
Revue Nature et Technologie

Revue académique à diffusion internationale



Volume 15

Numéro 01 – Janvier 2023





Presentation

“Nature and Technology Review” (NATEC) is a multidisciplinary scientific journal published by Hassiba Benbouali University of Chlef (Algeria) since June 2009. NATEC publishes, in English and French, original research articles and review articles, which cover a wide spectrum of theoretical and experimental work at universities and other national, regional and international research organizations.

The fields covered by NATEC are divided into 3 categories:

- Category A: Fundamental Sciences and Engineering
- Category B: Agronomic and Biological Sciences
- Category C: Environmental Sciences.

NATEC adheres to the ethical guidelines for research and publication of [COPE](#) as described in [Guidelines on Good Publication](#).

NATEC has an international reviewing committee and senior researchers with established competence in their fields.

The submission is exclusively via electronic way through the Algerian Scientific Journal Platform (ASJP): <https://www.asjp.cerist.dz/en/PresentationRevue/47>

All articles submitted to NATEC are subject to a rigorous double-blind peer-to-peer review by at least two referees in the field of the submitted work.

What is considered in the evaluation are originality; accuracy; reproducibility; validity and language.

Possible decisions reserved for an article include acceptance, revision or rejection. If an author is encouraged to revise his or her article, there is no guarantee that the revised version will be published. The decision to reject an article is final.

During the entire evaluation process, the Editorial Board guarantees the anonymity of the referees and authors. Articles are submitted to the experts anonymously. The evaluation sheets sent to the authors are also anonymous.

All members of the Reviewing Committee and Editorial Board are under the obligation of confidentiality of the articles. They are strictly forbidden to divulge the content, in whole or in part, even the abstract, of articles under review by the journal. This prohibition remains valid even for articles that have been definitively rejected.

The submission, evaluation and publication of accepted articles are totally free. The publication is in Open Access under the terms of BY license of [Creative Commons Attributions 4.0 International](#) which allows to share, copy, reproduce, distribute, communicate, reuse or adapt the published work with the obligation to credit its author.

Acceptance of the manuscript is limited by the legal requirements that will be in effect at the time regarding law, copyright infringement and plagiarism.

"Nature and Technology Journal" is indexed in the following databases: [ASJP](#) ; [ProQuest](#) ; [EBSCO](#) ; [Worlcat](#) ; [Index Copnicus](#) ; [ResearchBib](#) ; [DRJI](#) ; [SJIF](#) ; [MIAR](#) ; [WebReview](#) ; [GIF](#) ; [CiteFactor](#) ; [DFAJ](#) ; [ACNP](#) et [Mirabel](#).



Committees

Honorary Director:

Pr. GUERINE Lakhdar

Publication Director:

Dr. HOCINE Ahmed

Editor-in-Chief:

Dr. HDR. ZIDANE Azdinia Laboratory of Natural Bio-Resources, Department of Biology, Faculty of Nature and Life Sciences, University Hassiba Benbouali of Chlef (Algeria)

Editorial Committee

Dr. ABBACHE Ahmed

Department of Electronic, University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Dr. LAIDANI Ykhlef

Process engineering sciences; University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Dr. TAHRAOUI Mohamed Amine

Department of Computer sciences, University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Dr. TAHRAOUI-DOUMA Naima

Process engineering sciences, University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Dr. GADOUCHE Leila

Department of Biology & Physiology of Organisms, Faculty of Biological Sciences, USTHB, Algiers, Algeria.

Dr. METLEF Sara

Laboratory of Local Natural Bioresources. Faculty of Agronomic and Biological Sciences, University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Associated Editors:

Dr. ALLIOUCHE Faiza

Laboratory of Formulation and Manufacture of Artificial Foods for Farmed Fish, CNRDPA, Bou Ismail, Tipaza. Algeria

ARAB Karim

Department of Biology University M'Hamed Bougara of Boumerdes. Algeria

Pr. BEKRO Yves-Alain

University of Abobo-Adjamé, Abidjan, Ivory Coast

Pr. BELAKEHAL Azeddine

Mohamed Khider University of Biskra Algeria

Pr. BEREZOWSKA-AZZAG Ewa

Polytechnic School of Architecture and Urbanism EPAU Algiers, Algeria

Pr. BOUKALA IOUALALEN Malika

University of Science and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria

Pr. GHOUL Said

Philadelphia University, Aman, Jordan

Pr. HACENE Hocine

University of Science and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria

Pr. HAMRAT Mostefa

Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

Pr. HARTANI Tarik

Morsli Abdellah University Center of Tipaza, Algeria

Pr. KHELIDJ Abdelhafid

University of Nantes, Nantes, France

Pr. LACHI Mohammed

GRESPI, Reims, France

Pr. MERAGHNI Fodil

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, France

Pr. M'SADAK Youcef

ISA, Chot Meriem, Sousse Tunisia

Pr. OUALIDA Rached

National School of Biotechnology, Constantine, Algeria

Pr. OULD CHIKH El bahri

Mustapha Stambouli University of Mascara, Algeria

Pr. Paola Ferrazzi

Department of Agricultural, Forestry and Food Sciences, University of Torino, Italy

Pr. RAHAL Farid

Department of Civil Engineering, Mohamed Boudiaf University of Oran, Algeria

Pr. SRAIRI Mohamed Taher

Hassan II Agronomic and Veterinary Institute, Morocco

Pr. TAKY Mohamed

Department of Chemistry, Faculty of Science, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

Pr. YAHIAOUI Karima

Department of Nature and Life Sciences – Univ. M. Bouguerra of Boumerdes, Algeria

Pr. YAOVI Ameyapoh

Higher School of Biological and Food Techniques, University of Lomé, Togo

Pr. ZEMMOURI Nouredine

Mohamed Khider University of Biskra, Algeria

Secretary:

Mr. MAHMOUD Benaouda; b.mahmoud@univ-chlef.dz; Mobil: +(213) 671862766

Assistant:

Ms. RIATI Sabrina

Address:

Revue Nature et Technologie, Direction des publications, Pôle universitaire Ouled-Fares, 4^e étage (Rectorat) 02180, Chlef – Algeria.

Summary

volume 15
Issue n°01 – January 2023



Revue Nature et Technologie

<https://www.univ-chlef.dz/>

ISSN: 1112-9778 – EISSN: 2437-0312

Class A: Fundamental & Engineering Sciences

Confection d'un éco mortier dédié a la restauration des ornements architecturaux. 01

Said BELDJILALIa et José Luís Barroso de AGUIAR

Utilisation des déchets de pneus dans la confection des mortiers. 11

Manel ABDOUN, Abdelkader BOUGARAb, Said BELDJILALI, El-Houaria AZZOUZ HENNI

Class B: Agronomic & Biological Sciences

Étude physiologique de la pourriture des fruits d'agrumes en conservation au Maroc 22

Étude physiologique de la pourriture des fruits d'agrumes durant la conservation dans quelques marchés de Kenitra (ville marocaine)

*Priority area of sustainable cropping of the Cashew (*Anacardium occidentale L.*) in Togo: Economic implications and biodiversity conservation*

..... 29

Mèwèmenreré Denise ASSANG, Wouyo ATAKPAMA, Enagnon Benoit Olivier AHOUANDJINO, Kangbeni DIMOBE, Gérard Nounagnon GOUWAKINNOU & Koffi AKPAGANA

Class C: Environmental Sciences

Productivité et usage des parcours bovins dans la préfecture de Tchamba au Togo 41

Kossigan Pascal AMEGANVI, Wouyo ATAKPAMA, Komlan BATAWILA, Koffi AKPAGANA



Confection d'un éco-mortier dédié a la restauration des ornements architecturaux

Said BELDJILALI^a et José Luís Barroso de AGUIAR^b

^a university of Abdelhamid Ben Badis-Mostaganem Department of Civil Engineering, said.beldjilali@univ-mosta.dz, Algérie

^b University of Minho Department of Civil Engineering, aguiar@civil.uminho.pt, Portugal

Résumé

Les ornements architecturaux, utilisés comme éléments décoratifs sont fabriqués en pierre ; mais la plupart de leurs composants contiennent du gypse. Il est constaté que la détérioration des ornements est attribuée à la pénétration de l'eau, à la colonisation biologique, à la micro et macro-fissuration et au détachement partiel et complet de leurs supports. De nombreuses opérations de réhabilitation des ornements architecturaux n'ont pas réussi à utiliser le matériau approprié pour les besoins du projet. L'utilisation des déchets de construction, en particulier la brique usagée, est actuellement largement répandue pour de tels opérations. Pour une utilisation efficace et durable de ces matériaux, une étude expérimentale a été menée pour examiner l'influence du contenu des déchets de briques sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre. Les principales variables de cette étude étant la teneur en briques usagées et le type de substrat. Le rapport Eau/Mortier de tous les mélanges a été maintenu constant afin de conserver un niveau d'ouvrabilité similaire. De nombreux tests ont été effectués pour évaluer le comportement physique et mécanique des mortiers de plâtre, y compris le test d'adhérence, la radiographie et l'analyse MEB. Les résultats obtenus montrent que les forces d'adhérence des mortiers sont plus importantes lorsque le substrat est fait de calcaire par rapport au substrat fait de briques. Cependant, un pourcentage excessif de déchets de briques dans le mortier peut avoir des effets négatifs et réduire la force d'adhésion. Les mortiers de plâtre fabriqués avec 75 % de briques usagées doivent être recommandés pour la réhabilitation des ornements architecturaux.

Mots-clés : Ornement ; Plâtre ; Déchet de brique ; Force d'adhérence.

Abstract

Architectural ornaments, used as decorative elements, are made of stone; but most of their components contain gypsum. It is found that the deterioration of ornaments is attributed to water penetration, biological colonization, micro and macro cracking and partial and (or) complete detachment from their supports. Many rehabilitation operations of architectural ornaments have failed to use the appropriate material for the needs of the project. The use of construction waste, particularly used brick, is currently widespread for such operations. For an efficient and sustainable use of these materials, an experimental study was conducted to investigate the influence of the content of waste brick on the physical and mechanical properties of gypsum mortar. The main variables in this study being the waste brick content and the substrate type. The Water/Mortar ratio of all mixes was kept constant to maintain a similar level of workability. Numerous tests were performed to evaluate the physical and mechanical behavior of the gypsum mortars, including bond test, X-ray and SEM analysis. The results obtained show that the bond strengths of the mortars are greater when the substrate is made of limestone compared to the substrate made of bricks. However, an excessive percentage of brick waste in the mortar can have negative effects and reduce the bond strength. Plaster mortars made with 75% waste brick should be recommended for the rehabilitation of architectural ornaments.

Keywords: Ornament; Plaster; Brick waste; Bond strength.

1. Introduction

Les ornements architecturaux sont considérés comme des éléments décoratifs utilisés pour orner les façades des bâtiments, et ils étaient souvent utilisés dans les styles Art nouveau et Art déco [1]

Il est rapporté que la détérioration des ornements est attribuée à la pénétration de l'eau, à la colonisation biologique, aux micro et macro fissures [2]. Une étude pathologique menée sur les ornements architecturaux des immeubles du centre ville de Mostaganem, au nord ouest de l'Algérie, a permis de définir les causes du décollage de ces éléments (détachement partiel et



complet), qui sont principalement liées au comportement mécanique [3].

Il est constaté que la dégradation des ornements en plâtre montre plusieurs pathologies, à savoir le délitage des motifs¹, l'apparition de micro fissures, l'apparition de grandes fissures ou de trous et, le décollement partiel et total des ornements architecturaux du support. Ce dernier représente la pathologie la plus remarquée [4, 5]. Le décollement de l'ornement en plâtre se produit en général sous l'action de son propre poids. Les forces d'adhésion et de cohésion dans la matrice de plâtre qui sont responsables de la fixation et l'attachement des éléments en plâtre à leurs supports doivent être assez importantes pour résister aux forces de traction responsables du décollement.

Il n'y a pratiquement aucune étude rigoureuse qui porte sur la recherche de la mise en valeur de ce patrimoine colonial et plus précisément la restauration de la modénature², à travers la recherche d'un matériau innovant et écologique capable d'apporter un meilleur comportement vis-à-vis de l'adhérence de l'ornement à son support.

Dans la littérature sur le renforcement du plâtre, Eires a montré que l'incorporation de granulés de liège dans les mortiers offre une meilleure cohésion et un meilleur aspect de finition lorsqu'il est appliqué sur des plaques de plâtre pressées [6]. Des études récentes [7] ont démontrées que le comportement et les propriétés des mortiers de gypse sont liés à la taille et à la forme des granulats fins. La résistance diminue avec l'augmentation de la rugosité de surface de l'agrégat mais cela ne détériore pas la force d'adhérence.

L'objectif de cette recherche est d'étudier un nouveau matériau basé sur une matrice de plâtre pour la restauration des ornements architecturaux. L'effet de la teneur en briques sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier a été étudié. Ces propriétés comprennent la résistance à la compression, à la flexion, et à l'adhésion, l'absorption d'eau et la microstructure. Les résultats obtenus à partir de cette étude pourraient fournir une voie alternative pour la réutilisation des déchets de briques dans les mortiers de plâtre pour la restauration des ornements.

2. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans cette campagne expérimentale concernant le mortier composite se compose de plâtre (G), de sable naturel (SN), de déchet de brique (DB), d'eau potable du laboratoire et d'un superplastifiant (S).

Le plâtre de gypse utilisé est un produit commercial utilisé dans la construction, fabriqué par la société SIVAL³ (Portugal) ayant une grande finesse et une masse volumique de 2960 kg.m⁻³.

Le sable naturel est un sable normalisé avec une granulométrie moyenne de 439,9 µm et une masse volumique de 2600 kg.m⁻³ [8]. Le sable artificiel à base de déchet de brique utilisé dans ces essais a été obtenu après concassage à l'aide d'un concasseur, puis tamisé pour obtenir une taille similaire au sable naturel (Figure 1).

Le superplastifiant utilisé est le GLENIUM® SKY 617, ayant une masse volumique de 1050 kg.m⁻³.

L'absorption en eau des granulats de sable naturel et sable de déchet de brique est effectuée selon la norme (ASTM C188-17 2017) [9]. Les masses volumiques de ces matériaux ont été déterminées en utilisant la méthode du Volumétre⁴ de Le châtelier avec du kérosène comme liquide non réactif avec le mélange (Figure 2).

¹ Dégradation en surface des motifs.

² Ensemble d'éléments qui constituent l'ornement d'une façade extérieure

³ Pour plus de détails sur le matériau, se référer au site www.sival.pt.

⁴ Ou Densitromètre de Le châtelier



Figure 1. Fabrication du déchet de brique en terre cuite et l'appareil de concassage utilisée.



Figure 2. Absorption des grains de sable et de déchet de brique par le kérosène.

3. Caractérisation des matériaux

La caractérisation des matériaux a été effectuée selon la norme BSI 2012 [10]. L'analyse granulométrique des deux sables est illustrée par la figure 3.

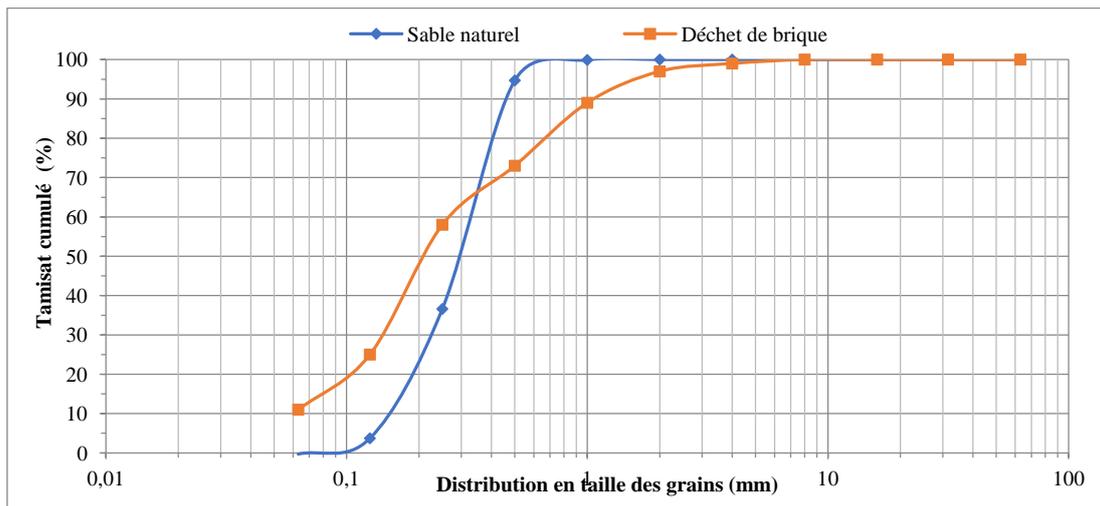


Figure 3. Granulométrie du sable naturel et du sable de déchet de brique.

Les particules des deux matériaux passent au travers d'un tamis de 4,74 mm et plus de 50 % d'entre elles sont inférieures à 0,74 mm, ce qui conduit à considérer les matériaux comme du sable fin. Selon leur coefficient d'uniformité et de courbure (C_u , C_c), DB présente un matériau bien calibré par rapport au SN. Cela générera une bonne répartition des particules dans le mélange de

mortier et créera moins de pores vides. On peut s'attendre à un comportement mécanique correct pour le mortier réalisé avec DB.

Le coefficient ou taux d'absorption (%), défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion dans l'eau pendant 24

heures à 22° C jusqu'à saturation à la masse sèche de l'échantillon, est donné par :

$$P = \frac{(M_1 - M_3)}{(M_1 - M_2)} \times 100 \quad (1)$$

avec M1 la masse de l'éprouvette saturée dans l'air, exprimée en grammes; M2 la masse hydrostatique de l'échantillon saturé, exprimée en grammes ; M3 la masse de l'échantillon sec, exprimée en grammes (Tableau 1).

Tableau 1
Détail de calcul du taux d'absorption des deux sables étudiés.

Matériel	Masse des éprouvettes (g)			Pourcentage d'absorption d'eau
	M1	M2	M3	
Sable naturel	508,30	306,35	498	5,10
Déchet de brique	500,78	273,86	454,9	20,22

On constate que le déchet de brique absorbe près de quatre fois la quantité d'eau absorbée par le sable naturel. Selon cette observation, on s'attend à une différence dans le comportement rhéologique et mécanique du mélange avec et sans déchet de brique.

Pour la formulation des mortiers, il a été procédé à un remplacement graduel du poids du sable naturel de 25 %, 50 %, 75 % et 100 %. Le détail de la composition des mélanges est donné dans le Tableau 2.

Tableau 2
Constitution des cinq mélanges de mortier pour 1 m³.

	SN % : DB %	E/G	G (g)	SN (g)	DB (g)	SP (g)	E (g)
M 1	100 : 0	0,40	800	976,20	0,00	40	270,67
M 2	75 : 25	0,45	800	650,14	216,71	40	283,02
M 3	50 : 50	0,50	800	381,21	381,21	40	297,52
M 4	25 : 75	0,52	800	180,16	540,48	40	303,48
M 5	0 : 100	0,55	800	0,00	660,74	40	306,40

4. Caractérisation du mortier par DRX

La diffraction des rayons X sur poudre (DRX) a été réalisée sur un Bruker® D8 Discover⁵ avec un rayonnement Cu-K α ($\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$) à 40 kV et 40 mA, en mode $\theta/2\theta$. Chaque échantillon a été scanné de 5° à 90° à une vitesse de 0,04° s⁻¹ ([International Center for Diffraction Data](http://www.international-center-for-diffraction-data.com))⁶ [11].

5. Programme expérimental

L'étude expérimentale est réalisée en considérant en premier lieu le pourcentage de remplacement du déchet de brique dans le mortier de plâtre. L'effet du taux de substitution du déchet de brique dans le dit mortier sur son comportement physique et mécanique est évalué à travers les essais de traction, compression et adhésion effectués [12].

Le test d'arrachement a été utilisé, conformément à la norme EN 1015-12 [13], pour mesurer la force d'adhérence du mortier sur son support. La méthode consiste à arracher un disque métallique hourdé d'un mortier de plâtre de 15 mm d'épaisseur sur un substrat.

Les tests d'adhérence sont appliqués sur les cinq mortiers préparés : M1, M2, M3, M4 et M5 placés sur deux types de supports, à savoir la pierre de calcaire et la maçonnerie de brique.

Le mortier est appliqué sur la surface des deux supports (5 briques et 5 pierres de calcaire) à l'aide de deux plaques de bois et conservé pendant 28 jours (Figure 4).

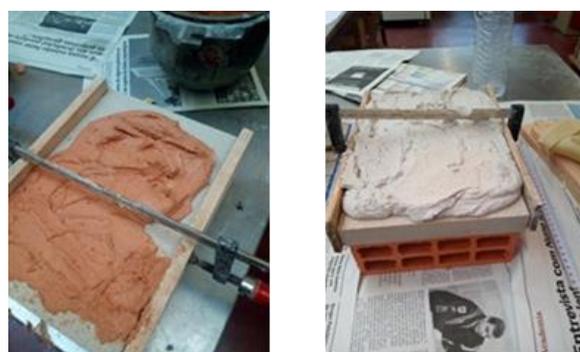


Figure 4. Pose du mortier sur les supports

Après 28 jours de la prise du mortier, on enlève les deux planches et on trace six (06) cercles avec une distance de 2,5 cm entre les cercles, après on creuse autour de ces cercles afin d'obtenir des disques de mortier de dimensions 50×20 mm² en carottant jusqu'à atteindre la surface du support. On procède au nettoyage des trous de la poussière à l'aide d'un nettoyeur à air à haute pression afin d'obtenir des surfaces lisses. Un disque métallique de diamètre Ø50 mm est collé avec une résine époxy sur le disque de mortier et on laisse la résine sécher pendant 24 heures. La procédure de préparation des échantillons est illustrée sur la figure 5.

Au cours du test d'adhérence, une inspection optique a été effectuée sur la surface où le mortier a été appliqué dans le but d'évaluer le mode de rupture entre le mortier

⁵ <https://www.bruker.com/fr.html>

⁶ <https://www.icdd.com>

et le substrat. On applique la charge de traction perpendiculairement à la zone d'essai à travers les plaques de tête de traction au moyen de la machine présentée sur la figure 6.



Figure 6 : Dispositif de l'essai d'adhésion



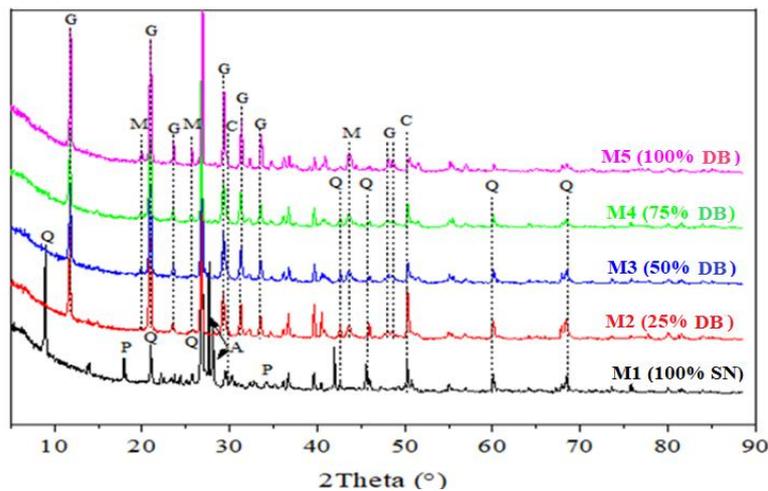
Nettoyage de la surface des trous Collage du disque métallique

Figure 5 : Mise en œuvre des échantillons pour le test d'adhérence

6. Resultats et discussion

6.1. Diffraction aux Rayons X (DRX)

Les pics du mortier M1 (100 % SN) présentent certaines phases minérales telles que le quartz, l'albite, la portlandite et la calcite comme principales phases cristallines. Les quatre autres mélanges présentent la disparition de la phase principale du quartz avec la diminution de la teneur en sable naturel dans les échantillons. La trace du plâtre était présente dans les échantillons renfermant le DB, alors qu'elle n'y était plus dans l'échantillon de mortier incorporant le sable naturel. Cela peut s'expliquer par la présence de sable qui cache la phase du gypse. Les échantillons présentent également le reflet de la phase calcite et la phase muscovite, qui sont probablement les phases majeures du déchet de la brique. L'augmentation de leur reflet avec l'augmentation de la teneur en déchet de brique dans le mélange peut éventuellement expliquer mieux les résultats d'adhérence retrouvés plus tard (Figure 7).



Q: Quartz, P: Portlandite, A: Albite, C: Calcite, G: Gypse, M: Muscovite
Figure 7 : Analyse de diffraction des rayons X des échantillons de mortiers après 28 jours de durcissement

L'apparition de la phase portlandite dans le mortier contenant uniquement du sable et sa disparition dans le mortier renfermant le DB peut signifier que cette phase

a été probablement consommée par le déchet de brique

donnant des phases de CSH⁷ supplémentaires. Cette observation peut probablement indiquer le comportement pouzzolanique du déchet de brique. Cependant, la phase C-S-H n'a pas été détectée dans les profils DRX, ce qui peut conduire à deux hypothèses ; soit les C-S-H formés sont amorphes, soit la quantité de C-S-H est trop faible pour être détectée par l'analyse DRX.

En revanche, la diffraction des rayons X des échantillons réalisés avec le DB n'a montré aucune trace d'autres nouvelles phases cristallines ; par conséquent, il est raisonnable de dire que le déchet de brique n'a pas eu de réaction chimique avec le plâtre après le malaxage.

6.2. Résistance à la traction par flexion

La résistance à la traction par flexion a été mesurée sur des éprouvettes 4×4×16 cm³ jusqu'à l'échéance de 28 jours. La moyenne arithmétique des valeurs les plus proches a été retenue comme résistance moyenne à la traction par flexion (Figure. 8).

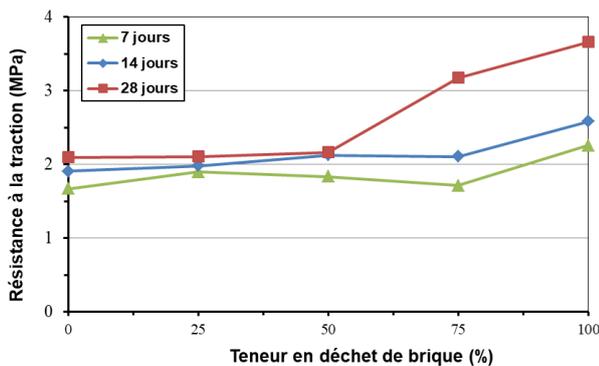


Figure 8. Résistances à la traction par flexion des mortiers de plâtre

De la figure 8, on constate que la meilleure résistance à 7 jours est enregistrée par M5 avec 2,26 MPa, après M2 et M3 avec des résultats très proches (1,89 et 1,83 MPa), la faible résistante étant enregistrée par M1 avec 1,67 MPa. Cela prouve que l'introduction des déchets de brique dans le mélange de plâtre a une influence positive sur la résistance à la traction au jeune âge. A 14 jours, nous remarquons aussi que les résultats de la résistance à la traction de

M1/M2/M3/M4 sont aussi presque similaires, à l'exception du M5 qui représente la meilleure résistance. Le mortier M5 contient seulement des déchets de brique, comme si la présence de sable empêche le développement des résistances. A 28 jours, on constate que les résultats varient entre 2,10 et 2,17 MPa pour M1/M2/M3, mais on remarque que M4 enregistre des bons résultats de traction avec 3,17 MPa. La meilleure résistance est toujours fournie par l'échantillon M5 mentionné avec 3,66 MPa.

L'évolution de la résistance à la traction des mortiers de plâtre avec la teneur en DB en fonction de l'âge est illustrée dans la figure 8. On enregistre une très légère augmentation de la résistance de traction entre 7, 14 et 28 jours en moyenne de 5 % pour les mortiers M1, M2 et M3 ; en revanche, le mortier M4 et M5 montrent de meilleurs résultats à l'âge de 28 jours avec un accroissement de plus de 50 %.

Il semble que lorsque le taux de remplacement de la brique usagée est égal ou inférieur à 50 %, aucun effet significatif de la présence de la brique usagée n'est observé sur le comportement en flexion des mortiers. Au-delà de cette teneur, les mortiers commencent à montrer une corrélation manifeste entre le taux de DB et la résistance à la traction en particulier à 28 jours. Probablement le taux élevé de déchet de brique engendre une activation au niveau des réactions d'hydratation du mélange de plâtre.

6.3. Résistance à la compression

La résistance à la compression des échantillons de mortiers a été mesurée sur des demi-éprouvettes obtenues après l'essai de traction par flexion (si celles-ci ne sont pas endommagées). Ces mesures ont donc été effectuées sur six (06) cubes. La moyenne arithmétique des valeurs les plus proches a été retenue comme résistance à la compression.

Selon la figure 9, on constate que la faible résistance à 7 jours est enregistrée par le mortier M1 avec 3,46 MPa et la meilleure résistance est enregistrée par M5 avec 6,78 MPa. Cette dernière est supérieure de 50 % par rapport au mortier de référence M1 et 30 % par rapport au mortier M4. En général, on remarque que plus l'augmentation du dosage de DB dans le mélange est élevée, plus les mortiers donnent une résistance importante à l'exception du mortier M2 (de valeur 4,48 MPa). La corrélation entre l'évolution de la

⁷ Le Silicate de calcium hydraté (en anglais, Calcium Silicate Hydrate ou CSH)

résistance à la compression et le pourcentage d'incorporation du DB est remarquable à 14 jours, la différence de cette augmentation la plus élevée est enregistrée entre M1 et M2 avec un taux de plus de 23 %. Ceci prouve que l'introduction du déchet de brique dans le mélange pour la première fois engendre une modification de la résistance du mortier. Plus le dosage du DB est important, plus la résistance est grande. Ceci peut être attribué à la distribution en taille des grains de déchets de brique. Le pic d'augmentation est important entre M1 et M2 avec plus de 22 %, les valeurs de M2/M3/M4 sont respectivement de 6,89, 6,93 et 7,35 MPa avec un accroissement très léger, la meilleure résistance à la compression est enregistrée par le mortier M5 avec 8,05 MPa.

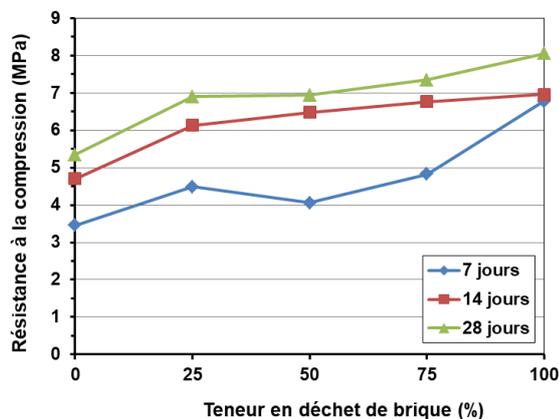


Figure 9. Résistances à la compression des mortiers en fonction de l'âge.

Le remplacement de 25 % de SN par 25 % de DB dans les mortiers de plâtre améliore la résistance à la compression d'environ 30 %. Cette contribution positive peut être attribuée à la distribution granulométrique. Selon les résultats trouvés sur la résistance à la compression, il est possible de remplacer entièrement le SN par le DB sans aucun effet nuisible. Il faut signaler qu'une résistance à la compression d'environ 8 MPa à 28 jours est suffisante pour résister à la charge de l'ornement [14].

6.4. Adhésion

Le plâtre est connu pour avoir des résistances à la compression et à la traction faibles. C'est pour cette raison que son utilisation est limitée seulement aux travaux de revêtement et de décoration. Cependant,

l'adhérence est connue pour être l'une des propriétés les plus importantes des performances mécaniques du mortier à base de plâtre utilisé comme matériau décoratif.

La figure 10, montre les résultats de l'adhérence des mortiers étudiés sur deux supports de nature différente. On constate que l'adhérence des mortiers de plâtre augmente avec l'augmentation du taux de remplacement de déchet de brique pour les deux supports. La valeur maximale de l'adhérence est atteinte au taux de 75 % de DB pour les deux supports. De plus, l'adhérence des mortiers est meilleure lorsque le support est en calcaire. Cependant, un pourcentage excessif de déchet de brique dans le mortier peut entraîner des effets indésirables et réduire l'adhérence (100 % DB).

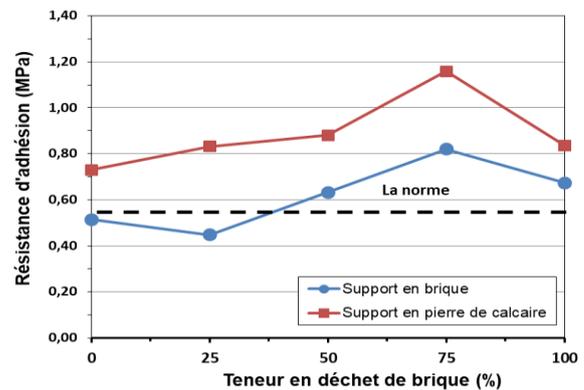


Figure 10. Adhérence des mortiers à 28 jours sur support en brique de terre cuite et pierre calcaire.

On remarque que, l'adhérence obtenue par le mortier M1 est de 0,73 MPa ; tandis que la meilleure adhérence est enregistrée par le mortier M4 avec 1,16 MPa, soit une augmentation de 37 % par rapport au mortier de référence.

En général, tous les résultats d'adhérence obtenus sont tout à fait satisfaisants, puisqu'ils dépassent la valeur seuil requise pour le plâtre décoratif (0,57 MPa) [14] à l'exception des mortiers M1 et M2 lorsque le support est en brique. La présence du déchet de brique a amélioré l'adhérence du mortier de plâtre, ce qui a entraîné une amélioration de la résistance aux fissures dans ce mortier. Il est à conclure que 75 % de DB est la valeur optimale pour le taux de remplacement du déchet de brique pour l'obtention d'un mortier qui peut être appliqué à la réhabilitation des ornements architecturaux.

6.5. Interface mortier et le support

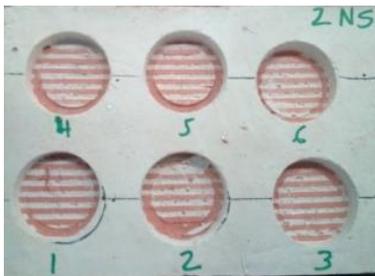
Le tableau 3 résume les observations visuelles des tests d'adhérence réalisés sur des mortiers d'enduits enduits (âgés de 28 jours) après rupture entre le mortier et le support. On peut voir que toutes les ruptures se produisent entre le substrat et le mortier (appelées ruptures adhésives) et qu'aucune rupture ne se produit dans le mortier (appelées ruptures cohésives). Par exemple, une rupture d'interface de 90 % signifie que seulement 10 % du substrat est séparé et scellé avec du mortier. Le principe est de tourner la pièce, de regarder la surface du mortier, et de voir le pourcentage de matériau de base attaché au mortier. Plus l'épaisseur et la surface du matériau de base sur le mortier sont importantes, plus la force d'adhérence est importante.

Pour les deux supports, il n'y a pas de rupture cohésive, toutes les ruptures se situent entre le substrat et la couche de mortier. Ceci confirme que l'incorporation de DB dans le gypse a un effet positif sur la force d'adhérence du mortier. Ceci constitue l'une

des solutions à utiliser pour lutter contre le détachement des ornements architecturaux (Figure 11).

Tableau 3
Mode de rupture sur les deux supports

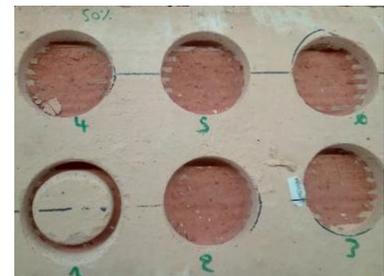
Identification	Mortier	Mode de rupture	% de rupture
Support En Brick	M1 (0%DB)	Rupture adhesive	100% interface
	M2(25%DB)	Rupture adhesive	90% interface
	M3(50%DB)	Rupture adhesive	80% interface
	M4(75%DB)	Rupture adhesive	80% interface
	M5(100%DB)	Rupture adhesive	90% interface
Support En pierre De calcaire	M1 (0%DB)	Rupture adhesive	100% interface
	M2(25%DB)	Rupture adhesive	90% interface
	M3(50%DB)	Rupture adhesive	80% interface
	M4(75%DB)	Rupture adhesive	80% interface
	M5(100%DB)	Rupture adhesive	90% interface



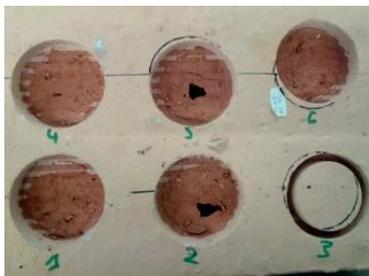
Mortier 1 (0 % DB)/Interface du support
0 % détachement au support



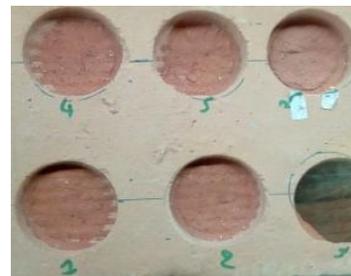
Mortier 2 (25 % DB)/ Interface du support
70 % détachement au support



Mortier 3 (50 % DB)/ Interface du support
85 % détachement au support



Mortier 4 (75 % DB)/ Interface du support
85 % détachement au support



Mortier 5 (100 % DB)/ Interface du support
95 % détachement au support

Figure 11: Observations visuelles sur le mode de rupture

7. Conclusion

L'utilisation des déchets de brique (DB) dans la production d'un mortier de plâtre destiné à la réhabilitation d'ornements décoratifs, a été évaluée dans cette étude. Les conclusions les plus importantes sont résumées comme suit :

- 1- Les échantillons réalisés avec DB n'ont montré aucune trace d'autres nouvelles phases cristallines. On pense que le DB n'a pas eu de réaction chimique avec le plâtre après le malaxage et son effet n'est que physique.
- 2- Lorsque le taux de remplacement de déchet de brique est égal ou inférieur à 50 %, aucun effet n'est observé qui est dû à la présence de DB sur le comportement en flexion des mortiers. Au-delà de cette teneur, les mortiers commencent à montrer une corrélation substantielle entre le taux de DB et la résistance à la traction en particulier à 28 jours.
- 3- Plus l'augmentation du dosage de déchet de brique (DB) dans le mélange est élevée, plus les mortiers donnent une résistance à la compression importante à l'exception du mortier M2. Le remplacement de 25 % de SN par 25 % de DB dans les mortiers de plâtre améliore la résistance à la compression d'environ 30 %. Cette contribution peut être attribuée à la finesse de mouture de DB.
- 4- La présence de DB dans le mortier de plâtre a amélioré leur adhérence, ce qui peut entraîner une amélioration de la résistance à l'apparition de fissures. Le taux de 75 % de déchet de brique constitue la valeur optimale pour le remplacement de SN par DB pour obtenir un mortier qui peut être appliqué à la réhabilitation des ornements architecturaux. La force d'adhésion du mortier est meilleure avec le support de pierre de calcaire qu'avec celui du support en brique de terre cuite.

References

1. Koetz L. et Thibault E., Ornement architectural et expression constructive : concepts d'hier et débats d'aujourd'hui, [HTML] : Images re-vues, 10 (2012). <https://journals.openedition.org/imagesrevues/2386>. DOI : <https://doi.org/10.4000/imagesrevues.2386>
2. Cotrim H., M. do R. Veiga, J. de Brito, Freixo palace: rehabilitation of decorative gypsum plasters, Constr. Build. Mater., 22 (2008) : 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.060>
3. Beldjilali S., Etude architecturale des ornements architecturaux des façades coloniales françaises : cas d'étude le centre ville de Mostaganem, African and Mediterranean Journal of Architecture and Urbanism, 3-2 (6) (2021) . <https://doi.org/10.48399/IMIST.PRSM/amjau-v3i2.27086>
4. Nadian-Ghomsheh A., Farahani B. and Kaviani M, A hierarchical privacy-preserving IoT architecture for vision-based hand rehabilitation assessment, Multimedia Tools and Applications, 80 (2021): 31357-31380. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-10563-2>
5. Beldjilali S., Bougara A., Bouhamou N-E., Architectural ornaments of colonial towns in Algeria: the case of Mostaganem, Int. Soc. Study Vernac. Settlements, 7 (2020) : 1–11. https://www.researchgate.net/publication/360688798_Architectural_Ornaments_of_Colonial_Towns_in_Algeria_The_Case_of_Mostaganem (Consulté le 02/06/2022).
6. Eires R., Camões A., Jalali S., Eco-friendly construction materials using gypsum and industrial wastes, In. Challenge of the industry for the new millennium : proceedings of the Sustainable Construction, Materials and Practices Conference (Portugal SB07), Lisboa, Portugal, 2007". Amsterdam: IOS Press, 2007. ISBN 978-1-58603-785-7. pt. 2, p. 942-949. <http://hdl.handle.net/1822/7576> (Consulté le 23/05/2022).
7. Jitka K., Magdalena D., Radka P., Petr S. & Alena V., The influence of different aggregates on the behavior and properties of gypsum mortars, Cement and Concrete Composites, 92 (2018): 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.06.007>
8. Cunha S., Aguiar J.B., and Pacheco-Torgal F., Effect of Temperature on Mortars with Incorporation of Phase Change Materials, Construction and Building Materials, 98 (2015) : 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.077>.
9. ASTM C188-17, Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, 95 (Reapproved) (2017) : 1–3. <https://doi.org/10.1520/C0188-17>.
10. EN 933-1: Tests for Geometrical Properties of Aggregates Part 1: Determination of Particle Size Distribution - Sieving Method." British Standards Institution, 3 (1) (2012) : 1–7. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/100b983f-85a4-4a80-934c-e93c584dbdb4/en-933-1-2012> (Consulté le 11/09/2022)
11. De Aguiar J.B, Civil Engineering Department. 2019. "Technical Report : Microstructural and Crystallographic Characterization of Mortars." SEMAT/ University of Minho [Texte imprimé].
12. Cassar JA., Torpiano A., Zammit T. and Micallef A., Proposal for the Nomination of Lower Globigerina Limestone of the Maltese Islands as a "Global Heritage Stone Resource", Episodes Journal of International Geoscience, 40 (3) (2017) : 221–31. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2017/v40i3/017025>.
13. European Committee for Standardization (CEN). 2000. "Methods of Test for Mortar for Masonry – Part 12: Determination of Adhesive Strength of Hardened Rendering and Plastering Mortars on Substrates". [HTML]: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/2c3a36e8-3b1d-4568-a40e-f2cb01e275cc/en-1015-12-2000> (Consulté le 15/12/2022).
14. Li H., Dong L., Jiang Z., Yang X., Yang Z., Study on Utilization of Red Brick Waste Powder in the Production of Cement-Based Red Decorative Plaster for Walls, Journal of Cleaner Production, 133 (2016) : 1017–26. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.149>.



Utilisation de déchet de pneus dans la confection des mortiers

Manel ABDOUN^a, Abdelkader BOUGARA^{b,*}, Said BELDJILALI^b, El-Houaria AZZOUZ HENNI^a

^a Master en Génie Civil, Université de Chlef

^b Laboratoire de structures, géotechnique et risques, Université de Chlef

Résumé

Le recyclage de certains déchets est une question importante et très nécessaire pour préserver l'environnement et garantir de nouvelles sources d'approvisionnement en matières premières. Dans cette recherche expérimentale, une solution est proposée pour récupérer les déchets encombrants, comme les déchets de pneus, sous forme de granulats dans l'industrie du béton. Le travail réalisé consiste à intégrer les pneus usagés comme granulats par remplacement partiel du sable dans la confection d'un mélange de mortier suivant des pourcentages de substitutions en volume variant de 0 % à 50 %. Des essais de caractérisation physico-mécaniques ont été effectués sur des éprouvettes de mortier de dimension 4×4×16 cm³. Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de déchet de pneus comme granulats dans la confection du mortier peut résoudre beaucoup de problèmes liés à leur élimination et économiser les ressources naturelles liées à l'extraction des granulats. Aussi, les résultats trouvés montrent qu'il est possible d'utiliser les déchets de pneus dans la fabrication de mortiers destinés pour des applications structurelles et non structurelles.

Mots-clés : Environnement ; Déchet ; Pneu ; Mortier léger ; Résistance mécanique.

Use of waste tires to produce mortars

Abstract

The recycling of some of the waste is an important issue and very necessary to protect the environment and provide new sources of supply of raw materials. In this experimental research, a solution is suggested to recover the bulky waste, like the waste tire, in the form of aggregates used in the concrete industry. The work performed consists in incorporating used tires as aggregates by partial replacement of the sand in the preparation of sample mortars using different percentages of substitutions in volume varying from 0% to 50%. Physico-mechanical tests were carried out on the mortar mixes. The results obtained show that the use of waste tires as aggregates in the production of mortars can solve several problems related to their disposal and save natural resources related to the extraction of aggregates. Also, the results found show that the waste tires can be used to produce mortars employed for structural and non-structural applications.

Keywords: Environment; Waste tire; Lightweight mortar; Mechanical strength.

1. Introduction

Grâce au progrès technologique, il est possible aujourd'hui de transformer un déchet potentiellement dangereux tel que les pneus usés en un matériau près à être utilisé. Un pneu, est composé de gomme de caoutchouc (à base de polymère d'isoprène), d'acier, de textiles et de divers éléments qui renforcent la résistance de la gomme. On désigne par pneu usé non réutilisable, un pneu qui ne peut plus assurer la mobilité d'un véhicule en respectant les normes de sécurité.

Les pneus usagés sont aussi dangereux que bénéfiques. D'une part, ils ne sont pas biodégradables et remplissent ainsi l'espace d'enfouissement et, d'autre part, libèrent des gaz nocifs causant de graves ravages environnementaux.

L'un des principaux problèmes de ces pneus est le risque d'incendie très accru. Pour ce, près de la moitié des pneus recyclés sont utilisés comme carburant dans la production de l'énergie [1]. Les déchets de pneus peuvent être utilisés dans la fabrication de revêtements de sécurité et de revêtements amortissant pour les aires de jeux, les manèges et les pistes. L'inclusion d'un



pourcentage de déchet de pneus dans l'asphalte de la chaussée permet de donner une souplesse aux enrobés afin d'éviter le phénomène de fissuration et en même temps réduire la nuisance sonore [2].

En remplaçant partiellement les granulats fins et grossiers par le déchet de pneus dans la fabrication des chaussées en béton, une élasticité suffisante peut être atteinte et les changements thermiques sont également réduits. Il est rapporté que l'utilisation de particules de déchets de pneus comme substitut partiel des granulats dans le béton conduit à une perte de résistance [3]. Cependant, ce béton peut être utilisé à des fins non structurelles telles que l'isolation. La résistance peut être améliorée en utilisant des matériaux cimentaires supplémentaires tel que la fumée de silice. Il a été aussi rapporté que la dureté du béton à base de déchets de pneus est supérieure à celle du béton conventionnel avec une ductilité améliorée et que ces bétons sont plus résistants aux changements thermiques qu'un béton conventionnel [3]. Le plus grand avantage de l'incorporation de déchet de pneus dans le béton réside dans la réduction des fissures dans les structures en béton, les routes ou les ponts [4].

L'influence de déchet de pneus sur le comportement des mélanges cimentaires a fait l'objet de plusieurs recherches. Güneyisi *et al.* [5] ont étudié les propriétés à l'état frais des mortiers renfermant un déchet de pneus de dosage variant entre 0 % et 50 % du volume total des granulats et une quantité de fumée de silice variant entre 0 à 20 % de la masse de ciment. Les résultats trouvés ont montré que l'affaissement du béton diminue en fonction de l'augmentation de la teneur en déchet de pneus. G. M. Garrick [6] reporte que l'ouvrabilité des bétons incorporant les granulats de déchets de pneus est acceptable en termes de service et de mise en œuvre alors que M. Garros [7] dans son travail de recherche relative à l'incorporation des granulats de déchet de pneus dans les bétons auto-plaçants, a montré que la présence de ces granulats entraîne une diminution de l'étalement avec l'augmentation de la teneur en déchet de pneus, ce qui a conduit à des mélanges plus visqueux et présentant des seuils de cisaillement plus importants. Certains auteurs ont expliqué cet effet en considérant que les granulats de déchet de pneus constituent une structure autobloquante et donc résistante à l'écoulement [8]. D'autres ont attribué ce comportement

à une friction plus élevée entre les granulats de déchet de pneus et la pâte [9].

Le béton incorporant des granulats de déchet de pneus en substitution des granulats ordinaires a une masse volumique plus faible que celle d'un béton léger conventionnel. Güneyisi *et al.* [5] ont observé une chute de 25 % de la masse volumique pour un taux de substitution de 50 % de granulats de déchet de pneus par rapport au béton de référence. D'autres chercheurs ont trouvé une diminution de la masse volumique de l'ordre de 102 kg.m^{-3} pour chaque 22,7 kg de granulats de déchet de pneus contenus dans le béton [10]. Cette différence de masse volumique est simplement liée à la différence entre la densité des granulats naturels et celle des granulats de déchets de pneus.

Les études antérieures ont tous relevé que la substitution de granulats naturels par des granulats de déchet de pneus dans les mélanges cimentaires entraînait une chute de la résistance à la compression. Eldin et Senouci [11] ont observé une chute de la résistance à la compression d'environ 85 % et de 65 % lorsqu'on fait une substitution totale respectivement du gravier et du sable par des granulats de déchet de pneus de granulométrie équivalente. Khatib et Bayomy [12] ont confirmé qu'il y a une chute de la résistance à la compression de 90 % pour un béton incorporant plus de 60 % de granulats de déchet de pneus par rapport au béton de référence. Pour un béton auto-plaçant, une résistance à la compression minimale de l'ordre de 5 MPa est atteinte pour un taux maximum de substitution de l'ordre de 25 % [7]. La chute de la résistance à la traction d'un mortier renfermant de déchet de pneus s'avère moins importante par rapport à celle observée en compression [5]. Kaloush *et al.* [10] ont montré que malgré la chute de cette résistance observée lors de la substitution des granulats naturels par les granulats de déchet de pneus dans le béton, la déformation à la rupture a augmenté. Cette capacité de déformation à la rupture reflète le comportement plus ductile du matériau. Papakonstantinou et Tobolski [13] ont constaté une variation de la résistance à la traction par fendage de 2,82 à 2,47 MPa respectivement pour un taux de remplacement variant de 0 à 8 % du volume de fibres de pneus.

Dans une étude réalisée par Ganjian *et al.* [14], les gros granulats naturels dont la dimension maximale est de 25 mm ont été substitués par des granulats de déchet

de pneus de même dimension dans la composition d'un béton. Les résultats trouvés indiquent une réduction de 30 % du module d'élasticité par rapport au béton de référence pour un taux de substitution de 10 %.

Selon les études de Benazzouk *et al.* [15], la capacité d'absorption d'eau d'un mélange de béton diminue avec le taux d'incorporation des granulats de déchet de pneus. Ils expliquent ce comportement par le fait que le déchet de pneus n'absorbe pas l'eau qui trouve une plus grande difficulté à se propager à l'intérieur du mélange cimentaire. Hernández-Olivares *et al.* [16] ont réalisé des essais pour évaluer la résistance au feu d'un béton à hautes performances (BHP) incorporant des granulats de déchet de pneus. Ils ont observé que les éprouvettes de BHP de référence présentent plus d'écailles à leur surface exposée au feu que celle des éprouvettes de BHP formulées avec les granulats de déchet de pneus. Ils attribuent cette constatation au fait que lorsque les granulats en déchet de pneus au sein du mélange sont brûlés, ils entraînent la formation de trous servant de vases de décompression à la vapeur d'eau interne.

Dans cette recherche expérimentale, une solution est proposée pour récupérer le déchet de pneus encombrant et de les utiliser sous forme de granulats dans la fabrication du mortier ; un matériau léger et isolant. Cette étude vise aussi la caractérisation du comportement du matériau à l'état frais et durci.

2. Matériaux et méthodes

2.1 Ciment

Le ciment utilisé dans cette recherche est un ciment portland composé (CEM II /42.5) contenant 13 % de calcaire produit par la cimenterie d'Oued Sly (ECDE) à la wilaya¹ de Chlef. Les caractéristiques du ciment sont représentées dans le Tableau 1.

Tableau 1
Caractéristiques du ciment utilisé

Composition chimique en (%)	
SiO ₂	21,14
Al ₂ O ₃	5,56
Fe ₂ O ₃	3,27
CaO	62,17
MgO	0,74
SO ₃	1,58
K ₂ O	0,81
Na ₂ O	0,11
CaO libre	0,70
PAF (Perte au feu)	4,49
Caractéristiques minéralogiques en (%)	
C ₃ S : (Alite)	41,8
C ₂ S : (Belite)	33,3
C ₃ A : (Aluminate)	5,1
C ₄ AF : (Aluminoferrite)	10,7
Caractéristiques physiques	
Temps de prise (min)	160
Finesse de Blaine (cm ² .g ⁻¹)	3600
Masse volumique spécifique (g.cm ⁻³)	2,98
Masse volumique apparente (g.cm ⁻³)	2,18

2.2 Sable

Le sable utilisé est un sable normalisé, à grains arrondis de diamètre maximum 2 mm, de nature siliceuse, dont la teneur en silice est égale à 98 %. Il est livré en fractions mélangées en sacs plastiques d'un contenu de 1350 g ± 5 g. Sa masse volumique absolue est de 2560 kg.m⁻³. Le calcul du module de finesse² a donné une valeur de 2,72. Cette valeur le classe dans la catégorie des bons sables³. L'équivalent du sable réalisé sur le sable utilisé a indiqué une valeur de Es > 80. Donc, c'est un sable très propre, qui convient à être utilisé dans la fabrication des mortiers. Le coefficient d'absorption du sable est de 0,2 %. L'analyse granulométrique du sable est présentée sur la Figure. 1.

² Le module de finesse d'un granulat est égale au 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série : 0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 ; 5 ; 10 ; 20 ; 40 ; et 80 mm. Pour le sable, les tamis concernés sont : 0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 et 5 mm.

³ Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 à 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité

¹ Préfecture située à l'ouest de l'Algérie.

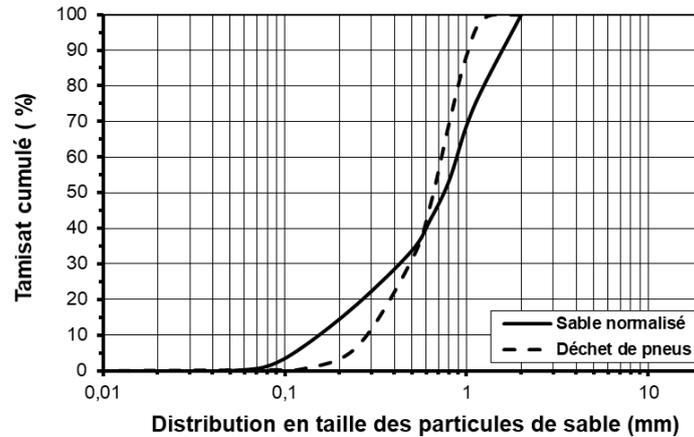


Figure 1 : Distribution en taille des particules du sable normalisé et de déchet de pneus

2.3 Déchet de pneus

Le déchet de pneus est un déchet industriel nommée « styrène-butadiène (SBR) ». Il a été fourni par la société de recyclage de pneus située à Mostaganem. Il est obtenu par broyage de chutes de pneus. De couleur noire, il présente une granularité assez fine variant de 0 à 2 mm (Figure 2). Il est considéré comme un matériau élastique à température ambiante, compatible avec le ciment et les granulats selon la bibliographie consultée. Ce matériau a été utilisé dans le présent travail sous forme de granulat comme substituant au sable avec des pourcentages pondéraux différents dans la confection du mortier.



Figure 2 Déchet de pneus broyé [0/2 mm]

Le déchet de pneus SBR est très utilisé dans la fabrication des pneumatiques. Il possède une grande résistance à l'abrasion, au vieillissement et à l'ozone [17]. L'analyse granulométrique du matériau est illustrée sur la Figure 1. La granulométrie du déchet de

pneus est moins étalée que celle du sable normalisé, mais le déchet de pneus contient moins de particules fines, de diamètre inférieur à 0,6 mm, que le sable normalisé. La masse volumique absolue du déchet de pneus est de $0,94 \text{ g.cm}^{-3}$. La valeur moyenne du coefficient d'absorption est de 2,17 %.

2.4 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la confection du mortier est une eau potable de robinet, du Laboratoire de Matériaux de Construction appartenant à l'Université de Chlef, sans traitement supplémentaire et dépourvue des excès de matières nuisibles telles que les sels, les sulfates et les acides. Associé au ciment, l'eau sert d'une part à l'hydratation du ciment et d'autre part à la fluidification nécessaire à la mise en œuvre.

2.5 Superplastifiant

Dans cette étude, le superplastifiant utilisé est appelé MEDAFLOW 30, fourni par l'entreprise GRANITEX⁴. C'est un réducteur d'eau de la troisième génération conçu à base de polycarboxylates d'Éther. Le dosage recommandé est de 0,5 à 2,0 % du poids du ciment. Sa densité est de 1,07.

⁴ <https://granitex.dz>

3. Méthodes

3.1. Préparation des échantillons des mortiers

Le malaxage des échantillons de mortiers a été réalisé à l'aide d'un malaxeur à cuve verticale tournante d'une capacité de 5 L. Deux séries d'éprouvettes de mortiers ont été confectionnées. Dans la première série, on varie le taux de substitution du sable naturel par le déchet de pneus de 0 à 20 % avec un pas de 5 % en conservant le même dosage de superplastifiant. L'objectif principal de cette série est d'étudier l'influence de l'incorporation de déchet de pneus sur

l'ouvrabilité des mortiers renfermant des taux modérés de déchets de pneus. Dans la deuxième série, les mortiers de déchets de pneus ont été formulés avec des taux de remplacement variant de 20 %, 30 %, 40 % et 50 % (taux importants) en conservant la même ouvrabilité. Le but majeur de cette série est d'étudier l'effet de déchet de pneus sur les résistances mécaniques. Les dosages pondéraux de déchets de pneus ont été calculés par rapport au volume du sable utilisé. La composition des deux mortiers est résumée dans le tableau 2.

Tableau 2
Composition des mélanges de mortiers de déchets de pneus

Composition des constituants en (kg/m ³)	← Série 1 →				← Série 2 →			
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	30 %	40 %	50 %
Ciment	450	450	450	450	450	450	450	450
Sable normalisé	1350	1326	1302	1278	1254	1206	1158	1110
Déchet de pneus	0	24	48	72	96	144	192	240
Superplastifiant	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,5	3,2	4,5
Eau	225	225	225	225	225	225	225	225

Après le malaxage, le mortier est versé dans des moules métalliques huilés de forme prismatique de dimensions 4×4×16 cm³. Une fois le moule rempli et compacté mécaniquement à l'aide d'une table à choc, ils sont couverts d'une toile humide et conservés à une température constante de 20°C pendant 24 heures. Ensuite, ils sont démoulés et conservés sous l'eau jusqu'au jour de l'écrasement.

3.2. Essais

La mesure de l'ouvrabilité des différents mélanges de mortier se fait par étalement sur le disque métallique selon la norme ASTM C230 [18]. La détermination de la masse volumique du mortier à l'état frais et durci a été réalisée conformément à la norme NF EN 12350 [19]. Les résistances à la traction sont obtenues par écrasement des éprouvettes prismatiques selon l'essai de traction de flexion pour les âges 2, 7, 14 et 28 jours en considérant la norme NF P15-451 [20]. Les résistances à la compression sont obtenues par écrasement des cubes selon l'essai de compression pour

les mêmes âges en considérant la norme NF EN 196-1 [21]. Le coefficient d'absorption par immersion des éprouvettes de mortier est mesuré selon la norme NBN B15-215 [22].

4. Résultats et discussion

4.1. Comportement à l'état frais des mélanges

Dans cette première série de mortiers, on a varié le pourcentage de déchets de pneus dans le mortier et on a gardé le dosage en superplastifiant constant. La figure 3 illustre la valeur de l'affaissement du mélange de mortier en fonction de la teneur en déchet de pneus. On constate qu'il diminue proportionnellement à la quantité de déchet de pneus introduit dans le mortier. Pour un taux de remplacement de 20 % de déchet de pneus, le mortier indique un diamètre d'étalement de 12,5 cm contre une valeur de 19 cm par rapport au mortier de référence (sans déchet), soit une réduction de 34 %. Au-delà de ce taux de substitution, le mélange devient ferme et la mise en œuvre est difficile. La réduction de

l'ouvrabilité est probablement liée à la capacité d'absorption élevée d'eau du déchet de pneus par rapport à celle du sable [23]. Ce comportement est aussi attribué à la petite taille des particules du déchet de pneus par rapport au sable naturel, car les grains de petite taille favorisent l'absorption plus que les particules de taille importante ce qui est en concordance avec les résultats de Guendouz *et al.* [24]. Khatib *et al.* [12] ont trouvé qu'il y a une diminution de l'affaissement avec une augmentation de la teneur en déchet de pneus.

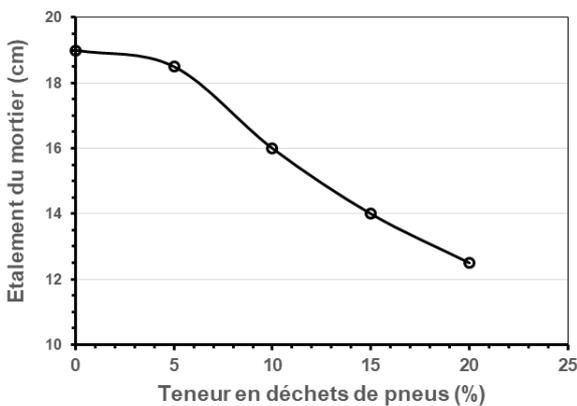


Figure 3 : Variation de l'étalement dans le mortier en fonction du taux de remplacement des granulats de déchets de pneus

Dans la deuxième série de mortiers, on a varié la quantité de déchets de pneus de 20 %, 30 %, 40 % et 50 % dans le mortier, ce qui a nécessité une modification du pourcentage de superplastifiant dans le mortier afin d'avoir un étalement acceptable de l'ordre de 13 cm. La figure 4 représente la variation du taux de superplastifiant en fonction de la teneur en déchet de pneus introduit dans le mortier.

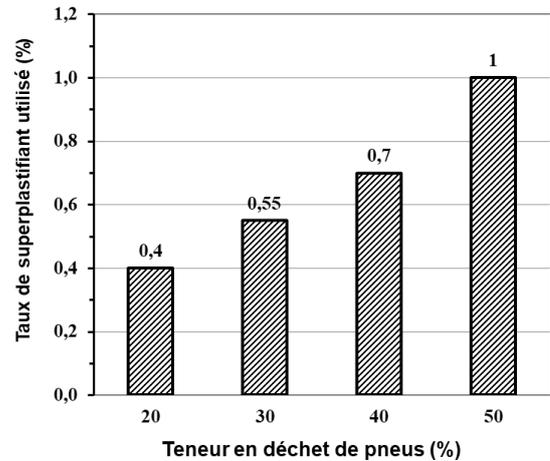


Figure 4 : Variation taux de superplastifiant en fonction de la teneur en déchet de pneus introduit dans le mortier

On remarque que lorsque le pourcentage de déchets de pneus augmente, le dosage en superplastifiant augmente pour garder le même niveau d'ouvrabilité et assurer ainsi la mise en œuvre nécessaire. Si on remplace 50 % en volume de sable normalisé avec les granulats de déchet de pneus dans le mélange de mortier, il est nécessaire d'utiliser au moins 1 % de superplastifiant. Il est évident que le prix du superplastifiant augmente avec l'augmentation de la quantité de superplastifiant utilisé (ce qui n'est pas recommandé d'un point de vue économique), mais dans cette série, on a voulu réaliser un mortier léger destiné à des fins non structurales, ayant une résistance mécanique assez forte pour résister aux petites sollicitations et présentant des performances thermiques très acceptables. On a préféré ajouter le superplastifiant au lieu de l'eau pour ne pas affecter cette résistance.

4.2. Influence de déchet de pneus sur la masse volumique du mortier

La figure 5 représente la variation de la masse volumique des mortiers de la série 1 en fonction des différents pourcentages de déchet de pneus. On constate que la masse volumique des mortiers diminue avec l'augmentation du taux de substitution en granulat de déchet de pneus à l'état frais et durci. Ceci est évident du moment que la densité du sable ($2,56 \text{ g.cm}^{-3}$) est supérieure à celle du déchet de pneus ($0,94 \text{ g.cm}^{-3}$). On constate que pour un taux de remplacement de 20 %, la masse volumique absolue du mortier est de 1850 kg.m^{-3} , une valeur proche de la référence d'un béton léger

(1800 kg.m^{-3}). Le pourcentage de réduction en masse volumique à l'état durci est de 25 %, le quart du poids de l'échantillon est réduit, ce qui est une valeur non négligeable d'un point de vue légèreté et charge permanente de l'élément.

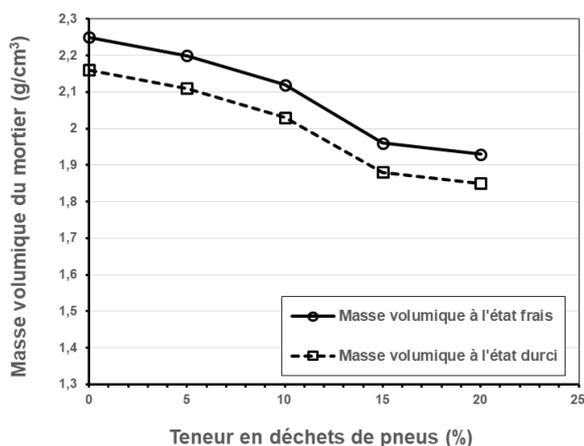


Figure 5 : Variation de la masse volumique du mortier à l'état frais et durci en fonction de la teneur en déchet de pneus pour la série N°1

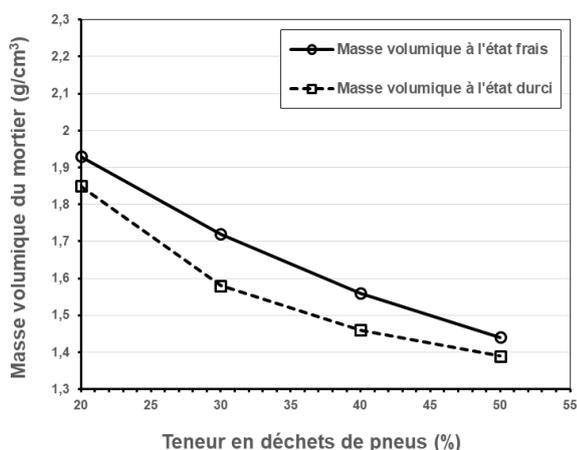


Figure 6 : Variation de la masse volumique du mortier à l'état frais et durci en fonction de la teneur en déchet de pneus pour la série N°2

La figure 6 représente la variation de la masse volumique des mortiers de la série 2 en fonction des différents pourcentages de déchets de pneus. On constate que le taux de réduction du poids de l'échantillon par rapport au taux de remplacement de déchet est plus prononcé dans cette série que celui des mortiers de la série N°1. Pour un taux de remplacement de 50 %, la masse volumique de l'échantillon à l'état durci est de 1390 kg.m^{-3} , soit un allègement de 36 % par rapport au du poids de l'échantillon du mortier de référence, un résultat bien apprécié lorsque le mortier est destiné pour des éléments de remplissage ou les revêtements d'isolation. Certains auteurs [25, 26] ont expliqué cette réduction de densité pour les taux élevés de remplacement par le fait que le déchet de pneus dans le mortier agit comme un vide dans la matrice du mortier qui tend à augmenter la porosité, entraînant ainsi un faible poids unitaire.

4.3. Influence de déchet de pneus sur l'absorption par immersion des mortiers

La figure 7 montre l'évolution de l'absorption d'eau par immersion des mélanges de mortiers en fonction du taux de remplacement de déchet de pneus de la série N°1 pour une période de 28 jours. L'absorption d'eau par immersion augmente avec l'augmentation de la teneur en déchets de pneus dans le mortier. La tendance des courbes d'absorption fait noter que l'absorption continue même au-delà de 28 jours.

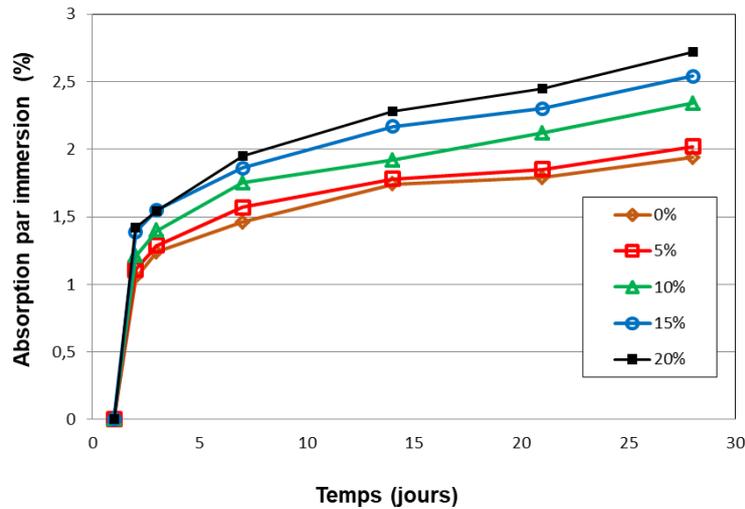


Figure 7 : Évolution de l'absorption par immersion des mortiers en fonction du taux de remplacement de déchet de pneus

Ce comportement peut être expliqué par la présence de vides occasionnels qui existaient lorsque le remplacement de déchet de pneus a eu lieu au niveau de la matrice du mortier, ce qui a provoqué une augmentation de l'absorption d'eau. De plus, la faiblesse de la liaison entre les particules de déchets de pneus et la pâte de ciment a favorisé le phénomène d'absorption. Il a permis à l'eau d'entrer par les vides dans l'interface entre le déchet de pneus et la pâte de ciment en raison de l'augmentation de déchet de pneus. Il convient de noter que le déchet de pneus a une granulométrie un peu plus petite par rapport à celle du sable normalisé (voir figure 1). Cette observation est similaire à celle rapportée par Park *et al.* [27]. Ces derniers indiquent que l'accroissement de la surface spécifique des pores du mélange de mortier dû aux granulats de déchets de pneus augmente le coefficient d'absorption du matériau.

4.4. Influence de déchet de pneus sur le comportement mécanique des mortiers

4.4.1. Résistance à la traction des mortiers

Les résultats de la résistance à la traction par flexion des mortiers renfermant différents teneurs en déchet de pneus sont représentés sur la figure 8. L'écart type des résultats de tests des éprouvettes de 28 jours a montré une variation de la résistance à la traction entre 0,2 MPa et 0,4 MPa. Ces résultats montrent que la résistance à la

traction diminue avec l'augmentation du volume de déchets de pneus. Quantitativement, on peut noter que par rapport au mortier de référence, un taux de substitution en granulats de déchet de pneus de 20 % (série 1 à 28 j) entraîne une chute de 39 % de résistance à la traction. Cette chute est de l'ordre de 6 % pour un taux de 5 %.

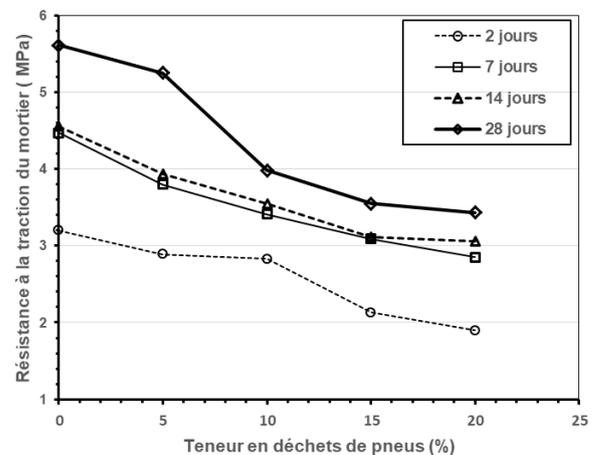


Figure 8 : Résistance à la traction des mortiers renfermant différents taux de substitution de déchets de pneus (série 1)

Les résultats de la série 2 sont illustrés dans la figure 9, ou on peut observer qu'un taux de substitution en déchet de pneus de 50 % (à 28 j) entraîne une chute de résistance de 51 %, cette chute est de l'ordre de 24 % pour un taux de 30 % en déchet de pneus par rapport au mortier de référence. Cette réduction de la résistance à

la traction en fonction de l'augmentation de la teneur en déchets de pneus est attribuée à la faiblesse de la zone de l'interface des granulats de déchets de pneus-matrice cimentaire (qui est estimée visuellement par l'observation des faciès de rupture des éprouvettes) [7].

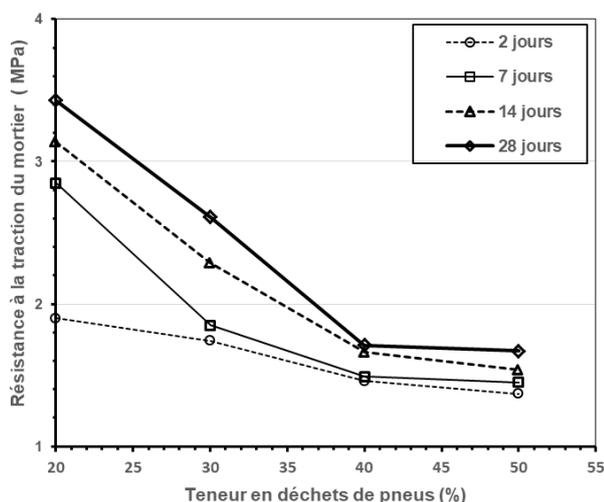


Figure 9 Résistance à la traction des mortiers de la série N°2 en fonction des teneurs en déchet de pneus

4.4.2. Résistance à la compression des mortiers

La résistance à la compression des mélanges de mortier de la série N°1 et N°2 en fonction de déchet de pneus est illustrée respectivement sur les figures 10 et 11 pour les différents âges étudiés. L'écart type des résultats de tests des éprouvettes de 28 jours a montré une variation de la résistance à la compression entre 1,2 MPa et 1,7 MPa. On constate que la résistance à la compression du mélange de mortier diminue avec l'augmentation du taux de substitution en déchets de pneus. Un comportement logiquement attendu compte tenu des résultats précédemment présentés sur la résistance à la traction.

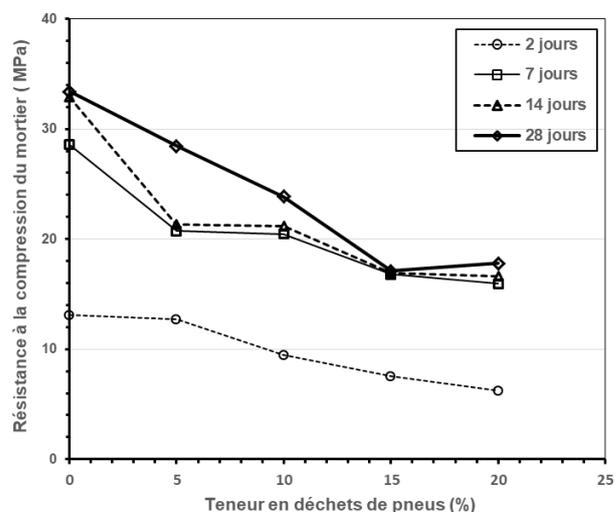


Figure 10 : Résistance à la compression des mortiers de la série N°1 en fonction des taux de substitution en déchets de pneus

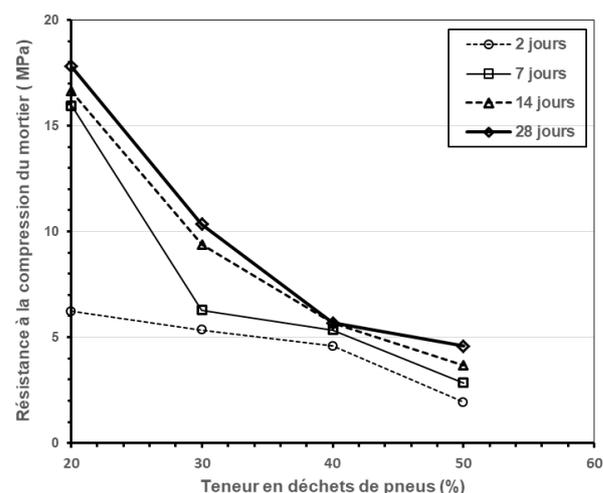


Figure 11: Résistance à la compression des mortiers de la série N°2 en fonction des taux de substitution en déchets de pneus

Ces résultats indiquent clairement que l'incorporation de déchet de pneus contribue à la diminution de la résistance à la compression du mortier. A titre d'exemple, pour un taux de substitution en déchet de pneus de 20 % (à l'âge de 28 jours) entraîne une chute de résistance de 47 %, presque la moitié, cette chute est de l'ordre de 15 % pour un taux de 5 % en déchet de pneus par rapport au mortier de référence. Cette réduction est importante en considérant la résistance du mortier de référence mais n'empêche que certains bétons couramment utilisés dans la pratique possèdent une résistance similaire [28]. Dans la catégorie des bétons légers, cette résistance est

acceptable et ce mortier peut être utilisé dans la réalisation des mortiers utilisés dans les revêtements pour des fins architecturales, les chapes et dans la protection contre le feu et la corrosion. La norme américaine ACI 213R-14⁵ exige un minimum de 17 MPa de la résistance à la compression pour un béton léger destiné à des fins structurales [29].

La réduction de la résistance à la compression du mortier renfermant le déchet de pneus est attribué à la faible rigidité de ce dernier par rapport à celle des granulats naturels [30]. Une deuxième raison associe cette chute de résistance aux défauts d'adhérence entre le déchet de pneus et la matrice cimentaire [7]. Ce point de vue montre que la zone de transition entre la matrice et le granulat de déchet de pneus est peu compacte et présente une porosité importante.

Dans la deuxième série de mortiers, la résistance mécanique n'est pas la performance visée, mais d'autres propriétés telles que la légèreté et la souplesse du matériau, et plus particulièrement la performance thermique. Le mortier de la deuxième série peut être utile dans plusieurs applications telles que les bordures de protections dans les voies d'autoroutes, les salles de sport, les terrains de jeux pour enfants, corps creux, éléments de remplissage pour cloisons, mortiers pour des tunnels et les revêtements d'isolation. Pas mal d'applications dans le domaine de génie civil ne nécessitent pas une grande résistance mécanique, une résistance à la compression de l'ordre de 5 MPa est suffisante pour supporter les faibles sollicitations [31].

5. Conclusion

Ce travail a pour objectif la valorisation de déchet de pneus utilisés comme agrégat en remplacement du sable naturel dans la fabrication du mortier. Les conclusions qui pourraient être déduites de ce travail peuvent être résumées comme suit:

- Le déchet de pneus peuvent être utilisés comme granulats fins en remplacement du sable dans la fabrication du mortier jusqu'à 20 % sans qu'il est aucun un effet indésirable sur les propriétés à l'état frais ou durci.

- L'ouvrabilité et la densité de tous les mélanges de mortiers diminuent avec l'augmentation de la teneur en déchets de pneus.
- Les valeurs de la résistance à la traction par flexion et la compression des mélanges de mortiers renfermant 20 % de déchets de pneus à 28 jours sont respectivement 3,43 MPa et 17,8 MPa, qui sont nettement inférieures à celles du mortier de référence. Malgré ceci, ces résultats sont acceptables pour un mortier léger utilisé dans les éléments de structures.
- Pour un taux de remplacement en volume variant de 20 % à 40 % de déchet de pneus, les résistances à la traction et la compression du mélange de mortier à 28 jours varient respectivement de 1,71 MPa à 3,43 MPa et de 5,68 MPa à 17,8 MPa. Ces valeurs justifient l'utilisation de ces mortiers dans la fabrication des éléments non structurels tels que les revêtements d'isolation, les éléments décoratifs, les barrières de protection pour les autoroutes, ainsi que pour les terrains de jeux et de distraction pour enfants.
- Sur la base de mesures effectuées expérimentalement, on remarque que l'absorption par immersion du mortier augmente avec l'augmentation du taux de remplacement de déchet de pneus par rapport à celles du mortier ordinaire.
- L'utilisation de déchet de pneus comme granulats dans la confection du mortier peut résoudre la plupart des problèmes liés à leur élimination et économiser les ressources naturelles liées à l'extraction des granulats.

Références

- [1] Sycotom. « Les déchets ». [en ligne] <https://sitetom.sycotom-paris.fr/les-dechets/les-categories-de-dechets.html> (consulté le 20 Février 2021).
- [2] Bridgestone. "Tyres" [en ligne] bridgestoneamericas.com/en/corporate-social-responsibility/safety/tires-101/tireconstruction (consulté le 2 Mars 2021).
- [3] Express. "North Yorkshire tyre fire: Blaze of 15,000 tonnes of rubber will burn for a week" [en ligne] [express.co.uk/news/uk/454542/North-Yorkshire-tyre-fire-Blaze-of-15-000-tonnes-of-rubber-will-burn-for-a-week](https://www.express.co.uk/news/uk/454542/North-Yorkshire-tyre-fire-Blaze-of-15-000-tonnes-of-rubber-will-burn-for-a-week) (consulté le 5 Mars 2021).
- [4] PRLOG. "Total Amount of Recycled Rubber Used in Installations of Porous Pave Permeable Pavement Now Tops Ten Million Pounds" [en ligne] [prlog.org/12667475-total-amount-of-recycled-rubber-used-in-installations-of-porous-pave-permeable-pavement-now-tops-ten-million-pounds.html](https://www.prlog.org/12667475-total-amount-of-recycled-rubber-used-in-installations-of-porous-pave-permeable-pavement-now-tops-ten-million-pounds.html) (consulté le 15 Février 2021).

⁵ <https://www.concrete.org>

Soumis le : 17/03/2022

Forme révisée acceptée le : 16/11/2022

Auteur Correspondant : attrassi2@yahoo.fr



**Revue
Nature et Technologie**

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

ISSN : 1112-9778 – E-ISSN : 2437-0312

Étude physiologique de la pourriture des fruits d'agrumes durant la conservation dans quelques marchés de Kenitra (ville marocaine)

Khaled ATTRASSI

Laboratoire de Recherche en Éducation, Environnement & Santé (ÉES), Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF)
Rabat-Salé-Kenitra, Maroc.

Résumé

Les fruits d'agrumes sont récoltés en début de maturation pour maximiser la durée de conservation et la période de mise en marché. Toutefois, une conservation prolongée des agrumes les expose à différentes affections qui peuvent être d'origine physiologique liées le plus souvent au froid, ou d'origine parasitaire, pour l'essentiel des maladies fongiques. Les fruits qui entrent en station de conservation ne deviennent pas tous commercialisables, d'où des pertes financières qui s'ajoutent aux coûts de transport et de stockage. L'étude physiologique de l'effet de deux milieux de culture (Malt Extract Agar (MEA) et Patato dextrose Agar (PDA)) sur la croissance mycélienne de quatre espèces fongiques (*Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*, *Aspergillus niger* et *Acremonium sp.*) isolées des fruits d'agrumes pourris en conservation a montré que les deux milieux sont favorables au développement de ces champignons.

Mots-clés : Agrumes ; Pourriture ; Identification ; Étude physiologique.

Physiological study of the rotting of citrus fruits in conservation in some markets of Kenitra (Moroccan city)

Abstract

Citrus fruits are harvested at the beginning of ripening to maximize the shelf life and marketing period. However, prolonged storage of citrus exposes them to various conditions that may be of physiological origin, often related to cold, or of parasitic origin, mainly fungal diseases. Not all fruits entering the conservation station become marketable, resulting in financial losses in addition to transportation and storage costs. The physiological study of the effect of two culture media (Malt Extract Agar (MEA) and Patato dextrose Agar (PDA)) on the mycelial growth of four fungal species (*Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*, *Aspergillus niger* and *Acremonium sp.*) isolated from rotten citrus fruits in storage showed that both environments are favorable to the development of these fungi.

Keywords: Citrus; Rot; Identification; Physiological study.

1. Introduction

Au Maroc comme dans d'autres pays, les agrumes sont classés parmi les produits agricoles essentiels, en constituant des ressources nationales qui peuvent assurer des revenus et des offres d'emplois dans les zones rurales et périurbaines. De plus, ils coopèrent à la création d'agroécosystèmes plus stables et à la protection de l'environnement, comme ils sont des plantes permanentes [1].

Selon "Citrus World Statistics"¹ la production mondiale d'agrumes en 2021 s'est élevée à 158,5 millions de tonnes sur une superficie de 7,5 millions d'hectares

environ. La Chine avec 55,6 millions de tonnes, le Brésil, l'Inde, les États-Unis et le Mexique étant les principaux pays producteurs [2].

Le Maroc vient en 15^{ème} position parmi les pays producteurs avec un total de 2,35 millions de tonnes au titre de la campagne agricole 2020-2021 contre 2,61 millions en 2018-2019 (figure 1) avec une superficie agrumicole dépassant les 129 000 ha dont 92 000 ha de superficie productive, soit un rendement moyen de 25,5 tonnes/ha [3,4].

¹ <https://worldcitrusorganisation.org>



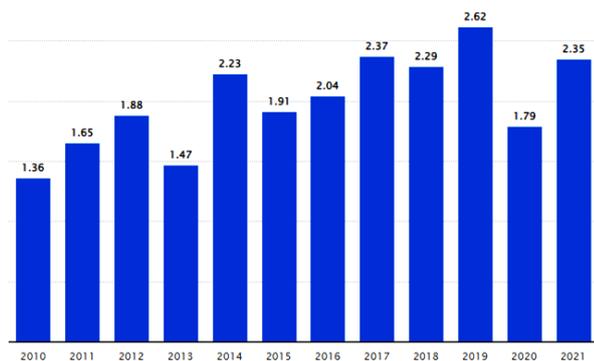


Figure 1 : Production du Maroc en agrumes durant la période 2010 à 2021 [2]

La production marocaine des agrumes a explosé depuis le lancement du plan « Maroc vert », qui a permis à cette production de franchir la barre de deux millions de tonnes en 2015-2016, contre 1,3 millions en 2007-2008 ; mais malgré ce progrès, le plan vert n'a pas influencé le domaine de l'export, qui est resté au même niveau qu'au début des années 2000, avec près de 600 000 tonnes exportées chaque année sur la période 2015-2020 [4].

Le rythme de l'évolution du secteur agrumicole au Maroc a connu une augmentation étonnante durant les dernières décennies et ceci grâce aux efforts fournis par les agriculteurs et les grands producteurs pour améliorer la qualité du produit afin de rehausser sa place sur le marché international, en vue de présenter un produit compétitif. Ainsi la production des agrumes entre les années 1962 et 2014 a connu beaucoup de progrès grâce aux conditions pédoclimatiques favorables en plus des nouvelles incitations mises en place [5].

En 1962, le total de production était de 504 700 tonnes [6], cette production est arrivée à 2,2 millions de tonnes en 2014 [3,5].

La superficie de production des agrumes au Maroc se répartie de façon aléatoire sur les différentes régions du Royaume, dont 37 % se trouve localisée au niveau de la région de Souss-Massa, suivie de la région de Gharb-Loukkos avec 19 %, suivie de l'Oriental avec 17 %, Tadla avec 15 % et l'Haouz avec 6 %. Le reste de la superficie, soit 5 % est située dans les régions de Taounate, Khémisset, Fès et Meknès [7].

Les principales variétés cultivées actuellement au niveau du verger agrumicole national sont : Clémentine (26 %), Maroc Late (24 %), Navel (19 %), les 31 %

restantes sont représentées par la Nour, Nules, Afourer, les variétés de demi-saison et autres [6].

Dans ce travail, nous avons étudiés deux paramètres physiologiques de quatre espèces fongiques responsables de la pourriture des pommes en conservation, isolées à partir de lésions des fruits d'agrumes conservées en chambre froide de Kenitra.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Isolement et identification des espèces fongiques

Des oranges pourries de la variété *Citrus sinensis* Osb, de couleur orange et de taille moyenne, provenant de différents marchés de Kenitra sont désinfectées (désinfection totale) préalablement à l'alcool 75°. Les fragments présentant des lésions ont été par la suite découpés et déposés au centre des boîtes de Pétri contenant le milieu Potato dextrose Agar (PDA) additionné de chloramphénicol pour empêcher le développement des bactéries.

Une fois les colonies fongiques sont bien développées, un fragment de chaque colonie est repiqué plusieurs fois sur de nouvelles boîtes de la gélose PDA afin d'obtenir des cultures pures. Des préparations microscopiques sont réalisées à partir des cultures pures (dépôt d'un fragment mycélien dans une goutte d'eau distillée entre lame stérile et lamelle) et observées sous microscope optique. L'identification des espèces fongiques isolées a été réalisée en se basant sur leurs caractères morphologiques et microscopiques (influence de la température et de la composition du milieu de culture sur la croissance mycélienne) [8]. Les images sont prises à l'aide d'un microscope optique (Leica DM750 équipé d'une caméra intégrée).

2.2. Études physiologiques

Pour cerner l'effet de quelques paramètres physiologiques sur la croissance des souches testées, nous avons procédé à l'étude de l'influence de la température et de la composition du milieu de culture sur leur croissance.

2.2.1. Milieux de culture

Deux milieux de culture ont été utilisés pour tester la croissance des moisissures isolées des agrumes, à savoir les milieux PDA et MEA.

Le milieu PDA (Potato-Dextrose-Agar) est constitué de 200 g de pomme de terre, 15 g d'agar et de 20 g de saccharose ; il est mélangé dans une fiole d'ermenmeyer avec 1000 mL d'eau distillée [9].

Le milieu MEA est composé de 15 g d'extrait de malt, 15 g d'agar et 1000 ml d'eau distillée [9-11].

Après stérilisation dans un autoclave à 120 °C pendant 20 minutes, les deux milieux sont ensuite coulés dans des boîtes de Pétri et ensemencés par des fragments de thalles fongiques après solidification, et incubées à 25 °C pendant dix jours [19].

Les milieux de culture sont additionnés de 100 mg.L⁻¹ de chloramphénicol comme antibiotique pour inhiber la prolifération des bactéries.

2.2.2. Effet de la composition du milieu de culture sur la croissance des moisissures

Deux milieux de culture sont testés pour évaluer la croissance mycélienne des champignons. Ce sont les milieux PDA et MEA.

Pour chaque moisissure, un disque de la culture fongique de 5 mm de diamètre est placé au centre d'une boîte de Pétri contenant le milieu de culture à tester. Les cultures sont ensuite incubées dans une étuve à 25 °C et les mesures du diamètre de la colonie fongique sont prises d'une façon quotidienne durant 14 jours, chaque test est répété 3 fois [4].

2.2.3. Effet de la température sur la croissance des moisissures

Des disques mycéliens, issus de cultures âgées de dix jours, sont placés dans des boîtes de Pétri contenant le milieu PDA ; ces cultures sont incubées à différentes températures (4, 10, 15, 20, 25 et 30 °C). Les mesures de diamètres sont prises chaque 24 h afin de tester l'influence qu'exerce la température sur la croissance de chaque moisissure. Chaque test est répété trois fois.

3. Analyses statistiques

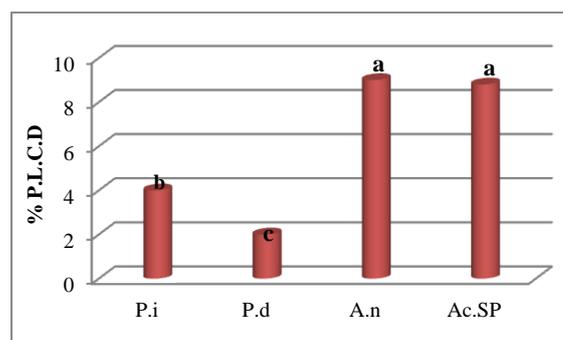
Le traitement statistique des résultats des taux de croissance mycélienne² ont été réalisées par le logiciel XLSTAT© (version 2016)³ avec le test de Duncan (Multiple Range Test) au seuil de 5 %.

4. Résultats et Discussion

A partir des fruits d'agrumes pourris au moment de la conservation, nous avons pu isoler et identifier plusieurs agents fongiques responsables de pourritures d'agrumes. Ainsi, quatre espèces fongiques sont identifiées à partir des lésions de quatre oranges pourries : *Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*, *Aspergillus niger* et *Acremonium sp.* L'identité de toutes les espèces fongiques isolées sera confirmée par des études phylogénétiques.

4.1. Effet du milieu de culture

Les figures 2 et 3 présentent les résultats de l'effet des milieux de culture sur la croissance de quatre espèces de champignons. Il apparaît que les milieux PDA et MEA sont favorables à la croissance mycélienne de la majorité des moisissures ; ces milieux permettent une croissance moyenne de *P. italicum* et *P. digitatum*; cependant l'*Acremonium sp* et *A. niger* ont montré une bonne croissance sur ces deux milieux de culture.

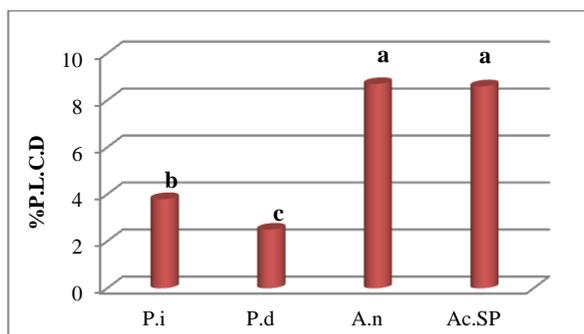


mycélienne de quatre espèces fongiques.
P.i= *Penicillium italicum* ; A.n= *Aspergillus niger* ; P.d=*Penicillium digitatum* ; Ac.SP= *Acremonium sp.*
Les taux ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

Figure 2: Influence de milieu de culture MEA sur la croissance

² Ou P.I.C.D : Pourcentage d'Inhibition de la Croissance Diamétrale (P.I.C.D) égale à calculé par la formule $P.I.C.D = [(Dt-De)/Dt] \times 100$ avec Dt le diamètre moyen des colonies témoins et de le Diamètre moyen des colonies traitées.

³ <https://www.xlstat.com/fr/>



P.i= *Penicillium italicum* ; A.n= *Aspergillus niger* ; P.d=*Penicillium digitatum* ; Ac.SP= *Acremonium sp.*

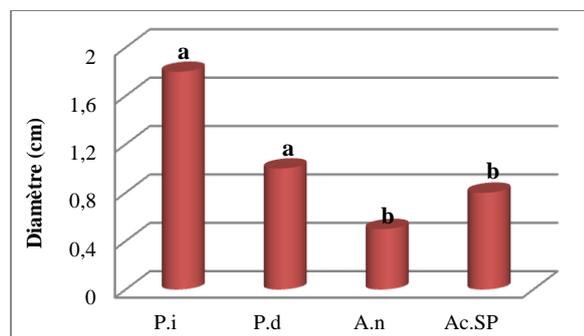
Les taux ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

Figure 3 : Influence de milieu de culture PDA sur la croissance mycélienne de quatre espèces fongiques.

4.2. Effet de la température

Les résultats de l'effet de la température sur la croissance des espèces fongiques isolées sont présentés sur les figures de 4 à 9, où il en ressort que les moisissures testées appartiennent à deux groupes physiologiques différents selon leurs températures optimales de croissance : thermophile qui préfère croître à des températures élevées tel que *Aspergillus niger* dont la température optimale avoisine 30 °C, et mésophiles, avec des températures optimales situées entre 20 et 25 °C, comme : *P. italicum* et *P. digitatum* qui se développent mieux à 20 °C, alors que *A. niger* et *Acremonium sp.* Préfèrent des températures voisines de 25° C.

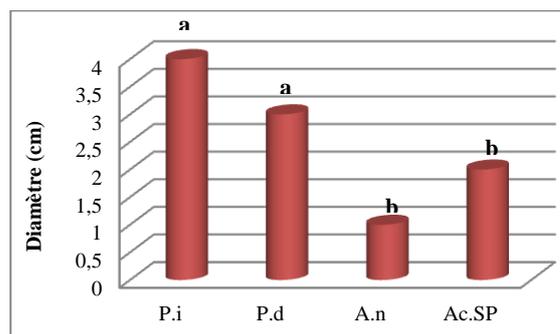
En effet, chaque espèce fongique présente un intervalle de température qui est convenable à son développement.



P.i= *Penicillium italicum* ; A.n= *Aspergillus niger* ; P.d=*Penicillium digitatum* ; Ac.SP= *Acremonium sp.*

Les taux ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

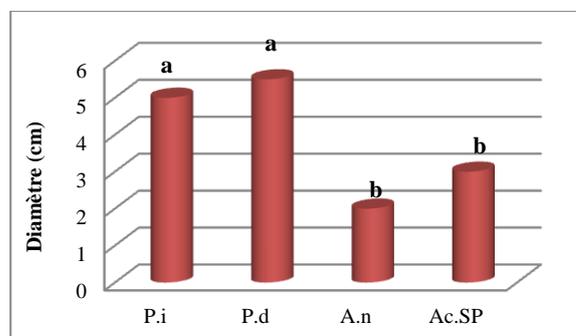
Figure 4 : Effet de la température 4 °C sur la croissance mycélienne des différentes moisissures testées.



P.i= *Penicillium italicum* ; A.n= *Aspergillus niger* ; P.d=*Penicillium digitatum* ; Ac.SP= *Acremonium sp.*

Les taux ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

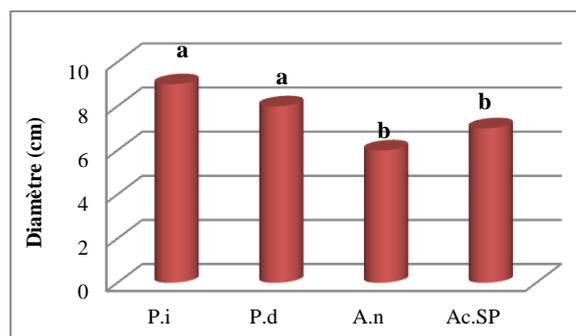
Figure 5 : Effet de la température 10 °C sur la croissance mycélienne des différentes moisissures isolées.



P.i= *Penicillium italicum* ; A.n= *Aspergillus niger* ; P.d=*Penicillium digitatum* ; Ac.SP= *Acremonium sp.*

Les taux ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

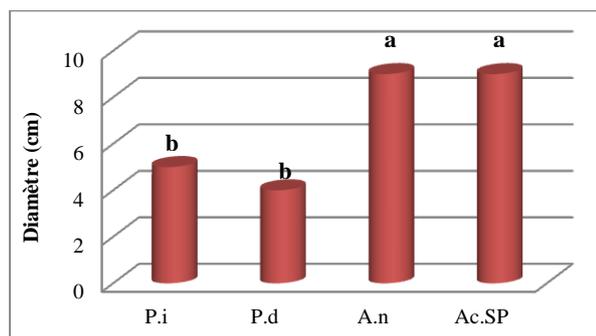
Figure 6 : Effet de la température 15 °C sur la croissance mycélienne des différentes moisissures isolées.



P.i= *Penicillium italicum* ; A.n= *Aspergillus niger* ; P.d=*Penicillium digitatum* ; Ac.SP= *Acremonium sp.*

Les taux ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

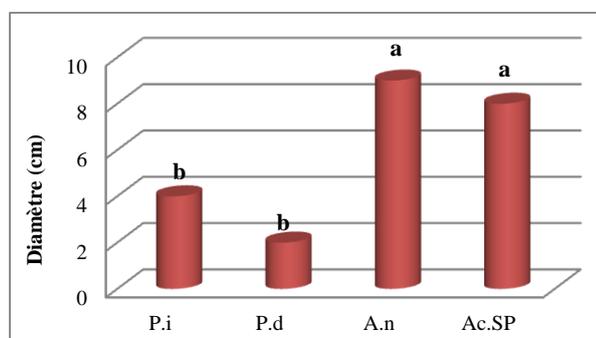
Figure 7 : Effet de la température 20 °C sur la croissance mycélienne des différentes moisissures isolées.



P.i= *Penicillium italicum* ; A.n= *Aspergillus niger* ; P.d=*Penicillium digitatum* ; Ac.SP= *Acremonium sp.*

Les taux ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

Figure 8 : Effet de la température 25 °C sur la croissance mycélienne des différentes moisissures isolées.



P.i= *Penicillium italicum*; A.n= *Aspergillus niger*; P.d=*Penicillium digitatum*; Ac.SP= *Acremonium SP*

P.i= *Penicillium italicum* ; A.n= *Aspergillus niger* ; P.d=*Penicillium digitatum* ; Ac.SP= *Acremonium sp.*

Les taux ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

Figure 9 : Effet de la température 30 °C sur la croissance mycélienne des différentes moisissures isolées.

Plusieurs auteurs ont rapportés que les *Penicillium* se développent à des températures modérées de l'ordre de 20 à 27 °C [12-15]; cependant la température optimale de croissance d'*Aspergillus niger* varie généralement de 25 à 30 °C ; cette moisissure peut continuer à croître jusqu'à 42 °C [15]. Quant aux *Acremonium* leurs températures optimales de croissance varient de 20 à 30 °C [16].

Des résultats similaires ont été signalés chez *Alternaria alternata* et *Penicillium expansum* [16]. D'autres travaux ont montré que les optimums de germination, de croissance mycélienne et de sporulation se situent entre 25 et 30 °C pour *Alternaria alternata* [17-19].

5. Conclusion

Les agrumes sont riches en eau et en sucres facilement métabolisables par les moisissures. Dans la première partie de ce travail nous avons procédé à l'isolement de quelques moisissures responsables de la détérioration des agrumes ; les résultats de leur identification nous ont permis de reconnaître les espèces suivantes : *Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*, *Aspergillus niger* et *Acremonium sp.* qui se sont révélés tous capables de provoquer des pourritures chez les agrumes.

Pour bien se développer, les champignons exigent des températures d'incubation et des milieux de culture de composition chimique convenables. Ces deux facteurs influencent les étapes de leur cycle de développement. Les champignons étudiés se développent bien sur les milieux PDA et MEA avec des différences non significatives dans leurs vitesses de croissance dans les deux milieux ; de même la température influence sur le développement de *Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*, *Aspergillus niger* et *Acremonium sp.* qui se développent bien à 20°C et 25 °C, alors que la croissance d'*Aspergillus niger* est maximale à 30 °C.

Références

- [1] FAO, 2003; Groupe Intergouvernemental sur les Agrumes, Systèmes de Production de Plants D'Agrumes Sains à Cuba ; ccp: ci 03/10.14p. Disponible en ligne : <https://www.fao.org/publications/card/en/c/200674d8-2f8b-51be-8703-33a3ad1e2743/> (consulté le 12/02/2022)
- [2] ©Statistica 2023. URL : <https://www.statista.com/statistics/1214221/production-volume-of-citrus-fruits-in-morocco/>. (consulté le 12/01/2023)
- [3] Harbouze R., Pellissier J.-P., Rolland J.-P., Khechimi W., Rapport de synthèse sur l'agriculture au Maroc. [Rapport de recherche] CIHEAM-IAMM. 2019, pp.104. fihal-02137637v2. <https://hal.science/hal-02137637/document>
- [4] <https://maroccitrus.com/statistiques-2/> (consulté le 02/03/2022)
- [5] Dilami A., 2016; L'ECONOMISTE. Disponible en ligne : https://leconomiste.com/sites/default/files/eco7/public/special_siam_2016.pdf (consulté le 16/03/2022)
- [6] Chapot H, LE citrone borneo, Al Awamiam 13 (4) (1964): 137–153. <https://www.inra.org.ma/fr/content/le-citron-de-borneo> (consulté le 14/02/2022)
- [7] Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2012; Situation de l'Agriculture MAROCAINE - N°10 ; Dossier, Produits de terroir : une stratégie d'action le long de la chaîne de valeurs [Texte imprimé].
- [8] Samson R.A., Hoekstra E.S. and Frisvad J.C., 2004; Introduction to Food- and Airborne Fungi. 6th edition. CBS, Utrecht, The Netherlands. ISBN: 9070351528.

- [9] Pitt J.I., 1988; Laboratory guide to common *Penicillium* species. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. Division of Food Processing. 187 p. North Ryde, N.S.W., Australia. ISBN: 9780643048379 et 0643048375
- [10] Botton B., Burton A., Fevre M., Gauthier S., Guy P.R., Larpent J.P. *et al.*, 1990, Moisissures utiles et nuisibles, importance industrielle, Édition Masson, 511 p. ISBN: 9782225819872 et 2225819874.
- [11] Davet P. et Rouxel F., 1997; Détection et isolement des champignons du sol. Édition INRA, Paris, 203 p. ISBN: 9782738007315 et 2738007317
- [12] Moreau C., 1980; Le *Penicillium roqueforti*, morphologie, physiologie, intérêt en industrie fromagère, mycotoxines. (Révision bibliographique) ; Le Lait, INRA Editions, 60 (595 596) (1980) : 254-271. Disponible en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00928855> (consulté le 15/02/2022)
- [13] Molimard P., Vassal L., Spinnler H., 1995; Suivi de croissance de *Penicillium camemberti* et *Geotrichum candidum* en culture pure et en association au cours de l'affinage de fromages expérimentaux à pâte molle de type camembert ; Le Lait, INRA Editions, 75 (1) (1995) : 3-16. Disponible en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00929415> (consulté le 18/02/2022)
- [14] Bensoussan M., Charpentier C., Roux B., Guilmar A. et Dantigny P., Effets de la température et de la teneur en CO₂ de l'ambiance sur la croissance de moisissures d'altération de la vigne, réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ? Global warming, which potential impacts on the vineyards? 28-30 mars 2007 / March 28-30, 2007. Disponible en ligne: https://chaireunesco-vinetculture.u-bourgogne.fr/colloques/actes_clima/Actes/Article_Pdf/Bensoussan.pdf (consulté le 12/06/2022)
- [15] Tabuc C., 2007, « Flore Fongique de Différents Substrats et Conditions Optimales de Production des Mycotoxines ». Thèse doctorat, Université de Bucarest, Institut National Polytechnique de Toulouse. 190p. Disponible en ligne : <https://core.ac.uk/download/pdf/19938135.pdf> (consulté le 02/03/2022)
- [16] Peberdy J.F., 2013, *Penicillium and Acremonium*. Springer Science & Business Media. Biotechnology handbooks: p. 57. 298. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1986-1>
- [17] Selmaoui K., 1999, « Étude d'un complexe fongique responsable de la pourriture des pommes en conservation. Application de quelques moyens de lutte chimique ». Thèse Doct. Univ. Ibn Tofaïl, Fac Sci. Kenitra, Maroc, 175 p.
- [18] Hasijà S.K., Physiological studies of *Alternaria citri* and *A. tenuis*, *Mycologia*, 62 (2) (1970): 289-295. <https://doi.org/10.1080/00275514.1970.12018967>
- [19] Lamarque C., Étude comparée de l'évolution des *Alternaria* du tournesol en Australie et en France [*Alternaria helianthi*, *Alternaria tenuis (alternata)*], *Phytoma*, (393) (1987) : 24-27.
-

Submitted on: 28/05/2022

Revised form accepted on: 16/01/2023

Corresponding author : wouyoatakpama@outlook.com



**Revue
Nature et Technologie**

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

ISSN: 1112-9778 – E-ISSN: 2437-0312

Priority area for sustainable Cashew (*Anacardium occidentale* L.) growing in Togo: Economic implications and conservation areas

Mèwèmenreré Denise ASSANG^{a,b}, Wouyo ATAKPAMA^{a,*}, Enagnon Benoit Olivier AHOANDJINOUC^d, Kangbeni DIMOBE^{a,e,f}, Gérard Nounagnon GOUWAKINNOUC^c & Koffi AKPAGANA^a

^a Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Département botanique, Faculté des sciences, Université de Lomé, 01 BP 16515, Togo.

^b Département d'Agriculture, Institut Nationale de Formation Agricole (INFA) de Tové, BP 401 Kpalimé Togo.

^c Laboratoire d'Écologie, de Botanique et de Biologie végétale (LEB), Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, 03 B.P. 125, Parakou, Bénin.

^d West African Service, Science Centre on Climate Change and Adapted Land use (WASCAL), Department of Climate Change & Human Habitat, Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria.

^e Laboratoire de Biologie et Écologie Végétales, UFR/SVT, Université Joseph Ki-Zerbo, 03 B.P. 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

^f Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, Université de Dedougou, B.P. 176 Dedougou, Burkina Faso.

Abstract

Understanding a species' current and future potential habitat is crucial to design its policy for management and cultivation practices that are more resilient in the face of climate change. This study assessed the present-day distribution and predicted the potential effect of climate change on the distribution of *Anacardium occidentale*'s habitat in Togo under two Representative Concentration Pathways (RCP4.5 and RCP8.5) by 2055. Maximum Entropy algorithm, 2538 species occurrence records, and a combination of 23 climate- and soil-related variables were used. Soil, isothermality, temperature seasonality, and annual precipitation are the most significant environmental factors affecting the distribution of the species in Togo. Based on the current model, 54.45% of the Togolese landscape is favourable for cashew development, mainly in the plains of Guinean and Sudanese savannahs. Unfavourable areas (15.20%) are in the southern mountainous areas of Togo and coastal areas. An increase in favourable areas and a slight decrease in unfavourable and moderately favourable areas are predicted by 2055, considering the two scenarios.

Keywords: Fruit crops; Climate change; Habitats; MaxEnt; Togo.

1. Introduction

Climate change is now broadly recognized and accepted as evident and one of the world's most pressing environmental challenges. Global climate change, mostly driven by increases in atmospheric concentrations of anthropogenic greenhouse gases, has significant impacts on human health, socio-economic activities, and ecosystems [1]. Under climate change, species may shift their ranges to cope with changes in climate [2].

In Africa, forestry and agriculture are likely to be the economic sectors affected mainly by climate change and variability [3, 4]. To cope with these changes, rural populations have embarked on a process of diversifying their income through the use of new resilience strategies, mainly cashew cultivation.

The cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) belongs to the Anacardiaceae family [5, 6]. The genus *Anacardium* contains eight native species from tropical America, among which *A. occidentale* is the most economically important [7]. This introduced tree species has become an essential source of income for rural populations [8, 9]. It is mainly cultivated for its nut which is an important industrial and export raw material [10]. Within Africa, the crop is booming and a raw nut production has increased from 1 million tons to 1.8 million tons with an annual growth of 5.8% between 2011 and 2018 [11].

Reducing atmospheric carbon levels promotes a healthy environment conducive to human development. The cashew plantations contribute to the efforts to address climate change through carbon sequestration



This document is freely available under the terms of the Creative Commons Attribution License CC-BY 4.0, which permits sharing, copying, reproducing, distributing, communicating, reusing, or adapting it with the obligation to credit its author.

[12]. Reducing atmospheric carbon levels promotes a healthy environment conducive to human development. The increase in the cultivated area of the cashew is due to its high hardiness and low soil and climate requirements. It is especially suitable for areas with a warm tropical climate with alternating wet and dry seasons. The species adapts to various soils. In response to the projected negative impacts of climate change on biodiversity [1], there is a need for data regarding the future geographical range of high socio-economic value species like cashew. This understanding will help develop effective adaptation strategies to maintain ecosystem services and functions [13].

In Togo as in the Sub-Saharan African region, cashew cropping is gaining importance due to the recent trade development in the two main products: cashew kernels and cashew balms. The species' cost-effectiveness pushes producers to establish new plantations even in areas that are sometimes not favourable enough for its growth. This study aims to provide tools that allow quick detection of favourable habitats for cashew cultivation in Togo by answering the following three questions. Can cashew cultivation succeed anywhere in Togo? What role do the local environmental conditions play in determining the success of cashew plantations, and how will climate change impact these areas in the future?

2. Methodology

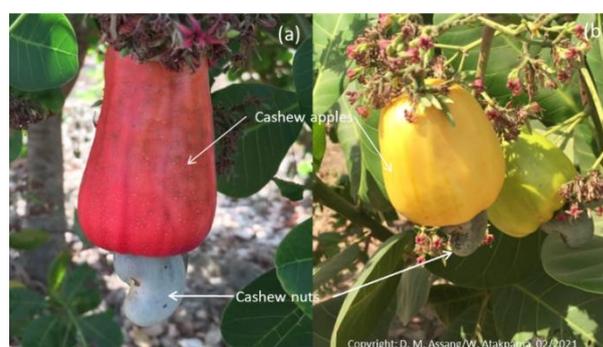
2.1. Description of the plant material the

Anacardium occidentale L.:

Anacardium occidentale L. is a woody species with a flared canopy of up to 15 m in height, sometimes more than 15 m. It has a highly branched trunk with dense, evergreen, dark-green foliage (red or pale green in the juvenile state) with a regular, hemispherical canopy measuring 12 to 14 m in diameter. The branches have a globular and drooping habit. The stem bark is rough grey with a pinkish edge. The leaves of alternate phyllotaxis are simple, whole, oval or oblong, rounded at the top, and leathery of dark-green colour.

The flowers, supported by a very short pedicel, are small, pentamerous, zygomorphic, white or pale yellow streaked of pink at the time of the bloom, becoming pink a little afterwards. They are covered with broad bracts

that are slightly pubescent. The calyx is made up of free, green, oblong, erect sepals, with quincunx pre-flowering and forming a kind of tube of a length equal to that of the pedicel. The petals are white or yellow, sometimes streaked of pink, free, linear to lance-shaped, alternated, and with imbricate pre-flowering. The stamens, generally to the number of 10, are welded by the base of the nets in a tube of 2 mm length. Generally, the terminal flower of each cyma is hermaphroditic and the laterals are unisexual [14]. The cashew fruit is an achene (Figure 1), notably a grey or greyish-brown kidney-shaped nutlet at maturity.



Copyright © D.M. Assang/W. Atakpama, 02/2021

Figure 1: Cashew tree fruits: red apple variety (a) and yellow apple variety (b).

2.2. Description of the study area

With an extent of 56,600 km², Togo is a West African country. The climate is intertropical with significant variations from the south to the north. The rainy season is shorter from south to north. From 8°30' north in the West and 9° north in the East to the border of Burkina Faso, there is a subtropical Sudanian dual-season pattern and its variants with three to six ecologically dry months. The southern part of the country experiences a sub-Equatorial Guinean climate with four seasons and two variants: the Guinean lowland type, which is less rainy with 1,000 to 1,300 mm/year, and the Guinean mountain type, which is rainier with about 1,600 mm/year. Most of the country is covered by savannahs and is divided into five ecological zones [15]: ecological zone I or northern plains, ecological zone II or northern mountains, ecological zone III or central plains, ecological zone IV or southern mountains, and ecological zone V or the coastal plain of southern Togo (Figure 2).

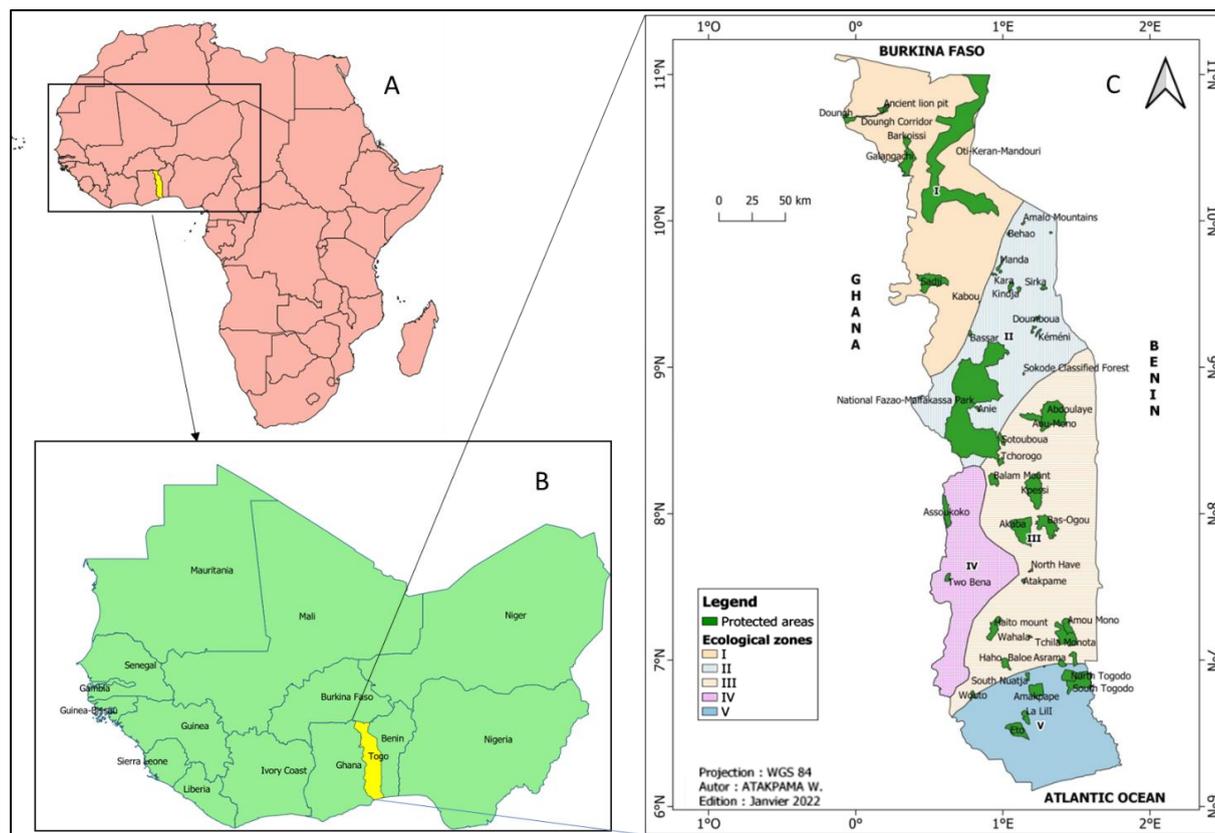


Figure 2: Location of the study area: Togo in Africa (A), Togo in West Africa (B) and Ecological subdivision and protected areas of Togo (C).

The northern plains (ecological zone I), located in the country's northern part, are dominated mainly by Sudanian tree and shrub savannahs. In the northern parts of this zone, a thorny shrub savannahs similar to that found in Burkina Faso between Ouagadougou and Kaya develops on eroded, more or less rocky soils [16]. There are vast agroforestry parks, notably those with: roasted trees (*Borassus aethiopicum* Mart. and *Borassus akeassii* Bayton, Ouédraogo & Guinko), African locust beans trees (*Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br. ex Benth.), shea butter trees (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.), baobabs (*Adansonia digitata* L.), etc. [17-20], which are important sources of income for local populations. Along the rivers, gallery forests are characterized by a high level of anthropogenic influence [21, 22].

The northern mountains (Zone II) are characterized by the Kabyè massif and the Defalé Mountains that border the Niamtougou plateaus and the Binah plain. It is an area of dense dry woodlands, open woodlands, and grassy savannahs [23]. It is also home to agroforestry

parks dominated by the African locust beans trees, the shea butter trees, and the baobab trees [17, 18, 24].

The Central Plains or Ecological Zone III refers to the large areas of plains in the country's centre with elevations between 200 and 400 m. The dominant vegetation is wooded Guinean savannahs. Open forests and discontinuous gallery forests are also [25].

Ecological zone IV corresponds to the southern part of the Togolese mountains, still called the Atakora unit [26]. It consists of the Litimé and Ahlon plains, the Akébou, Akposso, Dayes, and Kloto plateaus. It constitutes the area of moist and semi-deciduous forests of Togo [27]. There are also extensive areas of Guinean savannahs, also known as mountain savannahs [6]. Native plants' communities in this zone are subject to strong human pressures. Most of them are transformed into agroforestry and agrarian areas for cocoa or coffee [28, 29].

The coastal plain of southern Togo (zone V) is dominated by the coastal sedimentary basin located country's extreme south. Due to the high population

density, the coastal plain vegetation is characterized by a mosaic of farmland and fallows [30]. There are also scrublands, bushes, and derived savannahs [6]. Within the grassy savannahs of the littoral, there are savannahs with bushy termite mounds and patches of sacred forests [31]. Mangroves, floodplain grasslands, and savannahs also occur in the extreme southeast of the zone [32]. These grasslands and savannahs are highly solicited for cow pastures [33].

2.3. Occurrence Data Collection

Occurrence data of the cashew trees across Togo, Benin, and Ghana were collected using a GPS (Global Positioning System) Garmin receiver and android

application MAPS.ME between November 2020 and February 2021. To improve the accuracy of the model, it was recommended to use occurrence data that cover as much as possible the area where the species is driven by the same climatic factors. Therefore, additional occurrence data of the cashew in West Africa provided by the Global Biodiversity Information Facility platform (<https://www.gbif.org/>) were collected using the “gbif” extension in the QGIS 2.18 software¹ (Figure 3). These data are the updated data from 1950 to 2020. A total of 2,538 points of occurrence were used for the modelling after crosschecking and suppression of wrong and duplicated occurrences. These considered occurrences included 833 across Togo and 1,705 of GBIF.

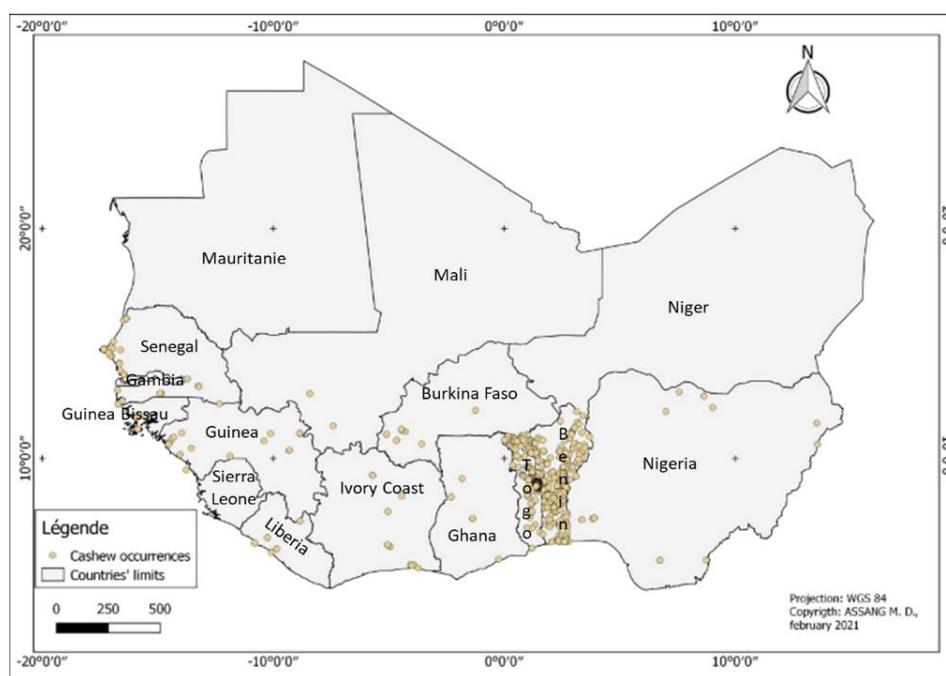


Figure 3: Spatial distribution of cashew tree presence in West Africa.

2.4. Environmental Data

A total of 23 environmental variables were used to model the cashew-growing areas. These included 21 bioclimatic variables combined with altitude and soil data (Table 1). The bioclimatic variables and altitude data were extracted from the AFRICLIM¹ database [34] and the soil data from the Harmonized Soil² base [35].

The resolution is 30 seconds, equivalent to 1 km² at the equator. These variable layers were cropped along the West African boundaries and then converted to ASCII files compatible with the MaxEnt algorithm³.

The models were performed using all environmental variables [36, 37] instead of correlative analysis and choice of variables as done in several previous studies [38, 39]. Two scenarios of emission called RCPs

¹ https://webfiles.york.ac.uk/KITE/AfriClim/GeoTIFF_30s/

² <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/hwsd/en/>

³ Detailed description of the program is given by C. Merow *and al.*: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>

(Representative Concentration Pathways)⁴ were used for the future climate projections based on the four scenarios of greenhouse gas emission. The two selected scenarios are the most realistic ones. These include the optimistic scenario (RCP 4.5) and the pessimistic scenario (RCP 8.5) [40]. The RCPs were designed to test the global climate response to greenhouse gas emissions.

Table 1
Environmental variables used for modelling.

Environmental variables	Description of the variable
Soil	Soil
Elevation	Altitude
Temperature Variables	
bio1	Annual Mean Temperature
bio2	Mean Diurnal Range
bio3	Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)
bio4	Temperature Seasonality (standard deviation *100)
bio5	Max. Temperature of Warmest Month
bio6	Min. Temperature of Coldest Month
bio7	Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
bio10	Mean Temperature of Warmest Quarter
bio11	Mean Temperature of Coldest Quarter
Pet	Potential Evapotranspiration
Pluviometry variables	
bio12	Annual Precipitation
bio13	Precipitation of Wettest Month
bio14	Precipitation of Driest Month
bio15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
bio16	Precipitation of Wettest Quarter
bio17	Precipitation of Driest Quarter
dm	Number of dry months
llds	Duration of the longest dry season
miaq	Moisture index of the wettest quarter
mimq	Dry quarter moisture index
mi	Annual moisture index

2.5. Modelling and validation of the model

The modelling was performed with the MaxEnt algorithm, which has its basis in information theory, via a stand-alone Java program in the field of artificial

intelligence [41]. This algorithm is one of the most powerful modelling methods capable of generating strong biogeographic information while providing good discrimination of habitats suitable for a species based on bioclimatic variables [41].

The occurrence data were entered into an Excel file and then converted to a “CSV” format, compatible with the MaxEnt algorithm. The model was repeated ten times to increase accuracy. To evaluate the model, 25% of the occurrence data were used to test the model and 75% of the points to calibrate the model.

The model accuracy was assessed using the Receiver Operating Characteristics Curve (ROC) index⁵, obtained by calculating the area under the curve (AUC). The AUC values are interpreted as proposed by Swets [42]: AUC<0.75 (the model is bad), 0.75<AUC<0.90 (the model is fair), AUC > 0.90 (the model is good). The evaluation of the model was completed by assessing the contribution of each variable used in the model run from the Jackknife test and the projection of the occurrences onto the model mapped. A new field investigation for the collection of 123 new occurrences allowed completion of the validation of the model.

The QGIS software was used to map the cashew potential current and future growing areas. Two habitats were first defined based on the 10 percentile threshold: unfavourable habitat (habitats with a probability below the threshold) and favourable habitat. Then the favourable habitat was subdivided into: less favourable, moderately favourable, and highly favourable. The area of each habitat and its dynamics under each scenario were calculated.

3. Results

3.1. Contribution of variables and model performance

The average AUC value is 0.952 showing a good prediction of habitat. The variable that contributed the mostly to the models was the soil variable (solresam), followed respectively by the isothermality (bio3), the temperature seasonality (bio4), the annual precipitation (bio12), and the annual moisture index (mi). The least contributing variable was the altitude (Figure 4).

⁴ An overview: <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

⁵ <https://online.stat.psu.edu/stat504/lesson/7/7.4>

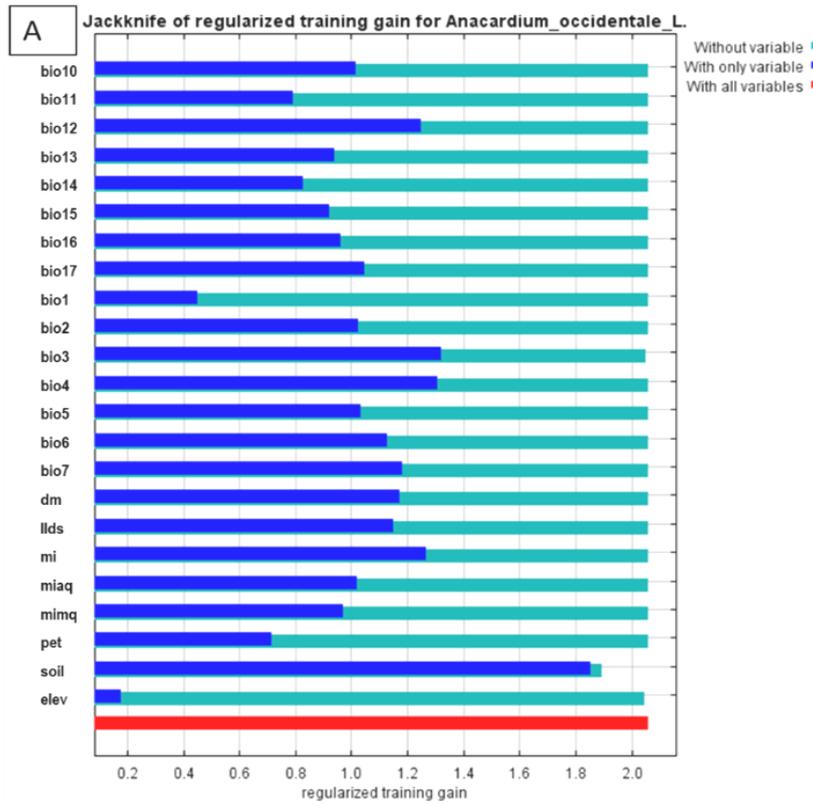


Figure 4A: Contribution of variables in the modelling according to the Jackknife test

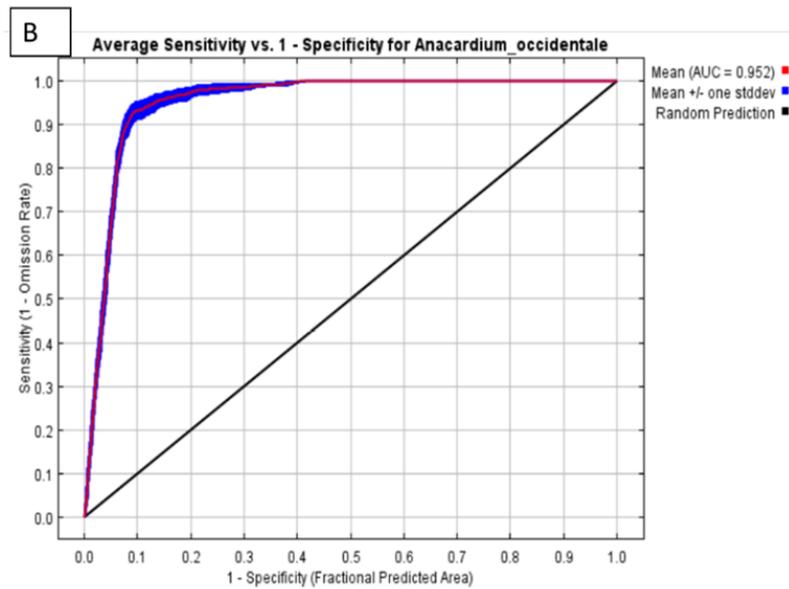


Figure 4B: The Cross-validated areas under the receiver operating characteristic curve (AUC)

3.2. Current and future potential cropping area of *A. occidentale* in 2055

More than half (54.45%) of Togo's territory is potentially highly favourable for cashew cultivation (Figure 5). These highly favourable habitats are located more in ecological zones II and III corresponding to the

Sudanian and Guinean savannahs. The species' medium and less favourable habitats are located in the northwest of the ecological zone I and in the southeast of ecological zones III and V. The unfavourable habitats

are estimated to be 15.2%. They are located more towards the country's southwest, specifically in ecological zone IV and south of ecological zone V.

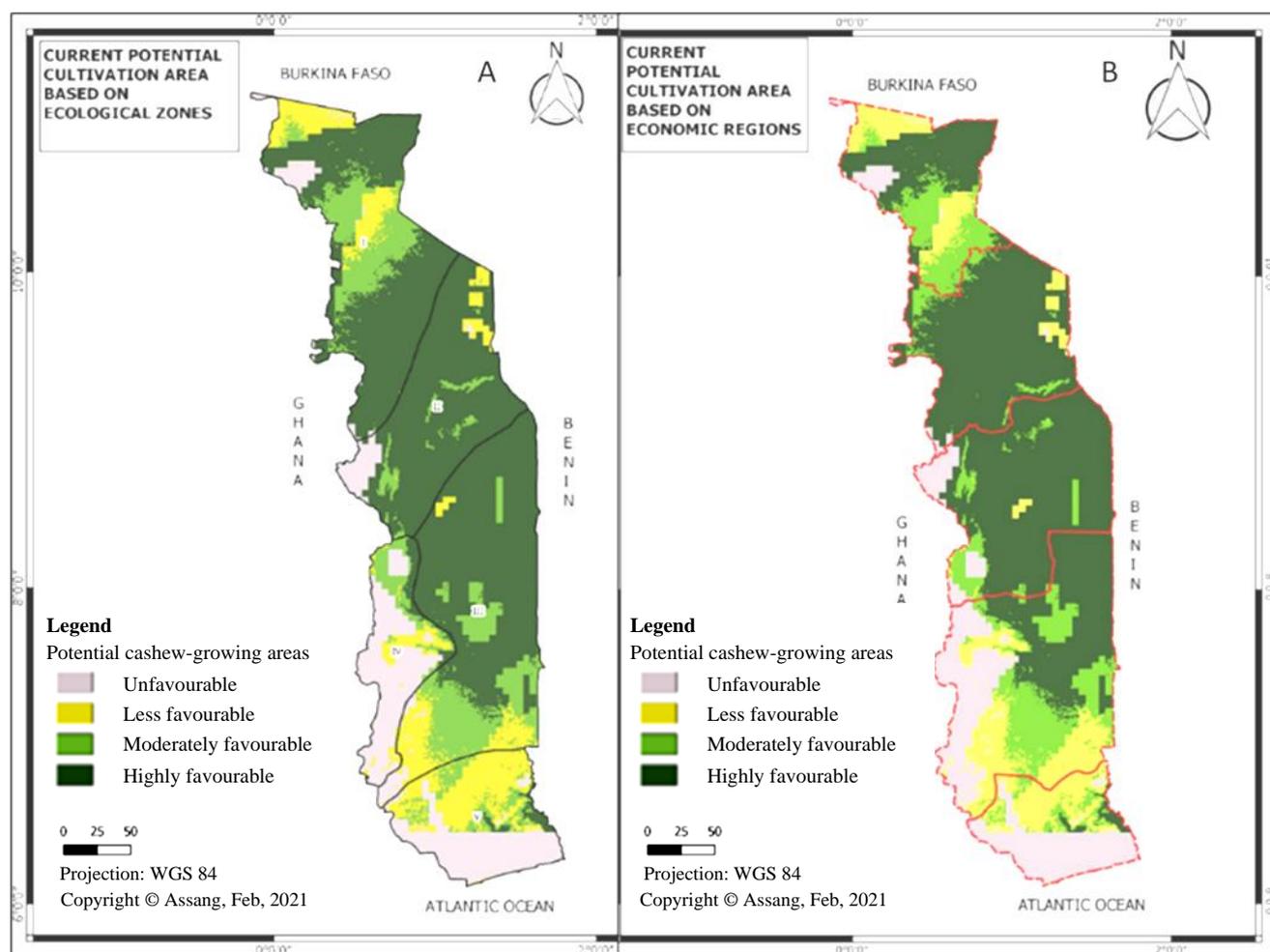


Figure 5: Current potential cultivation area of the cashew tree according to ecological zones (A) and economic regions (B) of Togo.

The RCP 4.5 predicts a large (64.90%) and small (15.30%) favourable and unfavourable habitats, respectively, by 2055. RCP 8.5 shows the same trends (62.20% and 18.50% for the highly favourable and unfavourable habitats, respectively) (Figure 6). The projections show a 10% expansion in the area of highly favourable habitat by 2055 under the RCP 4.5 scenario.

The medium and low favourable habitats will decrease by 3% and 7%, respectively. Scenario 8.5 indicates an increase of 8% in current highly favourable habitats. The medium and low favourable habitats decreased by 6% and 5%, respectively. Meanwhile, a 3% increase in unfavourable habitats is predicted.

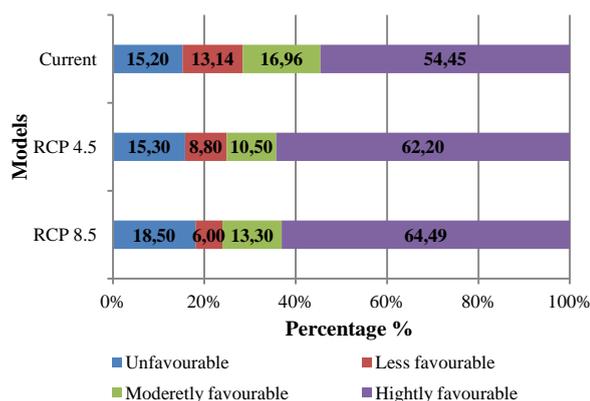


Figure 6: Proportion of current and potential future habitats according to the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios of the cashew tree in Togo.

4. Discussion

4.1. Model reliability and 'variables' contribution

The strength and validity of species distribution models depend on the input data. This study used the maximum entropy (MaxEnt) approach used by several authors in species distribution [43, 44] for mapping potential growing areas of the cashew in Togo. This 'approach's strength is its ability to combine occurrence data and environmental variables across the study area [45]. It also has the facility to run with quantitative and qualitative data simultaneously. The value of the Area Under the Curve showed a good prediction of the cashew trees' favourable habitat in Togo.

The least favourable habitat for cashew cropping is found in areas of high rainfall, particularly in the mountainous areas of the south and the coastal zone of Togo. The Kara and Central regions are predicted to be highly favourable. This prediction is partly in line with the current cultivation areas of the species and is also consistent with the rainfall requirements of the cashew tree. [46]. Results showed that the fundamental habitat differs very little from the realized habitat. This contradicts several previous studies that showed that realized habitat is more frequently the most important than fundamental habitat [39, 47]. This finding is justified by the fact that this crop is adopted by farmers who implement plantings across the country without considering the climatic and soil requirements.

Edaphic factors are one of the environmental factors that can predict and affect species distribution, specifically plant species [48, 49]. The distribution pattern of distribution showed that soil is a major factor in the spatial distribution of the cashew, followed by the bioclimatic variables, the isothermality, the

temperature, and the annual precipitation. Soil affects plants physiological state, so its effect on the model is considerable. The implication of edaphic requirements of the cashew were stated by Gnahoua & Louppe [50]. The species does not thrive in clayey and flooded soils of lowlands such as those in the Maritime region of Togo. This situation could be linked to soil pH which was shown to affect considerable plant species distribution [51]. The pH can affect soil resource availability and nutrients up taking by plants [52]. The use of soil ecological characterization has become necessary in predicting multiple-use endogenous species. Thus, to improve plant SDM, appropriate indices of soil nutrients are needed. Seasonal temperature and precipitation define the soil moisture content [49]. The contribution of the seasonality, the temperature, and the annual precipitation supports the findings of Lyam *et al.* [44]. These authors showed that temperature and precipitation are major factors in plant species and vegetation distribution. Both of these variables added to soil act directly in the spatial distribution of the cashew and could be the primary environmental parameters in the ecology of the species. Variability in climatic factors across species populations highlights the ability of specific population models to lead experiences to disentangle local adaptive or functional differentiation.

4.2. Implications of future climate conditions

Predicting how the species might respond to climate change is a fundamental component in designing biodiversity conservation and management policies. Climate projections indicate that the area of habitat currently favourable for the cashew cropping in Togo is not expected to be stable under both scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5). This could be due to the ability of the species to develop tolerance to climate change.

The predictive models used for the 2055 horizon showed that habitats highly favourable to cashew development will expand. Considering the evolution of habitats with the different scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5, it may be stated that climate change will not be a major threat to cashew cultivation in Togo. It is therefore a crop that is resilient to climate change. However biotic factors and anthropogenic disturbances can affect the species niche distribution [49]. Including natural disturbances such as herbivory, human settlements and density in the SDMs should be an excellent predictor of understanding the impact of climate change on the species niche. This can lead to

understanding how temperature and rainfall change patterns could affect vegetation distribution. Ecological zones II and III are not only favourable for the species valorization, but also adequate for the conservation/sustainable cultivation of cashew trees, in contrast to ecological zone I showed as less favourable for its conservation. The habitats favourable to the species in the ecological zone I will consequently be more affected than those in ecological zones II and III.

5. Conclusion

The study assessed the effects of climate change in predicting the spatial distribution of potential cultivation for cashew trees in Togo by 2055. The results show that soil is the most important predictor of the spatial distribution of the cashew in Togo. The climate conditions indicate that 54.45% of the country's land area is highly favourable for cashew cultivation in the next few years. This proportion of highly favourable habitats will increase significantly by 2055 under the two climate scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5). Taking these findings into account for cashew plantations by the farmers and the Ministry of Agriculture, Livestock and Rural Development will increase the resilience of the populations to future climate conditions.

Acknowledgements

Islamic Development Bank (IsDB) under The World Academy of Sciences (TWAS)-UNESCO Postdoctoral Programme⁶, help the second author for gaining knowledge on Ecological Niche Modelling. We thank the field assistants who helped in data collection. Finally, we thank the anonymous reviewers for their valuable comments on the earlier version of this article

References

- [1] Bogner J., Pipatti R., Hashimoto S., Diaz C., Mareckova K., Diaz L., Kjeldsen P., Monni S., Faaij A. & Gao Q., Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation). Waste Management & Research, 26 (1) (2008): 11-32. <https://doi.org/10.1177/0734242x07088433>
- [2] Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J., Fromentin J.-M., Hoegh-Guldberg O. & Bairlein F., Ecological responses to recent climate change, Nature, 416 (6879) (2002): 389-395. <https://doi.org/10.1038/416389a>
- [3] Koungbanane D., Zahiri P.E., Totin Vodounon H.S., Amoussou E., Lare L.Y. & Koubodana D.N., Analyse fréquentielle et détermination des seuils pluvio-hydrologiques de risques d'inondation dans le bassin-versant de l'Oti au Togo, Afrique SCIENCE, 17 (1) (2020): 73-88. Available online: <http://www.afriquescience.net/PDF/17/1/7.pdf> (accessed on: 03/03/2022)
- [4] Folega F., Diwediga B., Guuroh R.T., Wala K. & Akpagana K., Riparian and stream forests carbon sequestration in the context of high anthropogenic disturbance in Togo, Moroccan Journal of Agricultural Sciences, 1 (1) (2020). [HTML version]: <https://techagro.org/index.php/MJAS/article/view/820> (accessed on: 05/03/2022)
- [5] APG III, An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III, Bot. J. Linn. Soc., 161 (2) (2009): 105-121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
- [6] Brunel J.F., Hiepko P. & Scholz H., Flore analytique du Togo : Phanerogames (1984) Berlin & Eschborn: GTZ, 751p. <https://doi.org/10.2307/3776742>
- [7] Somé L.F.M.C., "Analyse socio-économique des systèmes de production d'anacarde au Burkina Faso : cas des régions des Cascades et des Hauts-Bassins", Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, (2014), 66p. Available online: <https://beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-2014-SOM-ANA/IDR-2014-SOM-ANA.pdf> (accessed on: 19/02/2022)
- [8] Ndiaye S., Charahabil M.M. & Diatta M., Caractéristiques des plantations d'anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) et déterminants économiques des exploitations en Casamance, Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement, (2021). <https://doi.org/10.4000/vertigo.28723>
- [9] Bezerra M.A., Lacerda C.F.d., Gomes Filho E., de Abreu C.E. & Prisco J.T., Physiology of cashew plants grown under adverse conditions, Brazilian Journal of Plant Physiology, 19 (4) (2007): 449-461. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400012>
- [10] Akinhanmi T., Atasié V. & Akintokun P., Chemical composition and physicochemical properties of cashew nut (*Anacardium occidentale*) oil and cashew nut shell liquid, Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences, 2 (1) (2008): 1-10. Available online: https://unaab.edu.ng/wp-content/uploads/2010/11/1538_1315.pdf (accessed on: 31/03/2022)
- [11] Hien S., "Aperçu de l'évolution de la production d'anacarde et évolution du marché de noix brutes de cajou dans la sous-région et perspectives pour 2019/2020". In Forum sur la CAjou Sahélien. FOCAS, 2019, 5-7 August, Bamako, Mali, 16p. Available online: https://www.africancashewalliance.com/sites/default/files/2_focas_2019_sansan_nkalo_marche_et_production_fr.pdf (accessed on: 22/05/2022)
- [12] Ndiaye I.S., "Analyse de la performance d'une filière d'exportation et impact dans l'atténuation des effets des changements climatiques : Cas de l'anacarde au Sénégal". In Conference on Climate Change and Food Security in West Africa. 7-18 November, 2018, Dakar, Sénégal, 13p. Available online: <https://research4agrinnovation.org/publication/proceedings-wascal-conference/> (accessed on: 24/05/2022)
- [13] Rosenzweig C., Karoly D., Vicarelli M., Neofotis P., Wu Q., Casassa G., Menzel A., Root T.L., Estrella N. & Seguin B., Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change, Nature, 453 (7193) (2008): 353-357. <https://doi.org/10.1038/nature06937>
- [14] Lefèbvre A., L'anacardier, une richesse de Madagascar, Fruits, 24 (1) (1969): 43-61. Available online: <https://revues.cirad.fr/index.php/fruits/article/view/33606> (accessed on: 11/03/2022)
- [15] Ern H., Die Vegetation Togos, Gliederung, Gefährdung, Erhaltung, Willdenowia, 9 (2) (1979): 295-315. ISSN : 0511-9618. <https://www.jstor.org/stable/3995654>
- [16] Akpagana K. & Bouchet P., Etat actuel des connaissances sur la flore et la végétation du Togo, Acta botanica gallica, 141 (3) (1994): 367-372. <https://doi.org/10.1080/12538078.1994.10515170>

⁶ <https://twas.org>

- [17] Padakale E., Atakpama W., Dourma M., Dimobe K., Wala K. & Akpagana K., Woody species diversity and structure of *Parkia biglobosa* Jacq. Dong parklands in the sudanian zone of Togo (west africa), Annual Review & Research in Biology, 6 (2) (2015): 103-114. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2015/14105>
- [18] Kebenzikato A.B., Wala K., Dourma M., Atakpama W., Dimobe K., Pereki H., Batawila K. & Akpagana K., Distribution et structure des parcs à *Adansonia digitata* L. (baobab) au Togo, Afrique Sci., 10 (2) (2014): 434-449. Available on: <https://www.ajol.info/index.php/afsci/issue/view/11603> (accessed on: 14/03/2022)
- [19] Atakpama W., Atoemne K., Egbelou H., Padakale E., Batawila K. & Akpagana K., Distribution et démographie des parcs à rôniers dans la Région des Savanes du Togo, African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences, 5 (2) (2022): 290-302. Available on: <https://revues.imist.ma/index.php/AJLP-GS/article/view/28341> (accessed on: 29/03/2022)
- [20] Folega F., Atakpama W., Kanda M., Wala K., Batawila K. & Akpagana K., Agroforestry parklands and carbon sequestration in tropical Sudanese region of Togo, Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 7 (4) (2019): 563-570. [version HTML]: https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAVH2/article/view/745 (accessed on: 30/08/2022)
- [21] Diwediga B., Batawila K., Wala K., Hounkpè K., Gbogbo A.K., Akpavi S., Tatoni T. & Akpagana K., Exploitation agricole des berges : une stratégie d'adaptation aux changements climatiques destructrice des forêts galeries dans la plaine de l'Oti, African Socio. Rev., 16 (1) (2012): 77-99. Available on: <https://www.ajol.info/index.php/asr/article/view/87627> (accessed on: 07/05/2022)
- [22] Folega F., Diwediga B., Guuroh R., Wala K. & Akpagana K., Riparian and stream forests carbon sequestration in the context of high anthropogenic disturbance in Togo, Mor. J. Agri. Sci., 1 (2020): 39-49. [HTML version]: <https://www.techagro.org/index.php/MJAS/article/view/820> (accessed on: 29/11/2022)
- [23] Atsri H.K., Abotsi K.E. & Kokou K., Enjeux écologiques de la conservation des mosaïques forêt-savane semi-montagnardes au centre du Togo (Afrique de l'Ouest), Journal of Animal & Plant Sciences, 38 (1) (2018): 6112-6128. Available online: http://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2018/10/6.Atsri_.pdf (accessed on: 11/05/2022)
- [24] Wala K., Sinsin B., Guelly K.A., Kokou K. & Akpagana K., Typologie et structure des parcs agroforestiers dans la préfecture de Doufelgou (Togo), Sécheresse, 16 (3) (2005): 209-216. Available on: <http://www.secheresse.info/spip.php?article7087> (accessed on: 14/03/2022)
- [25] Kokou K., Atato A., Bellefontaine R., Kokuste A.D. & Caballé G., Diversité des forêts denses sèches du Togo (Afrique de l'Ouest), Rev. Ecol. Terre Vie, 61 (2006): 225-246. Available online: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03533267> (accessed on: 16/03/2022)
- [26] Sylvain J.P., Collart J., Aregba A. & Godonou S., 1986. Notice explicative de la carte géologique 1/500.000è du Togo, Mém. n°6, D.G.M.G./B.N.R.M., Lomé – Togo. Direction Generale des Mines de la Géologie et du Bureau National de Recherches Minières [Printed text].
- [27] Akpagana K., "Recherches sur les forêts denses humides du Togo", Univ. Bordeaux III, France, Phd Thesis. (1989), 181 p.
- [28] Kombate B., Dourma M., Folega F., Woegan A.Y. & Akpagana K., Structure et potentiel de séquestration de carbone des formations boisées du Plateau Akposso en zone sub-humide au Togo, Afrique Sci., 15 (2) (2019): 70-79. Available online: <http://www.afriqscience.net/AS/15/7.pdf> (accessed on: 21/03/2022)
- [29] Djiwa O., Pereki H. & Guelly A.K., Typologie of cocoa-based agroforestry systems of the semi-deciduous forest zone in Togo (West Africa), International Journal of Biodiversity and Conservation, 12 (4) (2020): 270-282. <https://doi.org/10.5897/IJBC2020.1426>
- [30] Batawila K., "Recherches sur les formations dégradées et jachères de la plaine côtière du sud Togo". Univ. Lomé, Lomé, Togo, Mém. DEA, (1997), 65 p.
- [31] Kokou K. & Caballé G., Les îlots forestiers de la plaine côtière togolaise, BFT, 263 (1) (2000): 39-51. <https://doi.org/10.19182/bft2000.263.a20059>
- [32] Guelly A.K., Pereki H. & Djiwa O., 2020. "Cartographie des acteurs et des écosystèmes de mangrove du littoral togolais". In. FAO, Lomé, Togo, 43. <https://doi.org/10.4060/ca8640fr>
- [33] Amegnaglo K.B., Dourma M., Akpavi S., Akodewou A., Wala K., Diwediga B., Atakpama W., Agbodan K.M.L., Batawila K. & Akpagana K., Caractérisation des formations végétales pâturées de la zone guinéenne du Togo : typologie, évaluation de la biomasse, diversité, valeur fourragère et régénération, International Journal of Biological and Chemical Sciences, 12 (5) (2018): 2065-2084. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.9>
- [34] Platts P.J., Omeny P. & Marchant R., AFRICLIM: high-resolution climate projections for ecological applications in Africa, African Journal of Ecology, 53 (1) (2015): 103-108. <https://doi.org/10.1111/aje.12180>
- [35] FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2012. *Harmonized World Soil Database (version 1.2)*. Laxenburg, Austria: FAO, Rome, Italy and IIASA, 38 p. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/> (accessed on: 05/03/2022)
- [36] Moukrim S., Lahssini S., Rifai N., Menzou K., Mharzi-Alaoui H., Labbaci A., Rhazi M., Wahby I., El Madihi M. & Rhazi L., Modélisation de la distribution potentielle de *Cedrus atlantica* Manetti au Maroc et impacts du changement climatique, Bois & Forêts des Tropiques, 344 (2020): 3-16. <https://doi.org/10.19182/bft2020.344.a31888>
- [37] Feng X., Park D.S., Liang Y., Pandey R. & Papeş M., Collinearity in ecological niche modeling: Confusions and challenges, Ecology and evolution, 9 (18) (2019): 10365-10376. <https://doi.org/10.1002/ece3.5555>
- [38] Dimobe K., Ouédraogo A., Ouédraogo K., Goetze D., Stein K., Schmidt M., Nacoulma B.M.I., Gnoumou A., Traoré L. & Porembski S., Climate change reduces the distribution area of the shea tree (*Vitellaria paradoxa* CF Gaertn.) in Burkina Faso, Journal of Arid Environments, 181 (2020): 104237. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104237>
- [39] Atakpama W., Wala K., Gouwakinnou G.N., Pereki H., Akodewou A., Batawila K. & Akpagana K., Abundance, distribution pattern and potential suitable habitat of *Sterculia setigera* Del. in Togo (West Africa), International Journal of Innovation and Scientific Research, 26 (1) (2016): 23-38. <http://www.ijisr.issr-journals.org/abstract.php?article=IJISR-16-131-02> (accessed on: 17/04/2022)
- [40] Meinshausen M., Smith S.J., Calvin K., Daniel J.S., Kainuma M.L., Lamarque J.-F., Matsumoto K., Montzka S.A., Raper S.C. & Riahi K., The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300, Climatic change, 109 (1) (2011): 213-241. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>
- [41] Phillips S.J., Anderson R.P. & Schapire R.E., Maximum entropy modeling of species geographic distributions, Ecol. Model., 190 (3-4) (2006): 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- [42] Swets J.A., Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240 (4857) (1988): 1285-1293. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.3287615> (accessed on: 21/04/2022)
- [43] Abdou L., Diouf A., Inoussa M., Mamoudou B., Illiassou S. & Mahamane A., Modeling the geographic distribution of *Prosopis africana* (G. and Perr.) Taub. in Niger., Environment and Natural Resources Research, 6 (2) (2016): 136-144. <https://doi.org/10.5539/enr.v6n2p136>
- [44] Lyam P.T., Adeyemi T.O. & Ogunlunde O.T., Distribution modelling of *Chrysophyllum albidum* G. Don. in South-West

- Nigeria, Journal of Natural & Environmental Sciences, 3 (2) (2012): 7-14. Available on:
https://www.researchgate.net/publication/259569958_Distribution_Modeling_of_Chrysophyllum_albidum_GDon_in_South-West_Nigeria (accessed on: 15/10/2022)
- [45] Lahoz-Monfort J.J., Guillera-Arroita G. & Wintle B.A., Imperfect detection impacts the performance of species distribution models, *Global ecology and biogeography*, 23 (4) (2014): 504-515.
<https://doi.org/10.1111/geb.12138>
- [46] Ricau P., 2013. *Connaître et comprendre le marché international de l'anacarde*. 48 p. Available online:
https://www.inter-reseaux.org/wp-content/uploads/Guide_RONGEAD_Le_Marche_International_de_l_Anacarde_v-light.pdf (accessed on: 11/11/2022)
- [47] Gouwakinnou N.G., Using niche modeling to plan conservation of an indigenous tree species under changing climate: example of *Sclerocarya birrea* in Benin, West Africa, *Res. Dev. sub-Saharan Africa*, 5 (5) (2013): 1-8. Available on:
https://www.researchgate.net/profile/Gerard-Gouwakinnou/publication/281296116_Using_niche_modeling_to_plan_conservation_of_an_indigenous_tree_species_under_changing_climate_example_of_Sclerocarya_birrea_in_Benin_West_Africa/links/55e0cb4b08aeb1a7cc5711e/U (accessed on: 20/12/2022)
- [48] Austin M.P. & Van Niel K.P., Improving species distribution models for climate change studies: variable selection and scale, *Journal of Biogeography* 38(1) (2010), 1-8.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02416.x>
- [49] Mod H.K., Scherrer D., Luoto M. & Guisan A., What we use is not what we know: environmental predictors in plant distribution models, *Journal of Vegetation Science*, 27 (6) (2016): 1308-1322. [HTML version]:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jvs.12444> (accessed on: 19/12/2022)
- [50] Gnahoua G.M. & Louppe D., 2003. Anacardier, HAL-Archives ouvertes. <http://hal.cirad.fr/cirad-00429280> (accessed on: 19/12/2022)
- [51] Chytrý M., Tichý L. & Roleček J., Local and regional patterns of species richness in Central European vegetation types along the pH/calcium gradient, *Folia Geobotanica*, 38 (4) (2003): 429-442.
<https://doi.org/10.1007/BF02803250>
- [52] Hossner L., 2008. Field pH. *Encyclopedia of Soil Science*. 271-272. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3995-9> (accessed on: 07/11/2022)

Soumis le : 24/07/2022

Forme révisée acceptée le : 26/12/2022

Auteur Correspondant : wouyoatakpama@outlook.com



**Revue
Nature et Technologie**

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

ISSN : 1112-9778 – E-ISSN : 2437-0312

Productivité et usage des parcours bovins dans la préfecture de Tchamba au Togo

Kossigan Pascal AMEGANVI^{a,b}, Wouyo ATAKPAMA^{a,*}, Komlan BATAWILA^a, Koffi AKPAGANA^a

^a Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Département botanique, Faculté des sciences, Université de Lomé, 01 BP 16515, Togo.

^b Institut Nationale de Formation Agricole (INFA) de Tové, BP 401 Kpalimé Togo.

Résumé

L'élevage des ruminants dans les pays en développement reste tributaire de la disponibilité des ressources fourragères. L'étude réalisée le long des couloirs de transhumance de la Préfecture de Tchamba au Togo, vise à : (i) évaluer les valeurs d'usage des plantes fourragères, la disponibilité et les pratiques endogènes de gestion des pâturages ; (ii) estimer la productivité et la capacité de charge du pâturage et (iii) apprécier la valeur pastorale des parcours bovins. Elle s'est basée sur l'analyse des données d'inventaires phytosociologiques et écologiques ainsi que des entretiens individuels avec les éleveurs le long des couloirs de transhumance. Les plantes les plus rapportées par les éleveurs ont été : *Andropogon gayanus* Kunth var. *tridentatus* Hack. (100 %), *Panicum maximum* Jacq. (96,55 %), *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalz (79,31 %), *Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv. (79,31 %) et *Adansonia digitata* L. (72,41 %). Une florule de 109 espèces dont 53,33 % d'arbres et arbustes ont été recensés. Cette florule est dominée par les microphanérophytes (31,84 %) et les nanophanérophites (29,78 %). La productivité moyenne est de 2227 kg MS/ha donnant une capacité de charge de 0,33 UBT/ha/an. La flore fourragère est dominée par les espèces de faible valeur pastorale (55 %). Un enrichissement des pâturages en plantes fourragères ligneuses et herbacées garantirait une meilleure alimentation des animaux et limiterait la divagation de ces derniers dans les espaces agraires riverains, sources de conflits agriculteurs-éleveurs. Par ailleurs un aménagement des aires d'abreuvement pour les animaux s'avère nécessaire.

Mots clés : Diversité ; Valeur d'usage ; Valeur pastorale ; Capacité de charge ; Productivité.

Productivity and use of cattle rangelands in the prefecture of Tchamba in Togo

Abstract

The breeding of ruminants in developing countries remains dependent on the availability fodder resources. The study carried out along the transhumance corridors of the Tchamba Prefecture in Togo, aims at: (i) assessing the use value, the availability, and pasture management practices; (ii) estimating the productivity and carrying capacity of pasture, and (iii) measuring the pastoral value of rangelands. It was based on the analysis of phytosociological and ecological inventories as well as individual interviews of breeders along the transhumance corridors. The most reported plants by breeders were: *Andropogon gayanus* Kunth var. *tridentatus* Hack. (100 %), *Panicum maximum* Jacq. (96.55%), *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalz (79.31%), *Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv. (79.31%), and *Adansonia digitata* L. (72.41%). A total of 109 plant species including 53.33% trees and shrubs were identified. This flora is dominated by microphanerophytes (31.84%), and nanophanerophytes (29.78%). The mean productivity of the pasture is 2227 kg DM/ha allowing a carrying capacity of 0.33 TLU/ha/year. The fodder flora is dominated by species of average pastoral value (55%). The target pastures must be enriched with ligneous and herbaceous fodder plants in order to guarantee better animal feed and limit animals' wandering in the riparian agrarian areas, sources of farmer-herder conflicts. It is also necessary to develop watering areas for the animals.

Keywords: Diversity; Use value; Pastoral value; Charge capacity; Productivity.

1. Introduction

Dans les pays en voie de développement, l'élevage des ruminants est essentiellement de type traditionnel

caractérisé par la divagation ou le gardiennage et le logement des petits ruminants dans des vestibules. L'alimentation des ruminants en élevage extensif repose sur l'exploitation des parcours naturels qui constitue la



Ce document est en accès libre selon les termes de la [Creative Commons Attribution License CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), qui permet de le partager, copier, reproduire, distribuer, communiquer, réutiliser ou adapter avec l'obligation de créditer son auteur.

base, et le plus souvent, la totalité des ressources alimentaires [1]. Ce genre d'élevage est source de conflits éleveurs-transhumants souvent responsables de perte de vie humaine [2].

Au cours de ces dernières années, l'élevage au Togo a été marqué par un accroissement des effectifs du cheptel (bovins, ovins, caprins) [3]. Cet accroissement a naturellement entraîné une augmentation des besoins en fourrage et en zones de pâture [4]. Malheureusement, la plupart des pâturages naturels sont fragiles et vulnérables. Ils sont menacés par les aléas climatiques (sécheresse, inondation, désertification) et la pression anthropique. Ces pressions réduisent la capacité de production et de régénération des écosystèmes ainsi qu'une invasion des pâturages par des espèces non ou peu appréciées par le bétail [5-7].

La préfecture de Tchamba tout comme le reste du territoire togolais connaissent chaque année un afflux massif de cheptels étrangers. Ce phénomène migratoire communément appelé transhumance est devenu habituel. Par conséquent, des trajets appelés couloirs de transhumance ont été récemment mis en place. Malheureusement, les transhumants ne respectent pas les portes d'entrée, les couloirs et les zones d'accueil. Au-delà de la dégradation des écosystèmes, la destruction des cultures et des produits de récoltes est source de conflits éleveurs-agriculteurs [8] de plus en plus récurrents.

Face à ces problèmes, plusieurs questions se posent. Quelle est la disponibilité des plantes fourragères au cours de l'année ? Existe-t-il des pratiques de gestion endogènes des fourrages pouvant permettre une alimentation efficiente du bétail au cours de l'année ? Quelle est la productivité, la capacité de charge et la qualité fourragère des parcours bovins de la préfecture de Tchamba ?

La présente étude vise à contribuer à la connaissance et à la gestion durable des pâturages au Togo. Il s'agit en particulier de : (i) évaluer les valeurs d'usage des plantes

fourragères, la disponibilité et les pratiques endogènes de gestion des pâturages, (ii) estimer la productivité et la capacité de charge du pâturage et (iii) apprécier la valeur pastorale des parcours bovins de la Préfecture de Tchamba.

2. Méthodologie

2.1 Description de la préfecture de Tchamba

D'une superficie de 3 166 km², la préfecture de Tchamba fait partie de la région Centrale du Togo (Figure 1). Elle compte 10 cantons et se trouve dans la zone écologique III ou zone des plaines du centre du Togo [9].

Le climat est de type tropical semi-humide et unimodal. C'est la préfecture la plus pourvue en forêts communautaires au Togo ; chaque canton en dispose [10]. L'abondance des cours d'eau et l'humidité relative favorisent le développement d'une variété de formations végétales et une diversité des espèces fourragères [11, 12].

L'agriculture est la principale activité économique. Les principales cultures sont : le maïs, le sorgho, l'igname, l'arachide, le riz, le niébé, le manioc, le soja et les courges. On note aussi de vastes plantations d'anacardier source de revenus non négligeable pour la population locale [13]. L'élevage est encore traditionnel et constitue le deuxième volet le plus important des activités agricoles. Le cheptel est constitué de volailles, de petits ruminants, de porcins et de gros bétails [14].

L'importance de l'élevage bovin et de la transhumance dans la préfecture de Tchamba justifie la mise en place des couloirs de transhumance. Il existe officiellement quatre (4) couloirs de transhumance (Figure 1) : (1) Affem-Boussou – Kri-kri – Kparatao, (2) Tchamba – Alibi I – Kparatao, (iii) Balanka – Koussountou – Kitangoli/Assoula – Elavagnon – Bago.

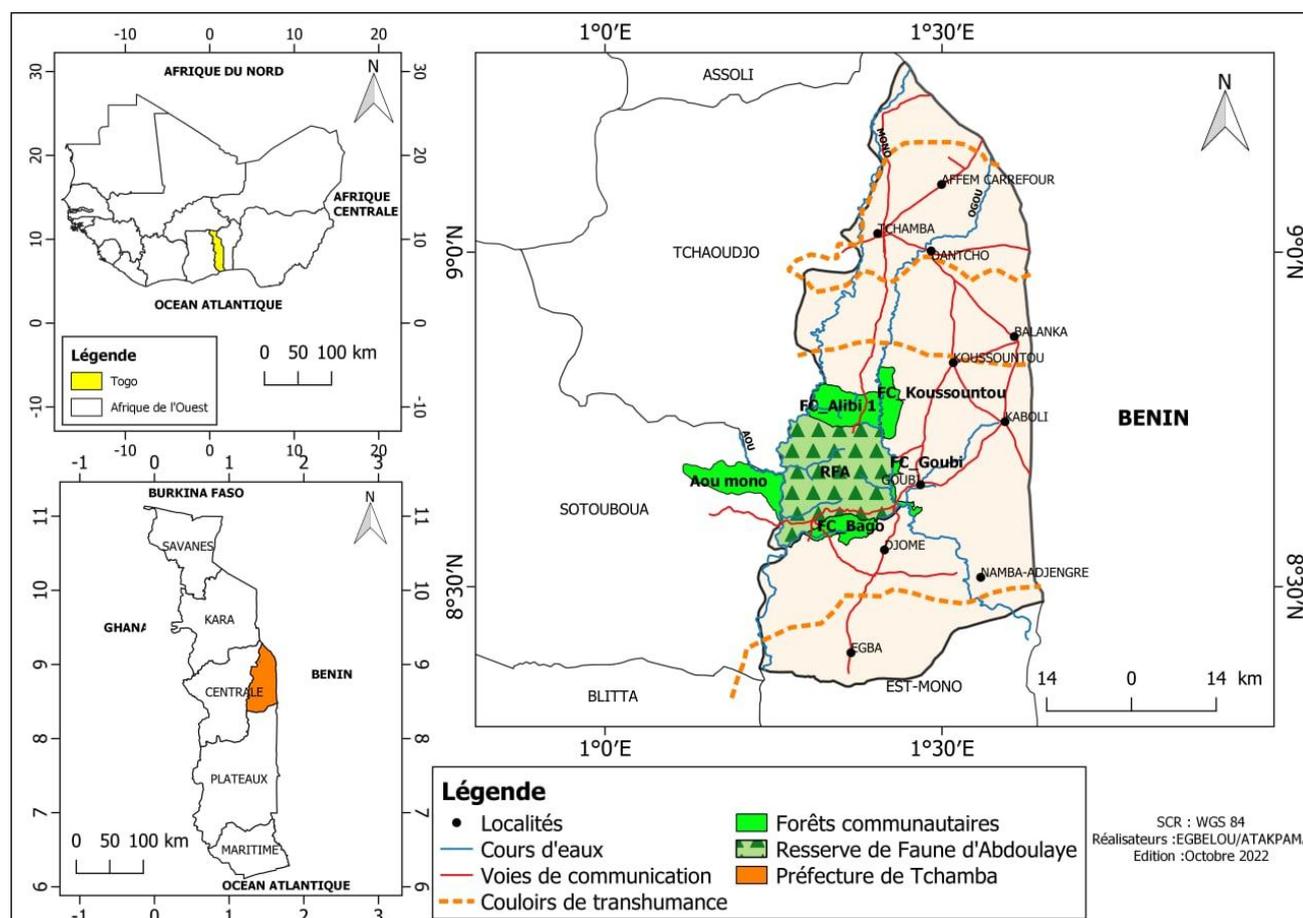


Figure 1 : Localisation de la Préfecture Tchamba au Togo.

2.2. Collecte des données

❖ Enquêtes ethnobotaniques

Il s'agit d'enquêtes ethnobotaniques semi-structurées par entretiens individuels [12, 15] menés auprès de 29 éleveurs Peuhls transhumants et sédentaires. Les éleveurs transhumants se déplacent de façon permanente à la recherche de pâturage pour leurs animaux et établissent des campements provisoires dans les zones de transit. Par contre les éleveurs sédentaires sont ceux ayant des résidences permanentes dans une localité et font paître leurs bétails directement dans le voisinage immédiat de leurs concessions. La majorité (77 %) a un âge compris entre de 40 à 50 ans contre 23 % d'âge de 50 ans révolu. Il s'agit notamment de bouviers (45 %), des agro-éleveurs (29 %) et des éleveurs (26 %). La majorité est non scolarisée (74 %). Les informations recherchées étaient relatives aux

espèces appréciées et utilisées dans les soins de santé bovine, la disponibilité des plantes fourragères au cours de l'année, les causes de dégradation et les pratiques de gestion des pâturages. Les enquêtes ont été complétées par des observations de terrain qui ont consisté à la détermination des espèces rapportées. Les constatations de la consommation effective des espèces par les animaux au pâturage [15] ont permis également de confirmer la valeur fourragère de ces dernières.

❖ Inventaires phytosociologiques et écologiques

Les inventaires phytosociologiques des plantes ligneuses ont été effectués au sein de 30 placettes de 50 m × 20 m. Au sein chaque placette, une sous-placette de 10 m × 10 m a été installée pour l'inventaire des plantes herbacées. Les tailles des placettes ont été choisies en référence aux études antérieures [15, 16]. Les placettes ont été installées aléatoirement sans tenir

compte du type de végétation avec une équidistance minimale de 500 m. À l'intérieur de chaque placette/sous-placettes, chaque espèce recensée est affectée d'un coefficient d'abondance-dominance suivant l'échelle de Braun-Blanquet¹ [17].

Les inventaires phytosociologiques ont été couplés aux inventaires écologiques. L'aire minimale considérée est celle des inventaires phytosociologiques des ligneux [16]. Les paramètres pris en compte sont : le type de formation végétale, la situation topographique, le type de sol, le degré de fermeture et l'hydromorphie. Les différentes traces d'activités anthropiques comme : le passage de feux de végétation, la coupe de bois, le pâturage, la pratique de la chasse ont été notés.

❖ Étude de la productivité du pâturage

La phytomasse a été collectée par la technique de récolte intégrale [18, 19] à l'intérieur de 5 placettes de 1 m² disposées dans les 4 angles et au centre de chaque placette d'inventaire phytosociologique de 50 m × 20 m. Le mélange composite des 5 échantillons a été directement pesé sur le terrain, puis ensaché. Après dessiccation au laboratoire, chaque échantillon a été pesé de nouveau [15].

❖ Étude de la qualité du pâturage

L'étude de la qualité du pâturage s'est effectuée à partir des relevés linéaires selon la méthode des points quadrats alignés [20]. À intervalle régulier de 10 cm le long d'un ruban de 10 m tendu au-dessus du tapis herbacé, toutes les plantes (feuilles, tiges ou inflorescences) qui entrent en contact avec la tige sans diamètre posé verticalement ont été notées.

2.3. Traitement des données

❖ Évaluation de la valeur d'usage des plantes fourragères

Cette évaluation s'est faite en se basant sur six (6) paramètres d'usage des plantes. Il s'agit de : la fréquence de citation (FC), le nombre d'usages de

l'espèce (NU_{sp}), la valeur d'usage de l'organe (VU_{organe}), l'indice de diversité d'usage de l'espèce (IDU_{sp}), la valeur d'usage des plantes fourragères (VU_{sp}) et l'indice de valeur d'importance d'usage de l'espèce ($IVIU_{sp}$) [21, 22].

La fréquence de citation est le rapport du nombre de personnes ayant rapportées l'espèce (n_i) par le nombre total des répondants ($N = 29$) : $FC = (n_i/N) \times 100$. L'espèce ayant la FC le plus élevé est l'espèce fourragère communément usitée par les éleveurs.

Le nombre d'usages de l'espèce (NU_{sp}) correspond au nombre de citations de l'espèce. Elle se calcule en faisant la somme de citations des différentes parties d'organes de l'espèce : $NU_{sp} = \sum Nu_{organes}$.

La valeur d'usage de l'espèce (VU_{sp}) est le rapport entre le nombre d'usages de l'espèce et la somme totale des nombres d'usages de toutes les espèces :

$$VU_{sp} = NU_{spi} \times 100 / \sum NU_{sp}$$

L'indice de diversité d'usages de l'espèce (IDU_{sp}) est le rapport entre le nombre d'usages spécifique de l'espèce « i » et le nombre d'usage spécifique de l'espèce la plus diversement utilisée :

$$IDU_{sp} = US_{spi} \times 100 / \sum US_{spmax}$$

La somme de la fréquence spécifique, de l'indice de diversité d'usage et la valeur d'usage de l'espèce correspond à l'indice de valeur d'importance d'usage de l'espèce [21] : $IVIU_{sp} = FC + VU_{sp} + IDU_{sp}$. L'espèce ayant l'indice le plus élevé est la plus importante dans l'élevage bovin.

❖ Évaluation de la diversité floristique des pâturages :

Les données collectées ont été saisies et codifiées dans un tableur Microsoft Excel. La classification en famille et en genre a été réalisée en référence à la flore analytique du Bénin [23]. Les types biologiques et les types phytogéographiques sont établis suivant les documents de références [24-26]. Une matrice « Relevé × Espèces » a été conçue puis soumise à une classification ascendante hiérarchique (CAH) selon la méthode de Ward à l'aide du logiciel « Community Analysis Package ©² (CAP 2.15). Cette analyse a permis de discriminer les groupements de pâturage sur

¹ Voir description de la méthode sur le lien :

<https://biologievegetale.be/ecologie-vegetale/ecosystemes/phytosociologie/relevés-de-vegetation/>

² <http://www.pisces-conservation.com/softcap.html>

la base de la diversité floristique. Chaque groupement discriminé a été caractérisé par l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et par l'indice de l'équitabilité de Pielou (E) définis par :

$$H' = - \sum (n_i/N) \times \log_2(n_i/N). \quad (1)$$

$$E = H' / \log_2 S \text{ avec } S, \text{ la richesse spécifique.} \quad (2)$$

où n_i représente le recouvrement moyen de l'espèce i , N le recouvrement moyen total de toutes les espèces et S la richesse spécifique³.

E varie entre 0 et 1. Elle tend vers 0 quand la quasi totalité des effectifs est concentrée sur une espèce ; elle est de 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance. Ces deux indices permettent notamment de suivre les changements temporels d'un peuplement

- ❖ Évaluation de la productivité de la phytomasse herbacée et de la capacité de charge

La capacité de charge (CC) a été calculée sur la base de la phytomasse consommable au cours de l'année (P). La formule est la suivante :

$$CC = k_i \times P / (6,25 \times 365). \quad (3)$$

$k_i = 1/3$ est la fraction consommable du fourrage disponible. P est la productivité des plantes fourragères en kg MS/ha. La Ration de l'Unité de Bétail Tropical (UBT) en kg MS/ha est de 6,25. Le nombre de jours de pâturage annuel considéré est de 365.

- ❖ Évaluation de la qualité et de la valeur pastorale

L'indice spécifique de la qualité pastorale d'une espèce traduit l'intérêt zooteknique et la valeur bromatologique de la plante. Sa détermination repose sur l'appétibilité, la productivité (kg MS/ha) et la valeur nutritive des espèces à partir de la composition chimique [27]. Ce critère de qualité pour les espèces herbacées est établi sur une échelle de cotation de 0 à 3 de la manière suivante : bonne valeur pastorale (BVP, $Isi = 3$), moyenne valeur pastorale (MVP, $Isi = 2$), faible valeur pastorale (FVP, $Isi = 1$) et sans valeur pastorale (SVP, $Isi = 0$). La valeur pastorale est aussi un indice

synthétique qui prend en compte la contribution spécifique (Csi) du tapis herbacé. La contribution spécifique est le rapport de la fréquence spécifique de l'espèce (Fsi) et la somme des fréquences spécifiques de toutes les espèces recensées ($\sum Fsi$) [28].

$$Csi = Fsi / \sum Fsi. \quad (5)$$

La fréquence spécifique (Fs) est le nombre de fois où une espèce considérée apparaît dans une série d'unités d'échantillonnage. Ceci correspond en particulier au nombre de contacts des organes aériens d'une espèce avec la tige sans diamètre le long du ruban de 10 m. Par conséquent, il s'agit d'une fréquence absolue [28].

La valeur pastorale brute (Vpb) est calculée en multipliant les contributions spécifiques (Csi) des espèces par les indices de qualité (Isi). Pour éviter la surestimation de la valeur, la valeur pastorale brute est pondérée avec le recouvrement de la végétation (RGV) pour obtenir la valeur pastorale nette (Vpn) [29].

$$Vpb = 1/3 \sum (Csi \times Isi) \quad (6)$$

$$Vpn = RGV \times 1/3 \sum (Csi \times Isi) \quad (7)$$

3. Résultats

3.1. Connaissances endogènes d'usage et de gestion des plantes fourragères

Une diversité de 28 plantes fourragères a été rapportée. Les espèces les plus rapportées ont été : *Andropogon gayanus* kunth var. *tridentatus* Hack. (100 %), *Panicum maximum* Jacq. (96,55 %), *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalz (79,31 %), *Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv. (79,31 %) et *Adansonia digitata* L. (72,41 %). Suivant l'indice de valeur d'importance d'usage, l'espèce fourragère la plus importante est *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalz ($IVI_{Usp} = 184,93$ %). Elle est secondée par : *Andropogon gayanus*, *Aristida kerstingii* Pilger, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss, *Pterocarpus erinaceus* Poir. et *Chamaecrista absus* (Desr.) A. Juss (Figure 2). Les feuilles constituent la partie de plantes la plus sollicitée (64 %) suivie des racines (19 %) et des écorces de tiges (17 %).

³ Mesure de la biodiversité de tout ou une partie d'un écosystème

Les espèces rapportées sont subdivisées en 16 familles. Les Poaceae sont les plus représentées (8 espèces), suivies des Leguminosae-Caesalpinioideae (3 espèces), des Leguminosae-Papilionoideae, des Meliaceae et des Combretaceae (2 espèces chacune). Les autres familles sont représentées chacune par une espèce.

Parmi la florule de plantes fourragères rapportées, 17 sont utilisées en ethnomédecine vétérinaire. Les trois (3) plantes les plus importantes sont : *Chamaecrista absus*, *Cussonia kirkii* Seeman var. *kirkii* et *Adansonia digitata*. Les valeurs d'usage des espèces fourragères en ethnomédecine vétérinaire sont présentées sur la figure 3

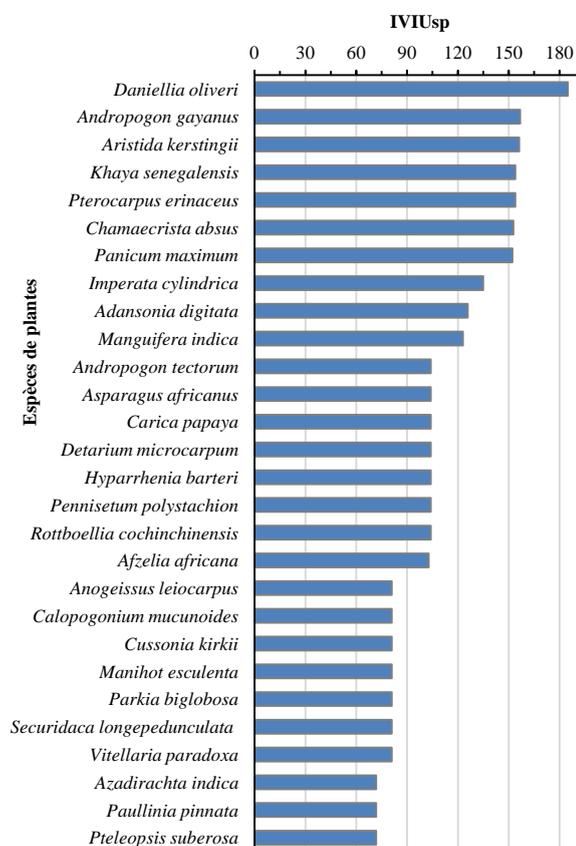


Figure 2 : Valeurs d'importance d'usage des espèces fourragères.

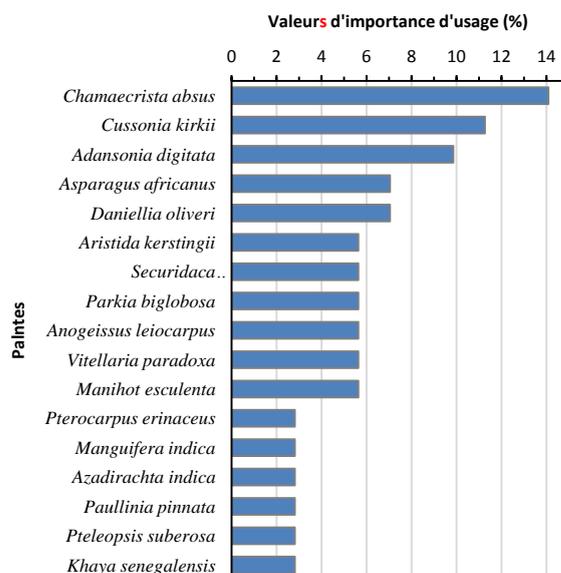


Figure 3: Valeurs d'usage des plantes fourragères à usages ethnovétérinaires.

3.2 Diversité floristique des pâturages

Une florule de 109 espèces réparties en 87 genres et 35 familles a été recensée le long du couloir de transhumance de la Préfecture de Tchamba. Un peu plus de la moitié des espèces (53,33 %) sont des plantes ligneuses (arbres et arbustes). Sur les 109 espèces végétales identifiées, la majorité est reconnue pour leur valeur fourragère (78 espèces, 73,33 %). Les espèces les plus fréquentes sont *Tridax procumbens* L. (56,67 %), *Andropogon gayanus* kunth var. *tridentatus* Hack. (50,00 %), *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. ssp. *paradoxa* et *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr. (43,33 %), *Pennisetum purpureum* Schumach. (40,00 %) et *Chromolaena odorata* (L.) R.M. King (36,67 %). Les genres d'espèces les plus représentés sont : *Combretum*, *Desmodium*, *Panicum*, *Senna*, *Tephrosia*, *Andropogon* et *Terminalia*. Les familles les plus importantes en nombre d'espèces sont : les Leguminosae-Papilionoideae (16 espèces), Poaceae (14 espèces), les Combretaceae (10 espèces), Leguminosae-Caesalpinioideae (9 espèces), les Asteraceae (6 espèces), et les Rubiaceae (5 espèces). En considérant le spectre pondéré, les Leguminosae-Papilionoideae et les Rubiaceae sont reléguées respectivement en quatrième et huitième position (Figure 4).

On note une forte représentativité des nanophanérophyles (30,56 %), suivie des

mésophanérophytes (22,22 %) et microphanérophytes (19,44 %). Le spectre pondéré montre une codominance des nanophanérophytes et des macrophanérophytes. Ces deux (2) types biologiques couvrent à eux seuls 60,62 % de l'espace pâturable. Les hémicryptophytes, les thérophytes, les lianes mésophanérophytes, les chaméphytes et les géophytes sont moins représentées (Figure 5).

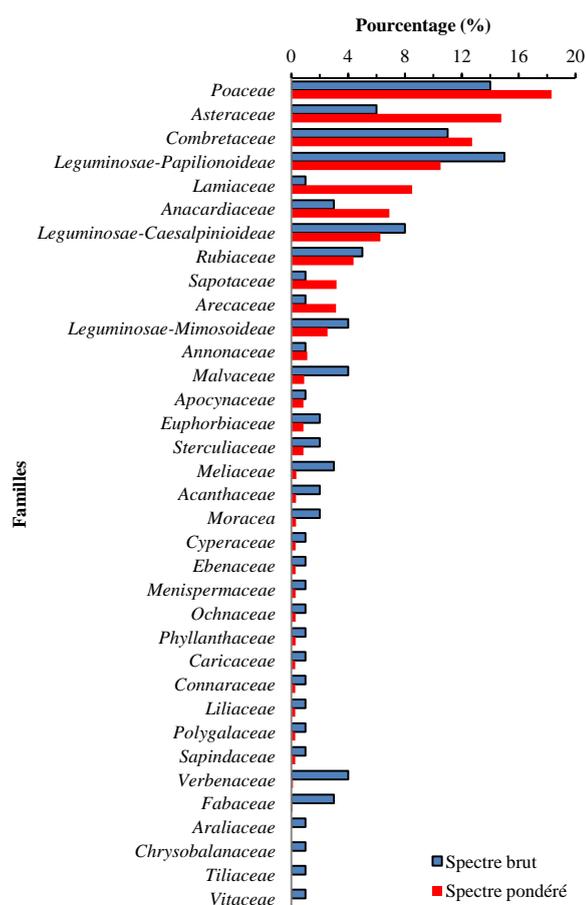


Figure 4: Spectre des familles

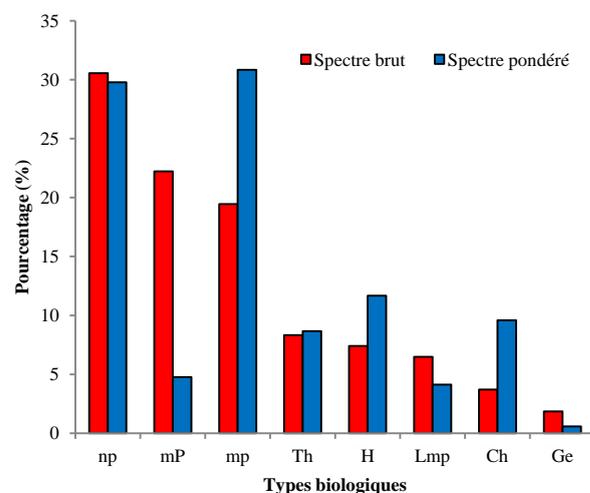


Figure 5 : Types biologiques des espèces recensées
 mp = microphanérophytes ; mP = mésophanérophytes ;
 np = nanophanérophytes ; Th = Thérophytes ; H = hémicryptophytes ;
 Ch = chaméphytes ; Ge = géophytes ; Lmp = Lianes
 microphanérophytes.

Les espèces de transition guinéo-congolaises/soudano-zambéziennes sont les plus dominantes (48,39 %). Elles sont secondées par les espèces soudano-zambéziennes (28,13 %) et les espèces guinéo-congolaises (17,72 %). En termes de nombre d'espèces, l'ordre d'importance reste identique. Les espèces de la transition guinéo-congolaises/soudano-zambéziennes représentent un peu plus de la moitié de la florule (55,05 %). Elles sont suivies respectivement par les espèces soudano-zambéziennes (23,85 %), les espèces Guinéo-congolaises (13,76 %) et les espèces introduites (7,34 %).

3.4. Typologie des pâturages

Trois (3) principaux groupements de pâturages ont été discriminés (Figure 6). Il s'agit des parcs agroforestiers à *V. paradoxa* et *A. leiocarpus* (G1), des savanes à *A. leiocarpus* et *P. purpureum* (G2) et des agrosystèmes et plantations à *T. procumbens* et *A. gayanus* (G3).

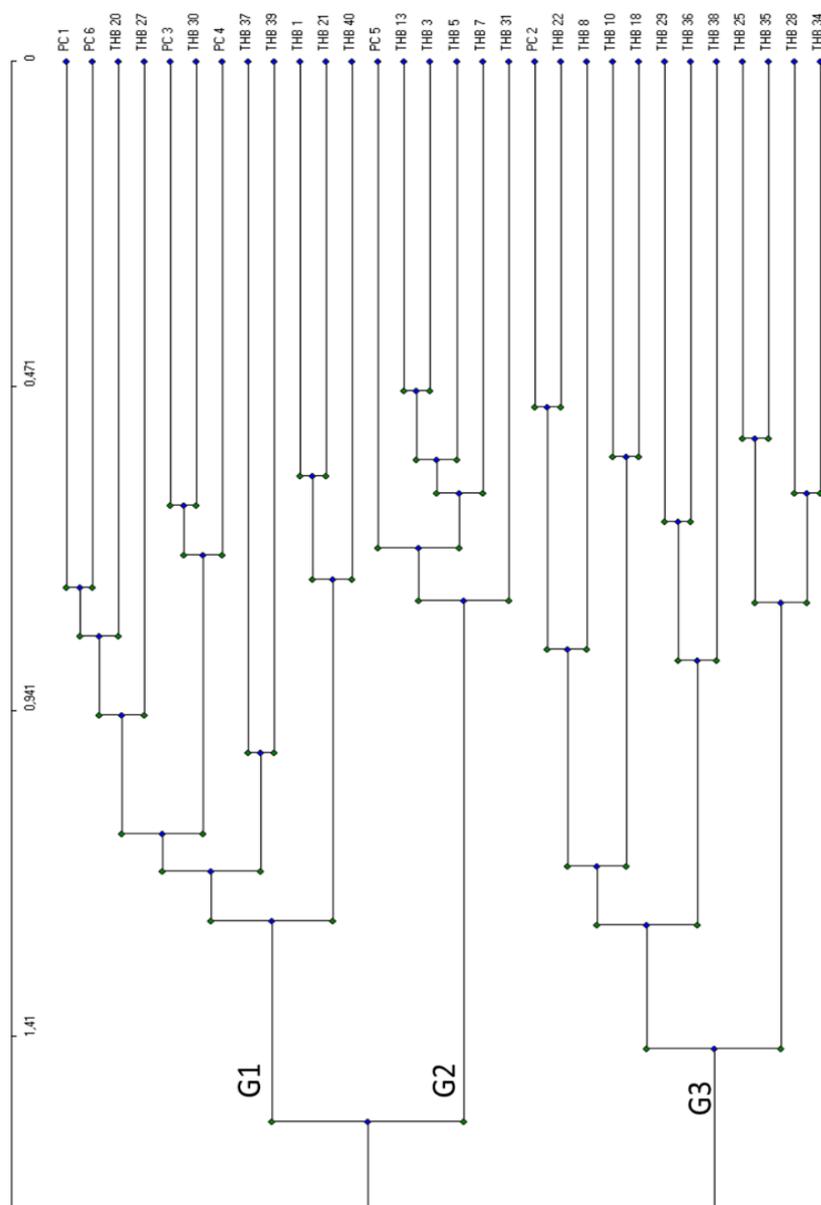


Figure 6: Classification ascendante hiérarchique des relevés sur la base des indices de Sorensen

- Parcs agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* et *Anogeissus leiocarpus* (G1).

Les pâturages du groupement G1 composés de 12 relevés présentent une diversité de 56 espèces regroupées en 49 genres et en 22 familles (64 % d'arbres et 36 % d'herbacées). Les espèces les plus fréquentes sont : *Vitellaria paradoxa* (6 %), *Anogeissus leiocarpus* (4 %), *Andropogon tectorum*, *Nelsonia canescens* (Lam.) Spreng., *Pennisetum purpureum* et *Piliostigma thonningii* (Schum.) Milne-Redhead (3 %

chacune). Les familles les plus dominantes sont les Poaceae (10 espèces), les Leguminosae-Papilionoideae (6 espèces), les Leguminosae-Caesalpinioideae (6 espèces) et les Combretaceae (5 espèces). Les autres familles sont peu représentées avec un nombre d'espèces inférieur à 5. Ce groupe est dominé par les nanophanérophytes, les mésophanérophytes et les microphanérophytes respectivement 30 %, 21 % et 20 %. Les autres types biologiques sont peu représentés avec une proportion inférieure à 14 %. L'indice de

diversité de Shannon est de 4,87 bits et l'équitabilité de Piérou est de 0,84.

- Savanes à *A. leiocarpus* et *P. purpureum* (G2).

G2 comprend six (6) relevés d'une florule de 61 espèces réparties en 58 genres et 28 familles dont 65 % d'arbres et 35 % d'herbacées. Les espèces les plus fréquentes sont *Anogeissus leiocarpus* (5 %), *Pennisetum purpureum* (4 %), *Andropogon gayanus* (4 %) et *Chromolaena odorata* (4 %). Les familles les plus représentées sont : les Asteraceae (6 espèces), les Poaceae (6 espèces), les Leguminosae-Caesalpinioideae (6 espèces) et les Combretaceae (5 espèces). Ce groupement est dominé par 28 % de mésophanérophyles suivis de 25 % de microphanérophytes et de 23 % de nanophanérophyles. Les autres types biologiques sont présents à des proportions inférieures à 12 %. Les chaméphytes et les géophytes représentent moins de 10 % chacun. L'indice de diversité de Shannon est de 4,5 bits et l'équitabilité est de 0,80.

- Agrosystèmes et plantations à *Tridax procumbens* et *Andropogon gayanus* (G3)

G3 est constitué de 12 relevés situés souvent le long des cours d'eau. La florule est de 52 espèces regroupées en 43 genres et 18 familles. Les espèces les plus fréquentes sont : *Tridax procumbens* L. (9 %), *Andropogon gayanus* (6 %), *Spilanthes fusca* L. (6 %), *Chromolaena odorata* (4 %), *Pennisetum polystachion* (4 %), *Sida acuta* Burm. ssp *carpinifolia* (4 %). Les familles les plus représentées sont les Poaceae (11 espèces), les Léguminosae-Papilionoideae (10 espèces) et les Combretaceae (7 espèces). Les autres familles sont peu représentées avec un nombre d'espèces inférieures à 5. Les types biologiques dominants sont les nanophanérophyles (31 %), les microphanérophytes (21 %) et les thérophytes (17 %). Les microphanérophytes, les hémicryptophytes, les chaméphytes et les mésophanérophyles sont peu représentés avec une proportion inférieure à 15 %. L'indice de diversité de Shannon est de 4,43 bits et l'équitabilité de Piérou est de 0,78.

3.3 Productivité et capacité de charge des pâturages

Au sein des couloirs de pâturage, la production du fourrage herbacé est variable. La production moyenne est estimée à 2227 kg MS/ha soit 2,227 t MS/ha donnant une capacité de charge de 0,33 UBT/ha/an. La production dans le groupement de pâturage G1 est de 2208 kg MS/ha (2,21 t MS/ha). Ce qui donne une capacité de charge de 0,32 UBT/ha/an. Celle du groupement de pâturage G2 est de 1800 kg MS/ha (1,8 t/ha) donnant une capacité de charge de 0,26 UBT/ha/an. Le groupement de pâturage G3 est 2167 kg MS/ha (2,167 t MS/ha) équivalent à une capacité de charge de 0,32 UBT/ha/an.

3.4 Valeur pastorale du pâturage

La valeur pastorale brute des couloirs de pâturage dans la préfecture de Tchamba est de 45,31%. Les espèces de bonne valeur pastorale présentent une proportion faible (6 %) par rapport aux espèces de faible valeur pastorale qui sont plus abondantes (55 %), des espèces sans valeur pastorale (27 %) et des espèces de moyenne valeur pastorale (12 %).

La valeur pastorale nette ou l'indice global de qualité du pâturage du couloir de transhumance de la préfecture de Tchamba est de 34,44 %. Le groupement G1 à la valeur pastorale nette la plus élevée suivi du G2 et du G3 (Tableau 1).

Tableau 1
Récapitulatif des résultats de la valeur pastorale

Groupements		G1	G2	G3
Isi	BVP	05%	03%	10%
	MVP	13%	10%	19%
	FVP	63%	54%	44%
	SVP	20%	33%	27%
Valeur pastorale	VPb	51,46	53,70	47,06
	VPn	36,46	33,00	27,00
Qualification		Faible	Faible	Faible

BVP = Bonne Valeur Pastorale, MVP = Moyenne Valeur Pastorale, FVP = Faible Valeur Pastorale, SVP = Sans Valeur Pastorale, VPb = Valeur Pastorale brute, VPn = Valeur Pastorale nette.

4. Discussion

L'étude a montré que *Cussonia kirkii*, *Daniellia oliveri*, *Khaya senegalensis* et *Manguijera indica* sont des espèces ayant les valeurs d'importance d'usage ethnobotanique les plus élevées. Les observations faites sur le terrain montrent que ces espèces sont peu présentes sauf *Daniellia oliveri*. L'importance accordée

à cette espèce ne dépend pas de sa disponibilité, mais de sa capacité à satisfaire les besoins des animaux. Ce constat est identique à celui de Dossou *et al.* [30] lors de leur étude sur les connaissances d'usage des ressources forestières de la forêt marécageuse d'Agonvè et les terroirs connexes au Bénin.

Dans la préfecture de Tchamba, six (6) usages médicinaux des plantes ont été recensés. Les organes des plantes qui sont plus utilisés sont les feuilles, les racines et les écorces. Ce résultat diffère des autres études réalisées sur l'ethnomédecine vétérinaire au Togo [12, 22] qui rapportent une prédominance de l'usage des écorces. Cette différence est liée à la spécificité de la présente étude qui s'est focalisée sur l'importance médicinale des espèces fourragères au lieu de l'usage général des plantes en ethnomédecine vétérinaire. Ceci justifie aussi le faible nombre d'usages spécifiques par comparaison aux autres études.

La florule recensée le long des parcours bovins de la préfecture de Tchamba est de 109 espèces réparties en 87 genres et en 35 familles. En termes de nombre d'espèces, les couloirs de transhumance de la Préfecture de Tchamba sont relativement plus diversifiés que celles du paysage du socle éburnéen situé dans l'extrême nord du Togo, 80 espèces réparties en 71 genres [15]. Par contre, cette florule est moins diversifiée que celle de la plaine du Mono au Togo [11], 497 espèces réparties en 284 genres. Ces variations s'expliquent par les conditions climatiques stationnelles des différentes zones d'études et la taille de l'échantillonnage. Le socle éburnéen est moins arrosé que la région Centrale où la présente étude s'est réalisée. Par ailleurs, la zone d'étude et la taille d'échantillonnage des pâturages de la plaine du Mono sont assez importantes. On note aussi dans l'étude du pâturage de la plaine du Mono une variabilité climatique plus importante entraînant par conséquent une diversification de la florule.

La flore inventoriée fait ressortir une dominance des Poaceae et des Leguminosae. Ce résultat est comparable à ceux des études antérieures des pâturages au Togo et dans la sous-région [11, 15, 31-33]. La prédominance des Poaceae, une des familles de plantes fourragères à grande capacité de multiplication par tallage et de repousse après passages de feu de végétation montre que ces couloirs sont propices pour le pastoralisme [34, 35]. Cette capacité de tallage justifie la forte

représentativité des Poaceae par comparaison au Leguminosae-Papilionioideae dont la diversité spécifique est plus importante. L'occupation spatiale des Asteraceae contrairement à leur diversité spécifique observée dans les couloirs de transhumance de la Préfecture de Tchamba est due à leurs fortes capacités de colonisation de l'espace grâce à la grande productivité en graines anémochores. Cependant, les Asteraceae sont moins apétales que les Poaceae et les Légumineux [35-37].

Les Poaceae annuelles et pérennes les plus dominantes dans la zone d'étude sont : *Andropogon gayanus* et *Pennisetum purpureum*. Selon Achard & Banoïn [38], *Andropogon gayanus* est l'une des meilleures herbacées fourragères parmi les graminées vivaces spontanées en raison de sa haute productivité, de son excellente adaptation à la longue saison sèche et de la valeur nutritive de ses repousses. Sa dominance dans le pâturage de la zone d'étude est par conséquent un atout pour l'alimentation et les besoins d'aménagement futur de ces couloirs. L'importance d'*Andropogon gayanus* est aussi reconnue par les éleveurs dans la zone d'étude qui le classe au même titre qu'*Aristida kerstingii*.

Au sein des pâturages étudiés, on note la présence des espèces envahissantes sans valeurs fourragères comme *Hyptis suaveolens* et *Chromolaena odorata*, témoins de la dégradation des ces pâturages. Ces derniers diminuent la productivité et la valeur fourragère des pâturages. Les espèces dont les indices sont nuls ne signifient pas pourtant que l'animal n'ingère pas le fourrage de ces espèces, mais plutôt que ceux-ci lui sont très peu profitables [39]. L'invasion des pâturages par ces espèces de faibles valeurs fourragères a été relevée par des études antérieures [15, 33]. Le développement de ses espèces serait favorisé par leur forte capacité de dissémination par les vents au sein des espèces ouvertes, fortement pâturées ou brûlées.

La prédominance des microphanérophytes et des nanophanérophytes dans les couloirs de transhumance étudiées montre que ces pâturages sont en pleine dégradation suite à la surcharge pastorale [40]. Ce résultat est comparable à celui de Dourma *et al.* [41] lors de l'étude des pâturages naturels de la périphérie de Lomé au Togo. Par contre l'étude sur les pâturages du socle éburnéen et de la plaine du Mono au Togo montrent une prédominance des hémicryptophytes et

des mésophanérophyles, signe de la stabilité de ces écosystèmes fourragers [11, 15]. La stabilité des écosystèmes de la plaine du Mono, notamment la disponibilité du fourrage et de l'eau justifient l'attrait récent de ces zones pour le pâturage bovin [12]. Dans le cadre d'une meilleure gestion des couloirs de transhumance de la Préfecture de Tchamba, une mise en cultures des herbacées et des ligneux fourragers serait raisonnable. En particulier l'apport des ligneux est important en vue de pallier en particulier à la biomasse herbacée en saison sèche [15]. L'impact du surpâturage ressort dans l'évaluation de la biomasse de ces zones. La faible productivité et la dégradation des pâturages pourraient justifier l'incursion des animaux hors des couloirs de transhumance.

La flore des couloirs de transhumance de la préfecture de Tchamba est dominée par les espèces de transition guinéo-congolais/soudano-zambéziennes, suivies des espèces soudanienne-zambézienne. Cette caractéristique transitionnelle de la végétation de la zone d'étude est rapportée par des études antérieures réalisées dans la zone [16]. Ces résultats sont aussi similaires à ceux obtenus précédemment par Folega *et al.* [42] sur les formations boisées du domaine Soudano-Guinéen au Centre du Togo.

La productivité de la phytomasse est le critère fondamental pour déterminer la quantité et la qualité du fourrage disponible des pâturages [43]. La production de la phytomasse herbacée est estimée à 2,227 t MS/ha et la capacité de charge est de 0,33 UBT/ha/an. Ces valeurs sont supérieures à celles des parcours bovins du socle éburnéen au Togo [15] et nettement inférieures à celles des pâturages naturels du centre Bénin [44]. Cette différence serait liée aux régimes climatiques des différentes zones et aux perturbations anthropiques.

Les pâturages des zones savaniques sont moins productifs que ceux des agrosystèmes et des parcs agroforestiers. La faible productivité des savanes ressort l'impact du broutage permanent des animaux au sein de ces écosystèmes. Par contre dans les formations anthropogènes, la limitation du broutage par la protection des paysans permet un renouvellement du pâturage. Le pâturage des animaux au sein des agrosystèmes est souvent une source de conflit. Ces conflits ont été relevés par des études antérieures [2]. L'empiètement des aires et couloirs de transhumance

par le front agricole est aussi rapporté dans la partie septentrionale du Togo [15].

5. Conclusion

La présente étude a permis d'inventorier 109 espèces, dont 78 plantes fourragères le long des couloirs de transhumance de la préfecture de Tchamba au Togo. La famille des Poaceae est la plus dominante suivie des Leguminosae. La majorité des plantes herbacées sont disponibles en saison pluvieuse. Les espèces ligneuses comme *Azalia africana*, *Vitellaria paradoxa*, *Khaya senegalensis* sont disponibles toute l'année. Les éleveurs n'ont pas assez de connaissances sur les pratiques de gestion des pâturages. On note un début de dégradation de pâturage dû aux pressions anthropiques. Cela se traduit par la faible productivité et la faible capacité de charge des pâturages. La faible valeur pastorale du pâturage s'explique par une contribution faible des espèces de bonne valeur pastorale et une forte contribution des espèces sans valeur pastorale. Afin de garantir l'intégrité, la productivité des parcours et les performances zootechniques du cheptel, plusieurs actions devraient être mises en œuvre. Il s'agit d'abord de la finalisation de la délimitation et du balisage des espaces pastoraux et couloirs de transhumance. La lutte contre les principales espèces envahissantes des pâturages (*Hyptis suaveolens*, *Sida acuta*, *Chromolaena odorata*), l'ensemencement des espèces de bonne valeur pastorale et la mise en défens contre la mise en culture. Il serait aussi adéquat d'aménager des aires d'abreuvement des animaux au sein des couloirs de transhumance en vue de limiter la divagation du bétail à la recherche de l'eau.

Remerciements

Nos vifs remerciements aux guides de terrain et au conservateur de la Reserve de Faune d'Abdoulaye et la population locale de la Préfecture de Tchamba pour avoir facilité la collecte des données.

Références

1. Rivière R., Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Paris : Ministère de la coopération et du

- Développement. Coll. Manuels et précis d'élevage, Ed. Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux. 1977, 523 p. [Texte imprimé].
- Sokemawu K., Gestion des conflits entre paysans et éleveurs peulhs de la Région des Savanes au nord-Togo dans le processus d'un développement durable. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2 (2015) : 26-39. Disponible en ligne: <https://www.riges-uaou.net/volumes/numero-special/fichiers/art4.pdf> (consulté le 02/06/2022)
 - Talaki E., *Revue des filières bétail/viande & lait et des politiques qui les influencent au Togo*. FAO, 2017, 55 p. Disponible en ligne: <https://www.fao.org/publications/card/ru/c/db02adb-c222-418f-80dd-75434481b487/> (consulté le 06/06/2022)
 - Dewa K., "Etude de l'association de deux variétés de *Panicum maximum* et effet de leur association avec deux espèces de légumineuses". Université de Lomé, Mémoire, 2013, 36 p. (consulté le 17/05/2022)
 - Sitou Issoumane M., Malam Mahaman Ousseini M. & Dan Guimbo I., Caractérisation des parcours naturels au Niger: Diversité et mode d'exploitation. *Env. Wat. Sci. Pub. H. Ter. Int. J.*, 3 (3) (2019) : 181-191. <https://doi.org/10.48421/IMIST.PRSM/ewash-ti-v3i3.16673>
 - Souley M.H.I., Chaibou I., Soumana I., Laouali A., Mahamane A. & Banoin M., Valeurs pastorales et productivités inter-décennales des parcours de la vallée de Goulbi N'kaba au Niger. *Int. J. Innov. App. Stu.*, 24 (1) (2018) : 220-239. Disponible sur: <http://www.ijas.issr-journals.org/archives.php> (consulté le 12/05/2022)
 - Idrissa I., Lawali S., Karim S., Marou B., Adagoye B.A. & Mahamane A., Perception communautaire de la dynamique de parcours naturels Sahélien des trente dernières années: cas de l'enclave pastorale de Dadaria au Niger. *Afrique Science*, 16 (5) (2020) : 173-188. URL: https://www.afriqscience.net/numero5_vol_16.php (consulté le 15/04/2022)
 - Dantsey-Barry H., Kombate K., Issifou A. & Batawila K., Rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'Agriculture, Togo. In. Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, Lomé, Togo, 2007, 54. <https://www.fao.org/3/i1500e/Togo.pdf> (consulté le 22/07/2022)
 - Ern H., *Die Vegetation Togos, Gliederung, Gefährdung, Erhaltung*. Willdenowia, 9 (1979): 295-315. URL: <https://www.jstor.org/stable/3995654> (consulté le 21/07/2022)
 - Issifou A., Folega F., Kombate B., Atakpama W., Batawila K., Ketoh G.K. & Akpagana K., Cartographie participative des terroirs riverains de la réserve de faune d'Abdoulaye au Togo. *Rev. Écosystèmes et Paysages (Togo)*, 1 (2) (2022) : 83-97. Disponible en ligne: <https://lbev-univlome.com/wp-content/uploads/2022/08/Issifou-et-al21.2022.pdf> (consulté le 11/04/2022)
 - Amegnaglo K.B., Dourma M., Akpavi S., Akodewou A., Wala K., Diwediga B., Atakpama W., Agbodan K.M.L., Batawila K. & Akpagana K., Caractérisation des formations végétales pâturées de la zone guinéenne du Togo : typologie, évaluation de la biomasse, diversité, valeur fourragère et régénération. *Int. j. biol. chem. sci.*, 12 (5) (2018): 2065-2084. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.9>
 - Pedanou B.K., Atakpama W., Noundja L. & Akpagana K., Ethnomédecine et santé bovine dans la préfecture d'Anié au Togo. *Rev. Écosystèmes et Paysages (Togo)*, 1 (2) (2022) : 98-108. Disponible en ligne: <https://lbev-univlome.com/wp-content/uploads/2022/08/Pedanou-et-al21.2022.pdf> (consulté le 10/04/2022)
 - Tebonou G., Kamana P., Kokou K., Radji A.R. & Adjonou K., Diagnostic de la Filière Anacarde au Togo: Contraintes, Atouts et Impacts Socio-Economiques sur les Planteurs de la Région Centrale. *J. Rev. Universitaire Sociologie*, 0 (1) (2014) : 7-25. <https://europub.co.uk/articles/-A-328183> (consulté le 20/07/2022)
 - MEPS, Cadre politique de recensement des populations. In *Secondaire MdPE* (ed) Mars 2014 Edition., 2014, 116.
 - Ibrahim-Naim R.A., Atakpama W., Amegnaglo K.B., Noundja L., Batawila K. & Akpagana K., Diversité floristique et biomasse fourragère des parcours potentiels de pastoralisme du socle éburnéen au Togo. *Rev. Écosystèmes et Paysages (Togo)*, 1 (1) (2021) : 12-29. Disponible en ligne: https://lbev-univlome.com/wp-content/uploads/2022/01/02-Ibrahim-et-al.-dec_2021.pdf (consulté le 17/05/2022)
 - Atakpama W., Agbetanu K.M.W., Atara L.L., Biaou S., Batawila K. & Akpagana K., Biodiversité et gestion des feux de végétation dans la réserve de faune d'Abdoulaye au Togo. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 27 (1) (2021) : 51-64. Disponible en ligne: <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/173064> (consulté le 12/06/2022)
 - Braun-Blanquet J., *Plant sociology*. New York & London, 1932, 330 p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.7161>
 - Levang P. & Grouzis M., Méthodes d'étude de la Biomasse herbacée de formations sahéliennes : application à la Mare d'Qursi, Haute-Volta. *Acta Oecologica*, 1 (15) (1980) : 231-244. Disponible en ligne: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_04-05/03922.pdf (consulté le 02/09/2022)
 - Atakpama W., Amegnaglo K.B., Afelu B., Folega F., Batawila K. & Akpagana K., Biodiversité et biomasse pyrophytes au Togo. *Vertigo* la revue électronique en sciences de l'environnement, 19 (3) (2019) : <https://doi.org/10.4000/vertigo.27000>
 - Daget P., Poissonnet J. & Huiguenin J., Prairies et pâturages : Méthodes d'étude de terrain et interprétations. CNRS/CIRAD, 2010, 955 p. URL : <https://agritrop.cirad.fr/593473/> (consulté le 11/06/2022)
 - Atakpama W., Akpagana S.A.A., Pereké H., Batawila K. & Akpagana K., Plantes et prise en charge de la santé maternelle dans la région Maritime du Togo. *Annales Africaines de Médecine*, 14 (3) (2021) : e4196-e4206. Disponible en ligne: <https://anafrimed.net/plantes-et-prise-en-charge-de-la-sante-maternelle-dans-la-region-maritime-du-togo-plants-and-mothers-healthcare-in-the-maritime-region-of-togo/> (consulté le 13/06/2022)
 - Zabouh W.K., Atakpama W., Akpavi S., Batawila K. & Akpagana K., Plantes utilisées en ethnomédecine vétérinaire dans la Région des Savanes du Togo. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 20 (3) (2018) : 51-68. URL: <https://www.ajol.info/index.php/jrsul/cart/view/183059/173414> (consulté le 20/04/2022)
 - Akoégninou A., van der Burg W.J., van der Maesen L.J.G., Adjakidjè V., Essou J.P., Sinsin B. & Yédomonhan H., *Flore Analytique du Bénin*. Cotonou & Wageningen: Backhuys Publishers, 2006, 1034 p. URL: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/347966> (consulté le 11/11/2022)
 - White F., Bamps P. (trad.). *La végétation de l'Afrique : mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique UNESCO/AETFAT/UNSO*. Paris : ORSTOM ; UNESCO, 385 p. (Recherches sur les Ressources Naturelles ; 20). 1986. ISBN 2-7099-0832-8. URL: <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:24837> (consulté le 17/06/2022)
 - Aké Assi L., *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, 1984, 1206 p. <https://doi.org/10.2307/1222240?sid=semanticscholar>
 - Raunkiaer C., *The life forms of plants and statistical plant geography*; being the collected papers of C. Raunkiaer. OXFORD, 1934, 147 p. [Texte imprimé]
 - Akpo L.E., Masse D. & Grouzis M., Durée de jachère et valeur pastorale de la végétation herbacée en zone soudanienne au Sénégal, *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 55 (4) (2002) : 275-283. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010033118> (consulté le 05/11/2022)
 - Bechir A.B., Mopate L.Y. & Kabore-Zougrana C.Y., Evaluation de la disponibilité saisonnière du fourrage ligneux en zone soudanienne

- du Tchad: cas du terroir de N'Guetté 1, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3 (1) (2009) : 135-146.
<https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/42744> (consulté le 03/01/2023)
29. Alhassane A., Soumana I., Chaibou I., Karim S., Mahamane A. & Saadou M., Productivité, valeur pastorale et capacité de charge des parcours naturels de la région de Maradi, Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12 (4) (2018) : 1705-1716.
<https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/181015> (consulté le 01/10/2022)
 30. Dossou M.E., Houessou G.L., Lougbégnon O.T., Tenté A.H.B. & Codjia J.T.C., Etude ethnobotanique des ressources forestières ligneuses de la forêt marécageuse d'Agonvè et terroirs connexes au Bénin. *Tropicicultura*, 30 (1) (2012) : 41-48.
 31. Konare D. & Coulibaly M., Evaluation des Impacts de la Transhumance sur les Ressources Pastorales au sud du Mali dans la Commune Rurale de Dabia (Cercle de Kéniéba). *Eur. Sci. J.*, 15 (21) (2019) : 202-227.
<https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n21p202>
 32. Idrissa I., Morou b., Abdoulaye D., Saley K. & Mahamane A., Caractérisation des pâturages herbacés sahéliens à accès limité : Cas du Centre Secondaire de Multiplication de Bétail de Sayam (Diffa). *J. Appl. Biosci.*, 156 (2020) : 16087 - 16094.
<https://www.ajol.info/index.php/jab/article/view/233416> (consulté le 01/10/2022)
 33. Samandougou Y., Compaore H., Zoundi S. & Zoungrana-Kabore Y., Evaluation de la productivité des herbacées fourragères des forêts sacrées de Koupéla dans le Centre Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13 (1) (2019) : 99-109.
<https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/186688> (consulté le 05/06/2022)
 34. Yoka J., Loumeto J., Djego J., Voudibio J. & Epron D., Évaluation de la diversité floristique en herbacées des savanes de la cuvette congolaise (République du Congo). *Afrique Sci.*, 9 (2) (2013) : 110-123.
<https://www.ajol.info/index.php/afsci/article/view/112079> (consulté le 05/06/2022)
 35. Amegnaglo K.B., Dourma M., Akpavi S., Diwediga B., Wala K., Batawila K., Djaneye-Boundjou G. & Akpagana K., Biomasse des pâturages de la plaine du Mono au Togo : Diversité, valeurs nutritionnelle et fourragère. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé*, 20 (4) (2018) : 97-114.
<https://www.ajol.info/index.php/jrsul/article/view/184419> (consulté le 01/10/2022)
 36. Martin J.-P., Plantes fourragères tropicales de l'ouest africain. Abidjan, Cote d'Ivoire: ORSTOM, 1970, 49 p.
https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-11/05101.pdf (consulté le 11/10/2022)
 37. Klein H.-D., Rippstein G., Huguenin J., Toutain B., Guerin H. & Louppe D., Les cultures fourragères. éditions Quae, 2014, 262 p.
https://agritrop.cirad.fr/574491/1/document_574491.pdf (consulté le 11/07/2022)
 38. Achard E. & Banoin M., Production fourragère des jachères et transfert de fertilité par le bétail au Niger. In Floret C & Pontanier R (eds): La jachère en Afrique Tropicale. Dakar, Sénégal, 2000, 546-554.
<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010024604> (consulté le 15/10/2022)
 39. Akpo L.E. & Grouzis M., Valeur pastorale des herbages en région soudanaise: le cas des parcours sahéliens du Nord-Sénégal. *Tropicicultura*, 18 (1) (2000) : 1-8.
https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_57-58/010024171.pdf (consulté le 01/10/2022)
 40. César J., Typologie, diagnostic et évaluation de la production fourragère des formations pastorales en Afrique tropicale. *Fourrages*, 128 (1991) : 423-442.
<https://afpf-asso.fr/article/typologie-diagnostic-et-evaluation-de-la-production-fourragere-des-formationen-pastorales-en-afrique-tropicale> (consulté le 02/10/2022)
 41. Dourma M., Randrantoarimbola L., Woegan Y.A., Kanda M., Akpavi S. & Akpagana K., Les pâturages naturels de la périphérie de Lomé au Togo: Diversité, typologie et qualité du fourrage. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 6 (4) (2018) : 526-536.
https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAVH2/article/view/611/1115 (consulté le 16/11/2022)
 42. Folega F., Kombate B., Konate D., Kanda M., Wala K. & Akpagana K., Inventaire et séquestration de carbone de la végétation de l'emprise urbaine de la ville de Dapaong, Togo. *Rev. Esp. Géol. Soc. Mar.*, 41/42 (2020) : 273-280. URL:
<https://scholar.google.com/citations?user=f0fAnOoAAAAJ&hl=fr> (consulté le 06/03/2022)
 43. Ngom D., Bakhom A., Diatta S. & Akpo L.E., Qualité pastorale des ressources herbagères de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord-Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6 (1) (2012) : 186-201.
<https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/80456> (consulté le 07/05/2022)
 44. Agonyissa D. & Sinsin B.A., Productivité et capacité de charge des pâturages naturels au Bénin. *Rev. Élev. Méd. Vét. Pays. Trop.*, 51 (3) (1998) : 239-246.
<https://doi.org/10.19182/remvt.9628>

Revue Nature et Technologie

Academic Journal with an International Dissemination

Volume 15

Issue 01 – January 2023

