2020. Sustainable production of biosurfactants and their applications. In: Ingle, A. P., Chandel, A.K., da Silva, S.S. (Eds.), *Lignocellulosic Biorefining Technologies*. John Wiley & Sons Ltd, Pondicherry, India, pp. 159-184.
- [15] Rizzo C., Caldarone B., De Luca M., De Domenico E. & Giudice A.L., 2021. Native bilge water bacteria as biosurfactant producers and implications in hydrocarbon-enriched wastewater treatment, *Journal of Water Process Engineering*, Vol. 43, 102271.
- [16] Poonguzhali P., Rajan S., Parthasarathi R., Srinivasan R. & Kannappan A., 2021. Optimization of biosurfactant production by *Pseudomonas aeruginosa* using rice water and its competence in controlling Fusarium wilt of *Abelmoschus esculentus*, *South African Journal of Botany*, Vol. 151, 144-157.
- [17] Ferhat S., Mnif S., Badis A., Eddouaouda K., Alouaoui R., Boucherit A., Mhiri N., Moulai-Mostefa N., & Sayadi S., 2011. Screening and preliminary characterization of biosurfactants produced by *Ochrobactrum* sp. 1C and *Brevibacterium* sp. 7G isolated from hydrocarbon-contaminated soils. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 65, 1182-1188.
- [18] Khelouia L., Eddouaouda K., Hamiche S., Mechri S., Zenati B., Mesbaiah F.Z., Jaouadi B., El Hattab M., & Badis A., 2021. Production of biosurfactant from a novel isolated strain *Bacillus amyloliquefaciens* K2A, *Revue Agrobiologia*, Vol. 11(2), 2628-2640.
- [19] Holmes B., Willcox W.R. & Lapage S.P., 1978. Identification of *Enterobacteriaceae* by the API 20^E system, *Journal of Clinical Pathology*, Vol. 31, 22-30.
- [20] Nurfarahin A.H., Shamzi Mohamed M., & Phang L.Y., 2018. Culture medium development for microbial-derived surfactants production—an overview, *Molecules*, Vol. 23, 1049.
- [21] Tahzibi A, Kamal F, & Assadi M.M., (2004). Improved production of rhamnolipids by a *Pseudomonas aeruginosa* mutant, *Iranian biomedical Journal*, Vol. 8(1), 25-31.
- [22] Cooper D.G. & Goldenberg B.G., 1987. Surface-active agents from two *Bacillus* species, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 53, 224-229.
- [23] Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K. Rebers P.A. & Smith F., 1956. Colorimetric methods for determination of sugars and related substances, *Anal. of Chemistry*, Vol. 28, 350-356.
- [24] Gartshore J., Lim Y.C., & Cooper D.G., 2000. Quantitative analysis of biosurfactants using Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy, *Biotechnology Letters*, Vol. 22, 169-172.

-
- [25] Bodour A.A., Drees K.P. & Maier R.M., 2003. Distribution of biosurfactant-producing bacteria in undisturbed and contaminated arid southwestern soils, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 69(6), 3280-3287.
- [26] Cooper D.G. & Zajic J.E., 1980. Surface-active compounds from microorganisms, *Advanced Applied Microbiology*, Vol. 26, 229-253.
- [27] Batista S.B., Mounteer A.H., Amorim F.R. & Tótola M.R., 2006. Isolation and characterization of biosurfactant/bioemulsifier - producing bacteria from petroleum contaminated sites, *Bioresource Technology*, Vol. 97, 868-875.
- [28] Ghojavand H., Vahabzadeh F., Roayaei E. & Shahraki A.K., 2008. Production and properties of a biosurfactant obtained from a member of the *Bacillus subtilis* group (PTCC 1696), *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 324, 172-176.
- [29] Déziel E., Lépine F., Dennie D., Boismenu D., Mamer O.A. & Villemur R., 1999. Liquid chromatography/mass spectrometry analysis of mixtures of rhamnolipids produced by *Pseudomonas aeruginosa* strain 57RP grown on mannitol or naphthalene, *Biochimica et Biophysica Acta*, Vol. 1440, 244-252.
- [30] Gudina E.J., Teixeira J.A. & Rodrigues L.R., 2010. Isolation and functional characterization of a biosurfactant produced by *Lactobacillus paracasei*, *Colloid Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 76, 298-304.

Morphology and sexual dimorphism of the Salema *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758) on Annaba coasts

Lilia Labiba Groud, Ali Becheker, Mohamed Hichem Kara et Lamya Chaoui

Marine bioresources laboratory, University Badji Mokhtar Annaba

Article Info

Article history:

Received 23/07/2022

Revised 15/12/2022

Accepted 20/12/2022

Keywords:

Salema , *Sarpa salpa* , Biometry,
relative growth , Mediterranean

ABSTRACT

This work deals with the biometrics of the Salema *Sarpa salpa* from the coasts of eastern Algeria. Using metric and meristic criteria, the morphology of the species is characterized and compared to other individuals from different localities in the Mediterranean and the Atlantic. The Salema of the Annaba coasts show an isometry of growth of the majority of the metric characters considered (9 out of 16), both in females and in males, but it is not always the same characters. Two characters show sexual morphological dimorphism: the length of the maxilla and the diameter of the eye. Females are said to have a larger maxilla and orbital diameter. Regarding the numerical criteria, we note their greater extent in the Salema of the Annaba coast compared to the other Mediterranean and Atlantic populations studied.

Corresponding Author:

Email: kara_hichem@yahoo.com

Introduction

The prerequisite for any study of a group of living organisms, animal or otherwise, is the identification of the individuals that compose it. The morphological concept considers that the morphological distinction is the decisive criterion of the rank of the species. This typological concept is sometimes misleading because it overestimates the strictly secondary role of differences in shape which are often the result of different environmental conditions. The main criterion of the rank of the species of a natural population is in fact only represented by reproductive isolation.

In fish, meristic (or numerical) and morphometric characters, and currently morphogeometry, are still used to detect signs of genetic divergence within species, although their use for this purpose has certain drawbacks: (1) their expression generally results from complex interactions between environmental factors and the animal's genetic program, (2) their heritability is polygenic and of variable intensity. This is why the use of this tool is supplemented, whenever possible, by more precise molecular genetic techniques.

The characterization of the morphology is useful in the context of the search for possible different populations within the species, data necessary for the correct management of the stocks present. Indeed, a geographically structured species cannot receive the same modes of management and fishery exploitation, given the differences that can characterize the life history traits (growth, sexual maturity, fertility, etc.) of its different species constituent populations.

The primary objective of this study was therefore to characterize the morphology of the Salema *Sarpa salpa* before addressing other aspects of its biology and dynamics. For this, we used meristic and metric criteria. The goal is to have a regional biometric reference useful for current and future research on the possible differentiation of populations of this species (LENFANT & PLANES, 1996; GONZALEZ-WANGUEMERT et al., 2004). In particular, the influence of sex on morphology will be sought.

1. Materials and methods

1.1. Origin of the samples

Obtaining a representative sample of a population is one of the main problems in the study of the dynamics of animal communities. This study is carried out on samples of fish collected monthly from wholesalers and fishmongers in the city of Annaba during an annual cycle, from March 2010 to March 2011. Their fishing was carried out by means of trawls and gillnets on the coasts from Annaba (fig. 1). A total of 586 fish, with a total length of between 3.9cm and 31.3cm and a total weight ranging from 0.78g to 550g were obtained. The sample used in this morphological study is composed of 128 males: $16.2 < Lt \text{ (cm)} < 27.8$; $60.73 < Pt \text{ (g)} < 324.61$ and 94 females: $17 < Lt \text{ (cm)} < 31.3$; $60 < Pt \text{ (g)} < 550$.

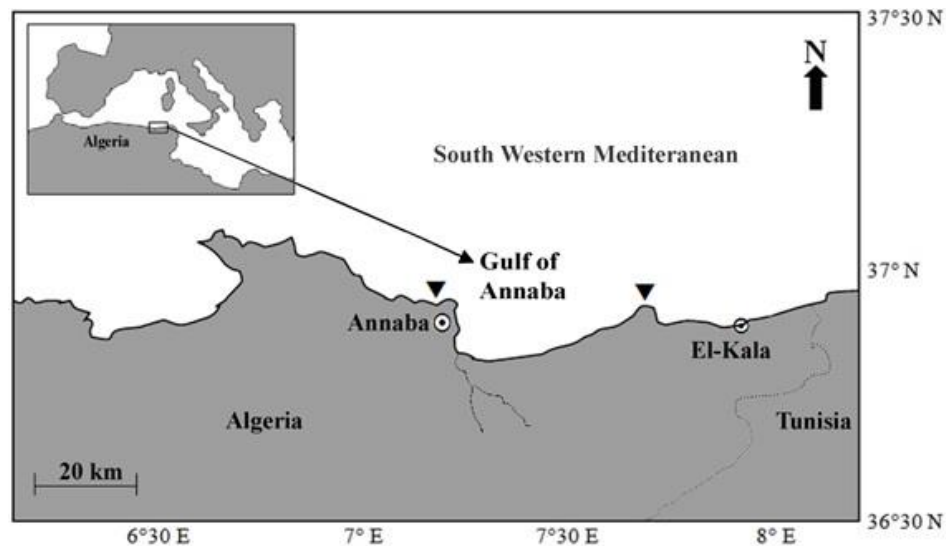


Figure 1. Geographic boundaries of *S. salpa* sampling sites on the coast of Annaba.

1.2. Somatic morphometry

The morphology of each individual is characterized by two types of data: the dimensions of the different parts of the body (metric characters) and the numerical or meristic characters. The combination of these two types of criteria makes it possible to characterize the biometrics of the population considered.

1.2.1. Meristic characters

Seven meristic characters were studied:

- The number of gill rakers: it is counted on the lower and upper part of the first left gill arch under a binocular magnifying glass, except for large specimens. To be considered, a gill rakers must be able to retain a mounted needle, pressed along the gill arch.
- The number of scales on the lateral line: for small specimens, counting is facilitated by the use of a magnifying glass. The limit of the fleshy part of the caudal peduncle (limit of the measurement of the standard length) marks the end of the counting, because the counting of the very last scales is random.
- The number of hard and soft rays of the dorsal fin.
- The number of hard and soft anal fin rays.

Hard rays are easily distinguished from soft rays by their ossified and pointed structure at their distal end. To avoid possible counting errors, the soft rays were counted from their base.

1.2.2. Metric characters

Sixteen metric characters are retained in this study to describe the morphology of *Sarpa salpa*. These are measured on each individual to the nearest millimetre (figure 2). These are: the total length (Lt), the standard length (Ls), the fork length (Lf), the pre-pectoral length (LPp), the post-pectoral length (Lpp), the diameter of eye (Do), pre-orbital length (LPo), post-orbital length (Lpo), body height (Hc), caudal peduncle height (Hpc), body thickness (Ec), pre-dorsal length (LPd), pre-anal length (LPa), maxillary length (Lm), inter-orbital diameter (Dio) and cephalic length (Lc). The total length is measured using an ichthyometer. The standard (Ls), cephalic (Lc), pre-dorsal (Pd) and pre-pectoral (Pp) lengths are assessed using a Plexiglas graduated ruler. The identification of the limit points is done by transparency. All other measurements are made using a dry-point compass.

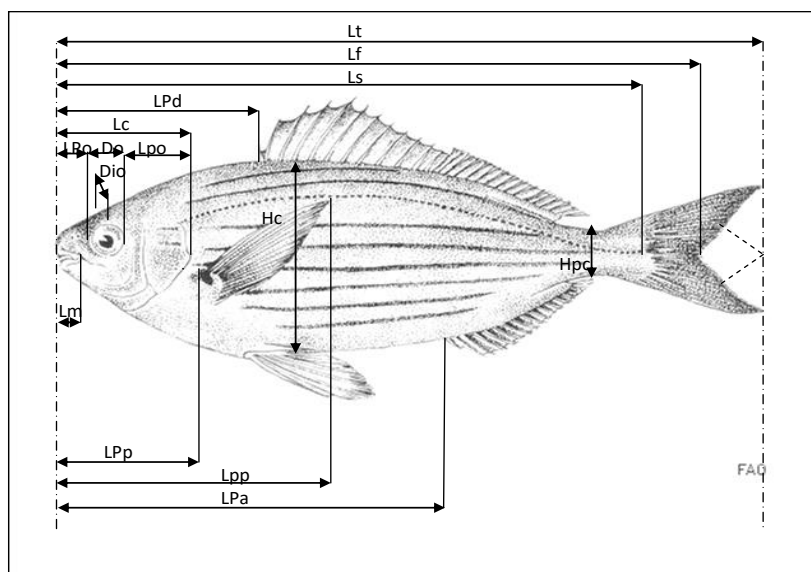


Figure 2. Measurements taken on examined specimens of *Sarpa salpa* from the eastern coasts of Algeria.

Lt: total length, Ls: standard length, Lf: fork length, Lpp: pre-pectoral length, Lpp: post-pectoral length, Do: eye diameter, Lpo: pre-orbital length, Lpo: post length -orbital, Hc: height of the body, Hpc: height of the caudal peduncle, Ec: thickness of the body, LPd: pre-dorsal length, Lpa: pre-anal length, Lm: length of the maxilla, Dio: inter-orbital diameter, Lc: cephalic length.

In order to better describe the possible changes in the relative growth of the different parts of the body of the fish during its somatic growth, the metric criteria are expressed in terms of total length or cephalic length. Thus, in order to put in a more expressive way the relative changes of these dimensions, we used the regression equation of the reduced major axis type, recommended by TEISSIER (1948) for the studies of allometry and whose formula is:

$$Y = a X^b$$

with

a: constant

b: allometric coefficient

The statistical comparison of the allometry coefficient of this relation to the value 1 is carried out using the Student t test (DAGNELIE, 1998). It is a test of equality of standard deviations or variances of two possibly correlated random variables, according to the formula:

$$t_{obs} = \frac{[(b^2 - 1) \cdot \sqrt{n - 2}]}{2b \cdot \sqrt{1 - r^2}} \quad (1)$$

where:

n: number of data pairs

r: correlation coefficient

b: allometric coefficient (slope)

The value of t_{obs} is compared with that of theoretical $t_{1-\alpha/2}$ of the Student distribution, where α represents the confidence threshold at the risk of error of 5% for $n-2$ degrees of freedom. Two cases can arise:

- If $t_{obs} \leq t_{1-\alpha/2}$, we accept the hypothesis. The difference is not significant and the value of $b = 1$. There is therefore an isometry (or simple allometry) between the two parameters studied.

- If $t_{obs} \geq t_{1-\alpha/2}$, we reject the hypothesis. The difference is significant. There is therefore a decreasing (negative) allometry if $b < 1$, or increasing (positive) if $b > 1$.

Statistical analyses are performed using the Microsoft Excel program (V. 2007).

1. 3. Comparison of the morphology of males and females

To detect a possible sexual dimorphism, we compared for each metric character, the equations of the regression lines between the two sexes. For this, we used the Student's "t" test adapted to reduced major axes (MAYRAT, 1959). We first compare the slopes of the two axes by comparing a difference to its standard error:

$$tpe = \frac{|a_1 - a_2|}{\sqrt{\text{Var}(a_1 - a_2)}} \quad (2)$$

at n - 4 degrees of freedom where:

a_1 and a_2 : slopes of the two regression lines.

n: total number of pairs.

If the difference in slope is not significant, then the position of the two straight lines is compared over their entire length and not simply at their origin. The two experimental straight lines are replaced by two parallel "auxiliary straight lines" passing through the centers of gravity of the samples, but with a common intermediate slope. A common variance is calculated around these parallels; this is a combined "tpo" regression:

$$tpo = \frac{Y_{1P} - Y_{2P}}{\sqrt{\text{Var}(Y_{1P} - Y_{2P})}} = \frac{|\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2| - a_p(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{S^2 y_p \left[\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \times \left(\frac{2}{1 + R_p} \right) + \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)^2}{NS^2 X_p} \right]}} \quad (3)$$

where:

$\bar{Y}_{1P} - \bar{Y}_{2P}$: Distance between auxiliary lines.

$\bar{Y}_1$ et $\bar{Y}_2$: mean of the Y of the experimental lines.

$\bar{X}_1$ et $\bar{X}_2$: average of the X of the two experimental straight lines.

a_p : Slope of the auxiliary line.

R_p : Mean correlation coefficient.

$\frac{1}{n_1}(S^2 Y_p)$ et $\frac{1}{n_2}(S^2 Y_p)$: variance of $\bar{Y}_{1P} - \bar{Y}_{2P}$ considered as averages of $Y_{1P} - Y_{2P}$.

$NS^2 X_p$: Covariance of X_p .

N : Total number of pairs.

2. Results

2.1. Meristic characters

The statistical data concerning the distribution of seven specific meristic characters for *Sarpa salpa* are specified in Table 1, independently of the sex or the size of the fish.

Table 1. Statistical distribution of the different meristic characters studied for *Sarpa salpa* from the Algerian eastern coasts (N = 586).

Numeric characters	Mean	Standard deviation	Mode	Extreme values
Number of gill rakers (lower part)	12.483	0.935	12	9-16
Number of gill rakers (upper part)	4.470	0.778	4	3-7
Number of scales on the lateral line	75.462	2.663	75	66-85

Number of hard dorsal fin rays	10.992	0.097	11	10-12
Number of soft dorsal fin rays	15.521	0.903	16	10-18
Number of hard anal fin rays	3	-	3	-
Number of anal fin soft rays	13.794	0.682	14	10-15

From the point of view of meristic characters, the left gill arch of the Salema from the eastern coasts of Algeria has 9 to 16 lower gill rakers (mode = 12) and 3 to 7 upper gill rakers (mode = 4). The dorsal fin has 10 to 12 ossified rays (mode = 11) and 10 to 18 soft rays (mode = 16). The anal fin has 3 spines (mode = 3) and 10-15 soft rays (mode = 14). The number of scales on the lateral line varies between 66 and 85, giving a modal value of 75 scales.

2. 2. Metric characters

The allometry relationships of the different metric characters as a function of total length (Lt) or cephalic length (Lc) and their correlation coefficients are recorded in Table 2 in the case of the total population. All the parameters measured are significantly correlated with total length ($0.774 \leq r \leq 0.999$; $P \leq 0.001$) or cephalic length ($0.689 \leq r \leq 0.985$; $P \leq 0.001$). The weakest correlation is that which links the length of the maxilla to the length of the head ($0.689 \leq r \leq 0.907$; $P \leq 0.001$).

In the total population, growth isometry concerns three characteristics of the sixteen measured: LPa/Lt, Hpc/Lt, Lpo/Lc. A minor allometry is demonstrated in seven cases (Lf/Lt, Lc/Lt, LPd/Lt, LPp/Lt, Lpp/Lt, Lm/Lc, Do/Lc), whereas the major allometry is verified only in five cases (Ls/Lt, Ec/Lt, Hc/Lt, Dio/Lc, LPo/Lc). In males, the regression equations show that Lf/Lt, Ls/Lt, LPd/Lt, Lpp/Lt, LPa/Lt, Hpc/Lt, Lm/Lc, Dio/Lc, Lpo/Lc exhibit isometric growth. The cephalic and pre-pectoral lengths present a lower allometry compared to the total length, similarly a lower allometry is observed for the Do/Lc ratio. An increasing allometric growth is noted for the following characters: Ec/Lt, Hc/Lt, LPo/Lt. In females, the growth isometry concerns nine characters as for males, but not the same. These are: Lf/Lt, Ls/Lt, Lc/Lt, LPp/Lt, LPa/Lt, Hpc/Lt, Lm/Lc, Dio/Lc, Lpo/Lc. The pre-dorsal length, the thickness of the body, the height of the body present an increasing allometry compared to the total length. The pre-orbital length shows the same allometry compared to the cephalic length, whereas the minor allometry is verified only in two cases (Lpp/Lt and Do/Lc).

2. 3. Sexual dimorphism

The equality of the residual variances between the males and the females is confirmed by the F test. The "tpe" values show a significant difference ($P < 0.001$) in slopes for 5 parameters: fork length, standard and pre-anal lengths, body thickness and caudal peduncle height, while "tpo" values show that the positions of these straight lines are significantly different ($P < 0.001$) in the case of maxillary length and orbital diameter (tab. 3). The length of the maxilla (Lm) and the orbital diameter (Do) grow more rapidly in females than in males. The seven characters above highlight the existence of a sexual dimorphism in *Sarpa salpa*.

Table 2. Correlation coefficients and allometric relationships between the different lengths measured in the total population of *S. salpa* from the eastern coasts of Algeria (N = 586).

Function	R	Regression equation	Allometric relationship	Allometry	Limit values
Lf = f (Lt)	0.999	Lf = 0.974 Lt – 0.02	Lf = 1.954 Lt ^{0.974}	t _{obs} =14.776 (-)	3.9 ≤ Lt ≤ 31.3 3.7 ≤ Lf ≤ 27.9
Ls = f (Lt)	0.998	Ls = 1.012 Lt – 0.105	Ls = 0.785 Lt ^{1.012}	t _{obs} =4.559 (+)	3.9 ≤ Lt ≤ 31.3 3.3 ≤ Ls ≤ 26.1
Lc = f (Lt)	0.993	Lc = 0.841 Lt – 0.49	L = 0.323 Lt ^{0.841}	t _{obs} =35.757 (-)	3.9 ≤ Lt ≤ 31.3 1 ≤ Lc ≤ 6.2
LPd = f (Lt)	0.979	LPd = 0.917 Lt – 0.474	LPd = 0.335 Lt ^{0.917}	t _{obs} =10.336 (-)	3.9 ≤ Lt ≤ 31.3 1.4 ≤ LPd ≤ 8.9
LPp = f (Lt)	0.991	LPp = 0.848 Lt – 0.457	LPp = 0.349 Lt ^{0.848}	t _{obs} =29.911 (-)	3.9 ≤ Lt ≤ 31.3 1.2 ≤ LPp ≤ 6.8
Lpp = f (Lt)	0.986	Lpp = 0.930 Lt – 0.313	Lpp = 0.486 Lt ^{0.930}	t _{obs} =10.6 (-)	3.9 ≤ Lt ≤ 31.3 1.7 ≤ Lpp ≤ 12.1
LPa = f (Lt)	0.989	Lpa = 1.006 Lt – 0.268	Lpa = 0.539 Lt ^{1.006}	t _{obs} =0.973 (=)	3.9 ≤ Lt ≤ 31.3 2.1 ≤ Lpa ≤ 18
Ec = f (Lt)	0.962	Ec = 1.354 Lt – 1.382	Ec = 0.041 Lt ^{1.354}	t _{obs} =27.239 (+)	3.9 ≤ Lt ≤ 31.3 0.2 ≤ Ec ≤ 4.6

Hc= f (Lt)	0.971	Hc = 1.208 Lt – 0,82	Hc = 0,151Lt ^{1,208}	t _{obs} =19.157 (+)	3.9 ≤ Lt ≤ 31.3 0.7 ≤ Hc ≤ 10,7
Hpc= f (Lt)	0.950	Hpc =1.006 Lt– 1,193	Hpc = 0,064 Lt ^{1,006}	t _{obs} =0.459 (=)	3.9 ≤ Lt ≤ 31.3 0.2 ≤ Hpc ≤ 2.2
L _m =f(L _c)	0.907	L _m =0.872 L _c –0,529	L _m =0,295 L _c ^{0,872}	t _{obs} =7.900 (-)	1 ≤ L _c ≤ 6,2 0.3 ≤ L _m ≤ 1.7
Do =f (L _c)	0.940	Do =0.721 L _c – 0,398	Do =0,399 L _c ^{0,721}	t _{obs} =23,576 (-)	1 ≤ L _c ≤ 6,2 0.4 ≤ Do ≤ 1.5
Dio =f (L _c)	0.981	Dio =1.255 L _c – 0,574	Dio =0,266 L _c ^{1,255}	t _{obs} =28,590 (+)	1 ≤ L _c ≤ 6,2 0.2 ≤ Dio ≤ 2.6
LPo= f (L _c)	0.977	LPo = 1.097 L _c – 0,54	LPo = 0,288 L _c ^{1,097}	t _{obs} =10,458 (+)	1 ≤ L _c ≤ 6,2 0.3 ≤ LPo ≤ 2.3
Lpo= f (L _c)	0.985	Lpo = 1.007 L _c – 0,386	Lpo = 0,411 L _c ^{1,007}	t _{obs} =0,971 (=)	1 ≤ L _c ≤ 6,2 0.4 ≤ Lpo ≤ 2.7

=: isometry, +: majorant allometry, -: minorant allometry

Table 3. Comparison of the slope and the position of the regression lines in females and males of *Sarpa salpa* from the eastern coasts of Algeria.

Function	Regression equation		Homogeneity of variances		tpe		tpo	
	Females	Males	F _{obs}	F _{1-α/2} α=0.05	t _{obs}	t _{1-α/2} α=0.001	t _{obs}	t _{1-α/2} α=0.001
Lf=f(Lt)	Lf=1.015Lt -0.074	Lf = Lt -0.054	1.33	1.37	3.75	3.337*	-	3.337
Ls=f(Lt)	Ls=1.030Lt -0.129	Ls =1.017Lt -0.112	1.22	1.37	6.5	3.337*	-	3.337
Lc=f(Lt)	Lc=0.939Lt-0.619	Lc=0.928 Lt -0.606	1.01	1.37	1.83	3.337	2.967	3.337
LPd=f(Lt)	LPd=1.121Lt-0.744	LPd =1.071Lt -0.676	1	1.37	2.5	3.337	-	3.337
LPp=f(Lt)	LPp=0.939Lt -0.576	LPp=0.910Lt -0.54	1.02	1.37	2.9	3.337	-	3.337
Lpp=f(Lt)	Lpp=1.924Lt-0.306	Lpp=1.053Lt -0.477	1.02	1.37	3	3.337	-	3.337
LPa=f(Lt)	LPa=1.045Lt -0.324	LPa= 0.964Lt -0.209	1.11	1.37	8.1	3.337*	-	3.337
Ec=f(Lt)	Ec=1.378Lt-1.411	Ec=1.446Lt-1.499	1.05	1.37	3.4	3.337*	-	3.337
Hc=f(Lt)	Hc=1.196Lt -0.814	Hc=1.214Lt -0.827	1	1.37	0.58	3.337	2	3.337
Hpc=f(Lt)	Hpc=0.893Lt-1.046	Hpc=0.857Lt-0.999	1.01	1.37	3.6	3.337*	-	3.337
L _m =f(L _c)	L _m =1.080L _c -0.679	L _m =1.019L _c -0.619	1.06	1.37	1.84	3.337	7	3.337*
Do=f (L _c)	Do=0.806L _c -0.467	Do=0.807L _c -0.452	1.12	1.37	0.05	3.337	4.666	3.337*
Dio=f (L _c)	Dio=1.096L _c -0.475	Dio=1.076L _c -0.466	1.01	1.37	2	3.337	-	3.337
LPo=f(L _c)	LPo= 1.209L _c -0.615	LPo=1.153L _c -0.57	1.01	1.37	2.8	3.337	-	3.337
Lpo=f(L _c)	Lpo= 1.048L _c -0.41	Lpo=1.057L _c -0.415	1.01	1.37	0.37	3.337	0.333	3.337

*: significant difference

Discussion

The various morphometric characters considered have correlation coefficients close to 1, which express their strong relationship with total length or cephalic length. The character that seems the least related to size is the length of the maxilla (Lm). This phenomenon is classic in fish and reflects a slowing down and then a cessation of maxillary growth.

The regressions of the different parameters according to the total length or the cephalic length were defined in order to evaluate their allometric constants. The majority of these characters (44.46%) has a slower growth (minor allometry) than the total length or the cephalic length. Growth isometry is noted for only 20% of the traits examined, while 33.3% of the traits show an increasing allometry, indicating their faster growth in relation to total length or head length. Biometric relationships in saup were only addressed by BAYHAN and KARA (2015) in Izmir Bay in Turkey and only concerned standard and fork lengths. On 927 individuals, both sexes combined, these authors highlight an isometry (1.06) of growth in the case of Lf/Lt and a minor allometry (0.84) in the case of Ls/Lt. The same conclusions hold when the sexes are separated.

Depending on the sex, the relative growth evolves in a different way. In males, the isometry is verified for 60% of the characters considered and the same percentage, i.e. 20% of the parameters measured, show an allometric increase or decrease. In females, 60% of the parameters examined have an isometric growth as in males, 26.66% show an increasing allometry and 13.33% show a decreasing growth. The statistical analysis that we have applied shows that certain characters can be used to differentiate the sexes. It is the length of the maxilla and the orbital diameter which seem to be valid for the distinction of males and females. The latter would have a larger maxilla and orbital diameter. This sexual dimorphism is encountered in other teleost fish living in the Mediterranean, such as the sea bass *Dicentrarchus labrax* where the females have a shorter maxilla (KARA, 1997), while BARNABE (1973) finds in the same species other characters involved in sexual dimorphism, such as the lengths of the head, the pre-anal, the pre-dorsal and the height of the body which are greater in the female. In the baraccuda *Sphyræna sphyræna*, the length of the upper jaw is the only character involved in sexual dimorphism (BOUREHAIL, 2004).

Regarding numeric characters, Table 2.4 compares our results with those obtained in other localities in the Mediterranean and the Atlantic. The number of gill rakers on the lower (9-16) and upper (3-7) parts of the left first gill arch shows a different dispersion from that found by DE LA PAZ (1975), WHITEHEAD et al. (1986) and FISHER et al. (1987) in different regions of the Mediterranean (9-12/ 6-9) and the Atlantic (15-21) (DE LA PAZ, 1975). The number of lateral line scales ranges from 66 to 85. This interval is wider than that observed by DE LA PAZ (1975), WHITEHEAD et al. (1986) and FISHER et al. (1987) in the Mediterranean (between 58 and 67) and in the Atlantic between (57 and 68) (DE LA PAZ, 1975). The number of hard fin rays dorsal (10-12) is constant, while that of the soft rays (10-18) is variable (12-16) (DE LA PAZ, 1975; WHITEHEAD et al., 1986; FISHER et al., 1987). With 10 to 15 soft rays, the anal fin is distinguished by a wider extent than elsewhere in the Mediterranean and the Atlantic (12-14) (DE LA PAZ, 1975; WHITEHEAD et al., 1986; FISHER et al., 1987). However, morphology alone cannot claim to lead to absolute certainty of the results in all cases, since for each species, the probability is not zero to encounter individuals whose characters deviate from the limit values specific to the species considered. Observed discrepancies in number of characters, such as number of gill rakers, lateral line scales or fin rays, may be due to methodology (counting limits) which often is not specified.

Table 4. Comparison of distribution of meristic characters of *Sarpa salpa* in different areas of the Mediterranean and the Atlantic.

Characters	Mediterranean*	Atlantic**		Present study
Lower gill rakers	9-12	15-21		9-16
Upper gill rakers	6-9			3-7
Lateral line scales	58-67	55-68	57-68	66-85
Hard dorsal fin rays	XI-XII	XI-XIII	XI-XIII	X-XII
Soft dorsal fin rays	12-15	12-16	12-16	10-18
Hard anal fin rays	III	III	III	III
Soft anal fin rays	12-14	12-14	12-14	10-15

*WHITEHEAD et al. (1986) ; FISCHER et al. (1987)

**DE LA PAZ, (1975)

References

- [1] Barnabe G., 1973. Etude morphologique du loup *Dicentrarchus labrax* (L) de la région de Sète. – *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, Vol.37,397-410.
- [2] Bayhan B. & Kara A., 2015. Length-Weight and Length-Length Relationships of the Salema *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758) in Izmir Bay (Aegean Sea of Turkey) *Pakistan Journal of Zoology*, Vol. 47(4),1141-1146.
- [3] Bourehail N., 2004. Les Sphyraenidés des côtes algériennes. Biologie et dynamique du Barracuda *Sphyraena sphyraena* (Linnaeus, 1758). Thèse de Magister, Université d'Annaba, 123 p.
- [4] Dagnelie P., 1975. Théorie et méthodes statistiques. 2^{ème} Ed. Les méthodes de l'inférence statistique. Les presses agronomiques de Gembloux. 451 pp.
- [5] De Lapaz R. M., 1975. Systématique et phylogénèse des Sparidae du genre *Diplodus* Raf. (Pisces, Teleostei). *Trav. Doc. ORSTOM*, Vol. 45,1-96.
- [6] Fischer W., Schneider M. & Bauchot M. L., 1987. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Méditerranée et Mer noire. Zone de pêche 37, Vol. 1 et 2, 762 p et 660 p.
- [7] Fischer W., Schneider M. & Bauchot M. L., 1987. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Méditerranée et Mer noire. Zone de pêche 37, Vol. 1 et 2, 762 p et 660 p.
- [8] González-Wangüemert M., Giménez-Casaldueiro F. & Pérez-Ruzafa A., 2004. Genetic differentiation of *Elysia timida* (Risso, 1818) populations in the Southwest Mediterranean and Mar Menor coastal lagoon. *Biochem. Syst. Ecol.*, 34(6): 514-527. DOI: [10.1016/j.bse.2005.12.009](https://doi.org/10.1016/j.bse.2005.12.009)
- [9] Kara M. H. & Frehi H., 1997. Etude morphologique du loup *Dicentrarchus labrax* du golfe d'Annaba. Différenciation d'une population lagunaire voisine. *J. Rech.Océanogr.*, Vol. 22(2), 45-50.
- [10] Lenfant P. & Planes S., 1996. Using allozyme markers to distinguish populations of white seabream (*Diplodus sargus*, Linné 1758). *Iso. Bull.*, Vol. 29, 32.
- [11] Mayrat A., 1959. Nouvelle méthode pour l'étude comparée d'une croissance relative dans deux échantillons. Application à la carapace de *Penaeus kerathurus* (Forsk.). – *Bulletin de l'I.F.A.N.*, XXI, série A : 1.
- [12] Teissier G., 1948. La relation d'allométrie : sa signification statistique et biologique. *Biometrics*, Vol.4 (1), 14-53.
- [13] Whitehead P.G.P., Bauchot M. L., Hureau J.C., Nielsen J. & Tortonese E., 1986. Fishes of the north eastern Atlantic and the Mediterranean, Vol II. 515-1007. UNESCO Paris,780-792.

Study of the electrochemical behavior of Al-Zn-In based sacrificial anodes in sea water

H. Ferkous¹, A. Dilemi¹, A. Abdennouri^{2,3}, S.I.R Malha¹

¹Mechanical Engineering and Materials Laboratory. Department of Technology, Faculty of Technology. University August 20th, 1955 of Skikda.21000. Algeria.

²Laboratory of Physico-Chemistry of Surfaces and Interfaces, Department of Process Engineering, Faculty of Technology University August 20th, 1955 of Skikda, BP 26, Route El Hadaik, 21000 Skikda, Algeria

³ Laboratoire de Catalyse Bioprocédés et environnement, Département de génie des procédés, Faculté de technologie Université 20 aout 1955 de Skikda, BP 26, Route El Hadaik, 21000 Skikda, Algerie.

Article Info

Article history:

Received 13/05/2023

Revised 02/07/2023

Accepted 04/07/2023

Keywords:

Sacrificial anodes, Al-Zn-In,
Polarization, Impedance.

ABSTRACT

Cathodic protection is one of the most commonly used methods to protect steel structures immersed in seawater. This mode of protection may be used alone or associated with a coating, such as paint systems. This work aims to determine the durability of this protection system. We have studied the sacrificial nature of anodes made from Al-Zn alloy. The different materials used have been subjected to stationary and non-stationary electrochemical tests, especially electrochemical impedance spectroscopy (EIS), which is then characterized by EDX and SEM. In the case of sacrificial anodes, the results have highlighted the conditions of activation and passivation of these anodes, which are of particular industrial interest. A relationship has been established between the functioning of the studied anodes and the nature of the corrosion products and revealing three areas of resistance and suggesting complex mechanisms for localized corrosion.

Corresponding Author: Hana Ferkous

Email: h.ferkous@univ-skikda.dz

1. INTRODUCTION

Corrosion is an undesirable phenomenon that reduces the lifespan of metallic materials while destroying their brilliance and purity. Metals deteriorate through corrosion, which results from their contact with the environment. It is a chronic problem that cannot be entirely ignored. Metals' chemical and physical characteristics deteriorate in such hostile settings [1-2]. For the objective of avoiding corrosion in metals, many methods are employed. An appropriate inhibitor provides a number of benefits, including strong inhibitory effectiveness, cheap cost, minimal toxicity, and ease of manufacture. In general, inhibitors have been utilized to minimize metal loss in corrosive environments.

Many industries, including the chemical and petrochemical ones, use metal in a variety of ways. One of the most practical ways to prevent the corrosion of metals in an acidic medium is to use corrosion inhibitors [3]. The most practical and economical method of mitigating corrosion is the use of a protective coating or paint. Coatings and paints, despite being very thin, can be rapidly placed over large areas and offer protection. The price of labor and materials is typically less than the worth of the thing being safeguarded. Over the past century, corrosion-resistant coating and paint technology has improved steadily, yielding a wide range of options for maintaining a variety of substrates in a variety of conditions.

The mature field of coatings is always creating new substrates and application techniques to address evolving needs. In the past thirty years, coating technology has evolved significantly in response to environmental concerns. New coating systems and application techniques are being developed as a result. Cathodic protection is regarded as the most dependable and effective strategy for controlling corrosion, particularly in various marine conditions. Cathodic protection systems often fall into one of two categories: 1) sacrificial anode cathodic protection; and 2) impressed current cathodic protection. The first system has been extensively used, although maintaining it is challenging and occasionally constrained by the availability of an electric power supply. The second approach seems more practical because it doesn't require external wiring or an extra power source [4]. However, it cannot supply the desired current or voltage for the best protection and is not changeable after installation. Therefore, there is a great need for a straightforward sacrificial anode technology that can effectively provide cathodic protection for reinforced concrete. An ideal sacrificial anode needs to provide adequate cathodic protection current and exhibit a very low rate of self-decomposition or corrosion. Because of their high current efficiency, low activity potential, inexpensiveness, aluminum sacrificial anodes are widely employed for cathodic protection of structures in marine environments [5]. Yet, during actual

use, sacrificial anodes may be exposed to the impact of microbial life activities, significantly reducing their effectiveness.

The performance of anti-microbial attachment of aluminum sacrificial anodes has been the subject of numerous investigations, and numerous studies have demonstrated a clear correlation between the performance of anti-microbial attachment and the composition of alloy components [6]. There is little doubt that commercially available aluminum sacrificial anodes do not function as well as Al-Zn-In base anodes in Zn and in, the activator elements, ensure uniform anode dissolution and avoid polarization. The material's great current efficiency, though, is a benefit. Numerous researchers are attempting to enhance the electrochemical characteristics of Al-Zn-In alloys [7].

The electrochemical behavior of Al-Zn-In alloys was previously investigated [9-11]. While precipitates received less attention, the majority of them concentrated on the effect of trace elements on the electrochemical properties of an anode. In the case of Al-Zn-In alloys, Bessone et al. noted that the amount of In^{3+} present at the interface determines the level of activation obtained in the Al anode [12,13]. The material that is most frequently used for developing sacrificial anodes for averting corrosion in steel structures is aluminum. But in aluminum, pitting corrosion rather than uniform corrosion takes place. This is because the passive layer on the aluminum surface naturally develops quickly. Microstructural defects in the oxide film could lead to film breakdown [11] Pit corrosion arises when Al alloy is exposed to aggressive electrolytes, resulting in localized ion penetration through the film at the locations of the microstructural defects [15]. This is the circumstance to take into account for pit initiation. Despite the fact that the Al-Zn-In sacrificial anode offers fantastic electrochemical qualities, but little is known about how it behaves as it corrodes. Graver et al. proposed that indium segregation on the alloy surface was what induced aluminum activation in chloride solution, and annealing at 300 °C proved that this was indeed the case [14]. In order to better comprehend the corrosion mechanism, this study investigated the corrosion behavior of the alloy Al-Zn-In in a seawater solution.

2. EXPERIMENTAL

Electrochemical experiments is being carried out in a three-electrode cell using a VoltaLab 40 potentiostat/galvanostat operated by a PC. A platinum wire and a saturated calomel electrode (SCE) serve as the counter and reference electrodes, respectively. The working electrode in this case is a revolving disc electrode. This system has the benefit of achieving uniform and steady stirring in the region of the electrode, allowing the hydrodynamic conditions to be determined.

The electrodes are 5 mm diameter cylinders installed on a door steel sample. The device is then coated with epoxy resin and covered with cataphoresis to isolate the unexposed portions and adapt to the sample cell (diameter ≈ 18 of the cylinder, 30 mm). The electrodes were performed and the material is made of an aluminum-zinc-indium alloy; its chemical composition is illustrated in tables in Figure 1.

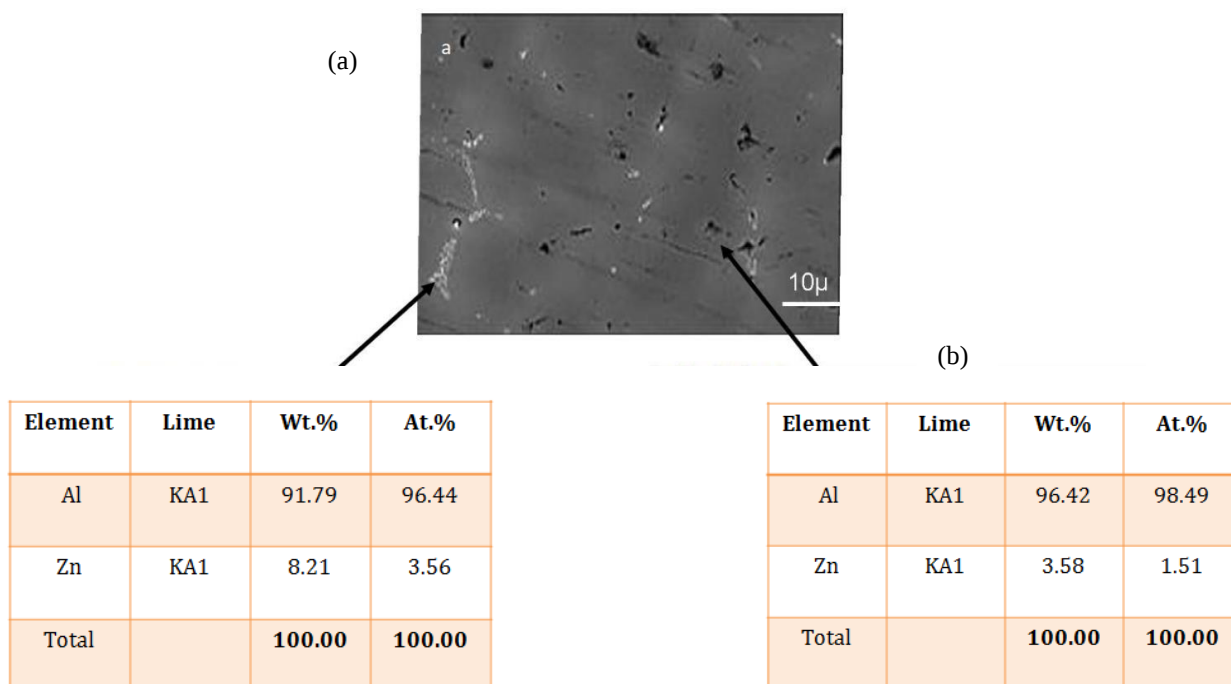


Figure 1. (a) SEM observation, (b) EDX analysis of the aluminum anode surface after preparation surface.

The electrodes are polished on abrasive sheets of silicon carbide SiC grain in 1000 (≈ 20 microns grain) and 4000 (≈ 5 microns grain), then placed in ethanol and sonicated, passed back to the ultrasonic bath, and rinsed with water. A scan rate of 30 mV/mn was used to obtain the potentiodynamic polarization curves. Because of

this speed, quasi-stationary settings were obtained and the results achieved good reproducibility. The plot of the polarization curves in the potentiostatic regime seeks to investigate the behavior of the anode in the areas bounded by the potential feature values E_{corr} , E_{rup} , and E_{pass} . After each polarization in chloride media, impedance measurements are taken at 25 °C.

At frequencies ranging from 100 kHz to 1 MHz, the amplitude of the applied sinusoidal potential drop is 10 mV peak to peak, with 10 points per decade. The simple method of parameter tweaking was applied to simulate the results of electrochemical impedance spectroscopy. Z. VIEW for equivalent circuits is the software program that has been developed. The electrode surface is characterized by SEM (ultra 55).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Polarization curves

The polarization curves generated in seawater and potentiocinetic chloride media are shown in Figure 2, where a plateau is followed by a last, abrupt current. Similar gaits were detected in other experiments [16], which are suggestive of a metal's tendency to passivation [17-19]. In the presence of chlorides, these alloys are subjected to a localized attack for all potential values greater than the Pourbaix et al [20]. breakdown potential. The breakdown potential is correlated with a sharp and final current.

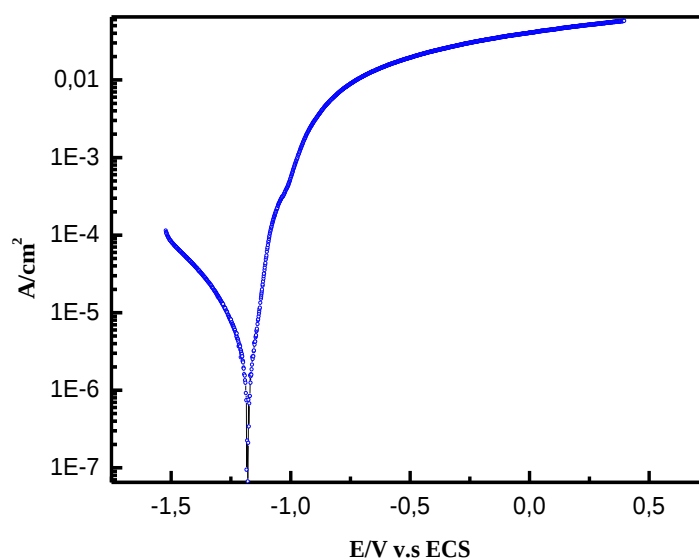


Figure 2. Potentiocinetic polarization curves of Al-Zn-In

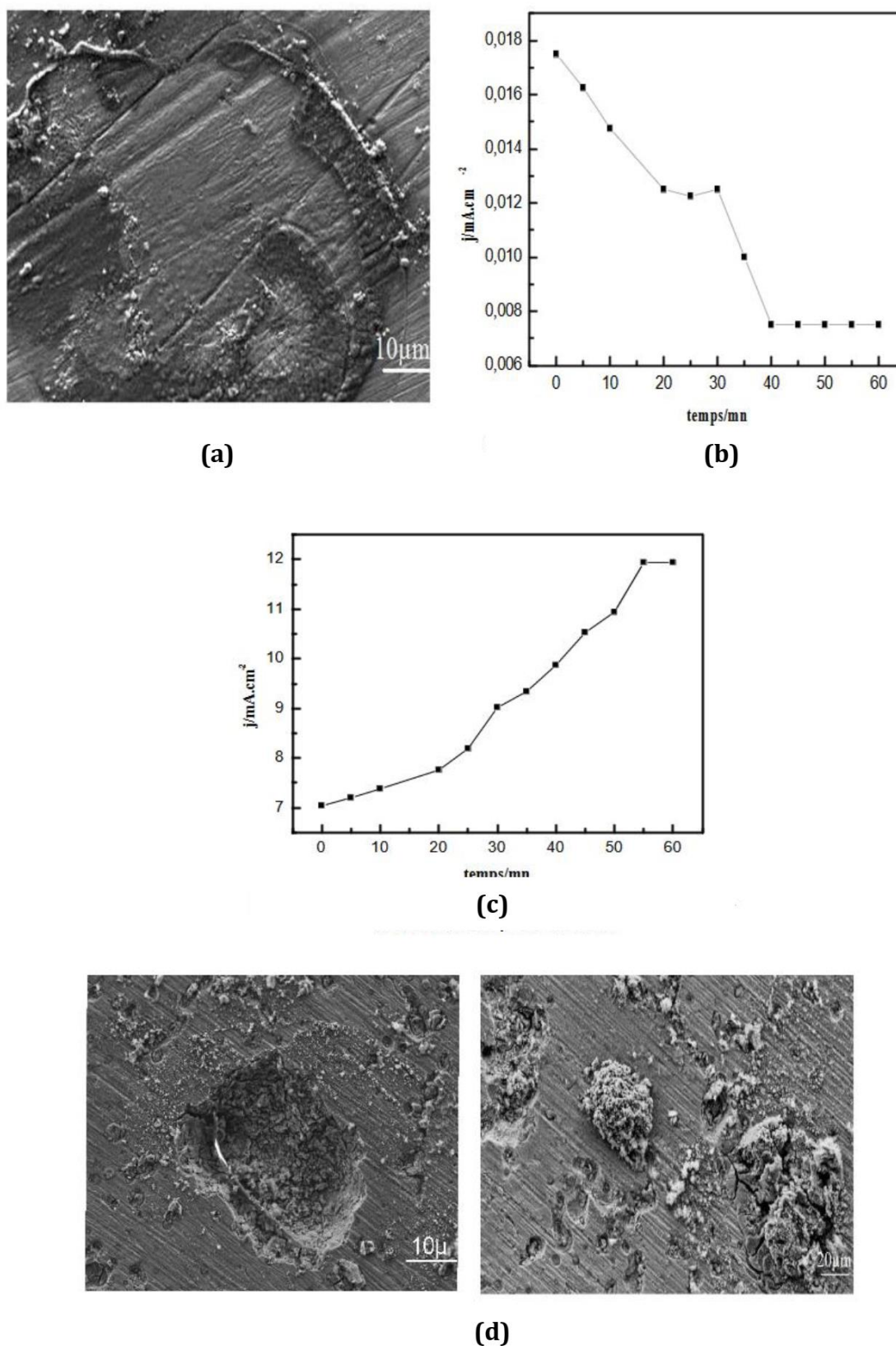


Figure 3. Potentiostatic polarization curves of Al-Zn-In : (a) passive state of the Al-Zn-In andoe SEM observation, (b) Potentiostatic polarization curves of Al-Zn-In at 1050 mV/ECS ($E_{corr} < E_{imp} < E_R$), (c) Potentiostatic polarization curves of Al-Zn-In at 1050 mV/ECS at ($E_{imp} > E_R$), d) Active state of the Al-Zn-In andoe SEM observatrion.

The potentiostatic polarization curves in the passive and active state was illustraterd in Figure.3 , where Passive state of Al-Zn-In anode depicted in Figure 3.(b) and were displayed at potential levels measured in several

characteristic domains where the curve was gradually decrease, and this highlighted at SEM observation if Figure 3.(a) where surface was not damaged. And when the imposed potential exceeds the rupture potential ($E_{imp} > E_R$), the anode current gradually increases Figure 3.(c), which is linked to an active dissolution that results in the formation of pits highlighted by SEM observations Figure 3.(d). Surface activation is attributed to indium which enhances chloride adsorption, is involved in activation, and is implicated in local acidity [15,16, 19,21].

3.2. Impedance diagrams

The impedance diagrams recorded in the Nyquist representation after each polarization test in the potentiostatic regime as shown in Figure. 4 and as a function of immersion time as highlighted in Figure 5. Under pitting conditions ($E > E_R$) and long immersion times (3–5 days), the impedance diagram reveals two high-frequency capacitive loops and a very low-frequency inductive loop ($f < 10^{-1}$). The first high-frequency loop is caused by the double-layer capacitance in parallel with the transfer resistance, while the second is most likely caused by the disintegration of the passive layer and an acceleration of the material's degradation. This conclusion has been reported in other publications and is compatible with diffrents works [18-22]. The pitting behavior seen by other researchers is linked to the inductive component of the impedance diagrams. There is a huge dispersion of the points under passivation circumstances and at very low frequencies, and the inductive loop no longer occurs. The scattering of the dots can be attributed to a surface metastable state represented by current variations.

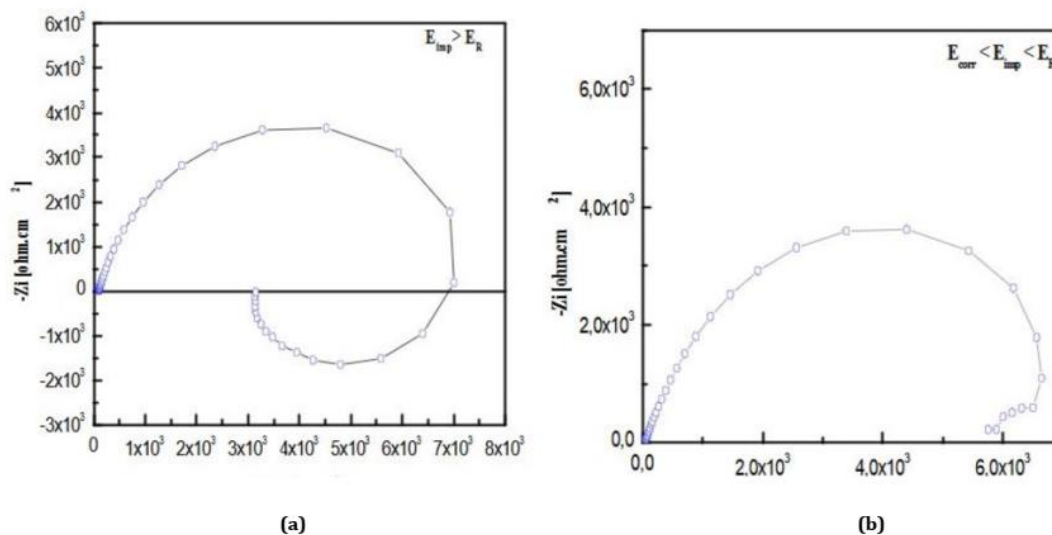


Figure 4. Impedance diagram of Al-Zn-In in sea water under different conditions : (a) : Pitting conditions, (b): Passivation conditions.

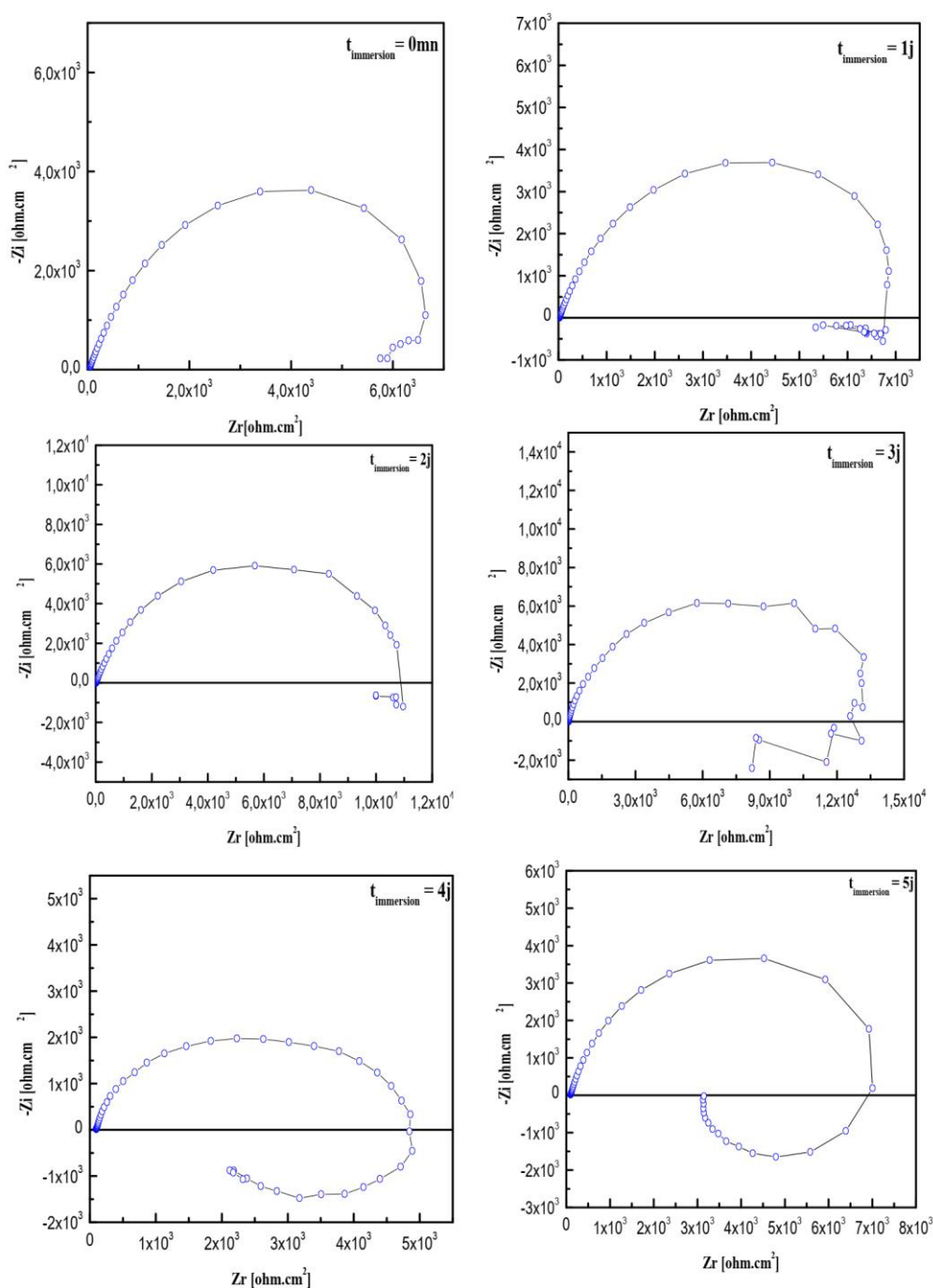


Figure 5. Impedance diagrams of Al-Zn-In in sea water as a function of time

3.3. Electrical circuit proposed models

The program ZView was utilized to choose models and alter electrical parameters in the instance of electrochemical sacrificial anodes. The comparable circuit under passivity is given by two parallel RC components. The inductive loop formerly attributed to the presence of Bite is no longer observable under these conditions.

In this circuit illustrated in Fig. 6.a, R_e represents the electrolyte resistance; C_d is the double-layer capacitance, and R_t transfer resistance, while C_1 and R_1 represent the capacitance and resistance of the passive film, respectively.

The diagram obtained under the conditions of pitting is a circuit-2RC RL illustrated by the Figure. 6.b below. In this circuit, the R_e represents the resistance of the electrolyte, C_d the double-layer capacitance, and resistance R_t transfer, C_1 and R_1 represent respectively the capacitance and resistance of the passive film.

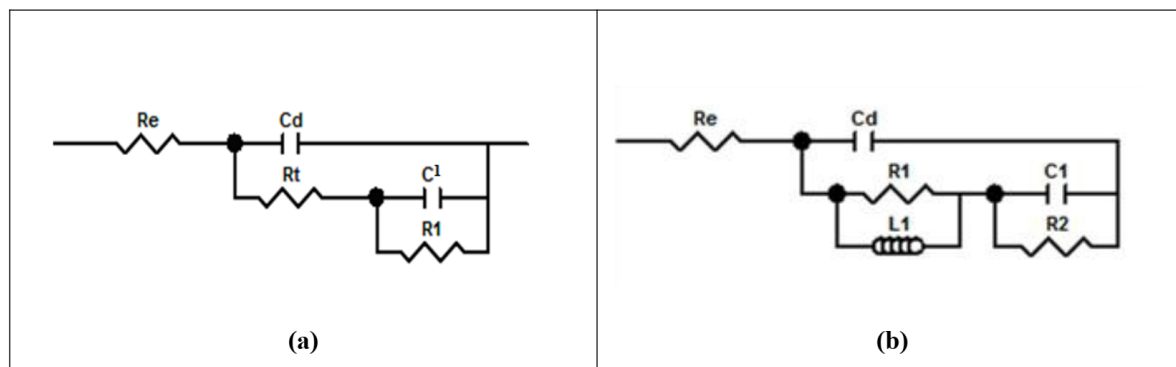


Figure 6. Electrical circuit proposed models.

Table 1: electrical parameters in the conditions of pitting

Re ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	Cd (μFcm^{-2})	Rt ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	L1	C1 (μFcm^{-2})	R1 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)
24	0,010842	1,48	0,13245	0,046416	1,288

Table 2: electrical parameters in the passivation conditions

Re ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	Cd (μFcm^{-2})	Rt ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	C1 (μFcm^{-2})	R1 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)
26	0,026984	2,654	5,26657E14	1,77E9

These results are similar to results obtained by other researchers Xudong Li et al, [22] who studied the effect of precipitates on the performance of sacrificial anodes based on aluminum.

4. CONCLUSION

In this study, the corrosion resistance of an Al-Zn-In sacrificial anode in seawater is examined. The resulting potentiodynamic polarization curves identified three areas: a cathode region for $E < E_{\text{corr}}$, a passivity range for $E_{\text{corr}} < E < E_R$, and field training bites for $E > E_R$.

The impedance measurements revealed two-time constants in passivation conditions and three-time constants in pit formation situations. Equivalent circuits could reproduce the experimental patterns founded, taking into account the electrochemical behavior as a function of applied voltage and surface state. These findings suggest that localized corrosion is triggered by a local breakdown of the passive film. It occurs via complex mechanisms that are not always clear to comprehend. To preserve electroneutrality, the mechanism started by a mid-chloride ion adsorption of Cl in the natural oxide layer, followed by a rupture with the problems (grain boundaries) at the bottom of the injection. This is the phase of propagation. Complexes are formed of metal chlorides that are then hydrolyzed.

REFERENCES

- [1] M. Gabsi, H. Ferkous, A. Delimi, A. Boublia, C. Boulechfar, A. Kahlouche, A.S. Darwish, T. Lemaoui, Y. Benguerba, (2023), The curious case of polyphenols as green corrosion inhibitors: a review on their extraction, design, and applications, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 1–25.
- [2] R. Hsissou, F. Benhiba, O. Dagdag, M. El Bouchti, K. Nouneh, M. Assouag, S. Briche, A. Zarrouk, A. Elharfi, (2020). Development and potential performance of prepolymer in corrosion inhibition for carbon steel in 1.0 M HCl: Outlook from experimental and computational investigations, *J. Colloid Interface Sci.* Vol. 574, 43–60.
- [3] A. Delimi, H. Ferkous, M. Alam, S. Djellali, A. Sedik, K. Abdesalem, C. Boulechfar, A. Belakhdar, K.K. Yadav, M.M.S. Cabral-Pinto, B.H. Jeon, Y. Benguerba, (2022). Corrosion protection performance of silicon-based coatings on carbon steel in NaCl solution: a theoretical and experimental assessment of the effect of plasma-enhanced chemical vapor deposition pretreatment, *RSC Adv.* Vol. 12, 15601–15612.
- [4] A. Belakhdar, H. Ferkous, S. Djellali, R. Sahraoui, H. Lahbib, Y. Ben Amor, Corrosion inhibition performance of Rosmarinus officinalis methanolic extract on carbon steel XC48 in acidic medium (2M HCl), *Mater. Biomater. Sci.* Vol. 3 (2020) 46–53.
- [5] C. Boulechfar, H. Ferkous, A. Delimi, M. Berredjem, A. Kahlouche, A. Madaci, S. Djellali, S. Boufas, A. Djedouani, A. Errachid, (2023). Corrosion Inhibition of Schiff Base and their Metal Complexes with [Mn (II), Co (II) and Zn (II)]: Experimental and Quantum Chemical Studies, *J. Mol. Liq.* 121637.

- [6] Munoz, A. G., Saidman, S. B., & Bessone, J. B. (2002). Corrosion of an Al–Zn–In alloy in chloride media. *Corrosion science*, Vol. 44(10), 2171-2182.
- [7] Shibli, S. M. A., & George, S. (2007). Electrochemical impedance spectroscopic analysis of activation of Al–Zn alloy sacrificial anode by RuO₂ catalytic coating. *Applied surface science*, Vol. 253(18), 7510-7515.
- [8] S.B. Saidman, J.B. Bessone, (2003). Journal of Applied Electrochemistry Vol. 27, 731–736.
- [9] Ma, J., & Wen, J. (2009). The effects of lanthanum on microstructure and electrochemical properties of Al–Zn–In based sacrificial anode alloys. *Corrosion science*, Vol. 51(9), 2115-2119.
- [10] Amin, M. A., Abd El-Rehim, S. S., El-Sherbini, E. E., Mahmoud, S. R., & Abbas, M. N. (2009). Pitting corrosion studies on Al and Al–Zn alloys in SCN[–] solutions. *Electrochimica Acta*, Vol. 54(18), 4288-4296.
- [11] J.B. Bessone, D.O. Flamini, S.B. Saidman, (2005). Comprehensive model for the activation mechanism of Al–Zn alloys produced by indium, *Corrosion science* 47) 95–105.
- [12] C.B. Breslin, L.P. Friery, (1994). The synergistic interaction between indium and zinc in the activation of aluminum in aqueous electrolytes, *Corrosion science* Vol.36231–238.
- [13] Brit Graver, Antonius T.J. van Helvoort, Kemal Nisancioglu, (2010). Effect of heat treatment on anodic activation of aluminum by trace element indium, *Corrosion science* Vol. 52 3774–3781.
- [14] Liu, Y., Meng, G. Z., & Cheng, Y. F. (2009). Electronic structure and pitting behavior of 3003 aluminum alloy passivated under various conditions. *Electrochimica Acta*, Vol. 54(17), 4155-4163.
- [15] Wang, L., Chen, L., Yan, Z., Wang, H., & Peng, J. (2009). Effect of potassium fluoride on structure and corrosion resistance of plasma electrolytic oxidation films formed on AZ31 magnesium alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 480(2), 469-474.
- [16] Song, M. R., Song, L., Xu, S. L., & Zhang, Z. J. (2008). Preparation of aluminum ultrafine particles by anodizing aluminum foil in acidic electrolyte containing chloride ions. *Electrochimica acta*, Vol. 53(24), 7198-7203.
- [17] P.L. Cabot, J.A. Garrido, E. Perez, A.H. Moreira, P.T.A. Sumodjot, W. Pround, (1995). EIS study of heat-treated Al–Zn–Mg alloys in the passive and transpassive potential region, *Electrochemical Acta* Vol. 40 447–454.
- [18] DE WITT JH, LENDREK H.J.W. (1996), Electrochemical impedance spectroscopy as a tool to obtain mechanistic information on the passive behavior of aluminum. *Electrochimica Acta*, Vol.41, n°7/8,1111-1119.
- [19] Zhijun Zhao, G.S. Frankel, (2007). The effect of temper on the first breakdown in AA7075, *Corrosion Science* Vol. 49 3089–3111.
- [20] Jantzen, C. (1987). Pourbaix Diagram for The Prediction of Waste Glass Durability in Geologic Environments. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 112, 519. Doi :10.1557/PROC-112-519
- [21] J. Geringer, B. Normand, C. Alemany-Dumont, R. Diemiaszonek, Novembre 2006 Propriétés électrochimiques d'un contact aluminium-cuivre– Dijon, France 13-17
- [22] Xudong Li, Junguang He, Jiuba Wenb, (2011). Effects of precipitates on the electrochemical performance of Al sacrificial anode, *Corrosion Science* Vol. 53, 1948–1953.

Sommaire

Sommaire

**Évaluation de l'activité antimicrobienne l'huile essentielle de la lavande
(*Lavandula stoechas*)**

Manel Lina Djendi, Chahrazed Benzaid, Karima Bouguerra et Mahfoud Djebien.....1

**Diversité et structure des formations végétales de la forêt communautaire
d'Alibi-1 au Togo**

Atakpama Wouyo, Egbelou Hodabalo, Kombate Bimare, Biaou Séverin, Batawila Komlan et Akpagana Koffi.....6

**Physiochemical characterization of a biosurfactant produced by bacteria isolated from
pharmaceutical process water**

Abed Belkacemi, Soumia Seddari et Nadji Moulai-Mostefa.....21

**Morphology and sexual dimorphism of the Salema *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758)
on Annaba coasts**

Lilia Labiba Groud, Ali Bechecker, Mohamed Hichem Kara et Lamya Chaoui28

**Study of the electrochemical behavior of Al-Zn-In based sacrificial anodes in sea
water**

H. Ferkous, A. Dilemi, A. Abdennouri, S.I.R Malha.....36