

---

# Revue Nature et Technologie

---

Academic Journal with an International Dissemination

---

**Volume 15**

**Issue 02 – June 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 the 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. ACHOUR Djillali**

**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 Computer 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*

**Dr. SADOUD Meryem**

*Laboratory of Beneficial Microorganisms, Functional Foods and Health, Department of biology, Faculty of natural and life sciences, University of Mostaganem, 27000, 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. BAKOUR Rabah**

*University of Science and Technology Houari Boumediene, 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 Noureddine**

*Mohamed Khider University of Biskra, Algeria*

**Secretary:**

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

Ms. RIATI Sabrina; [s.riati@univ-chlef.dz](mailto:s.riati@univ-chlef.dz)

**Address:**

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

---

## Summary

volume 15  
Issue n°02 – June 2023

---



---

## Revue Nature et Technologie

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

ISSN: 1112-9778 – EISSN: 2437-0312

---

---

### Class A: Fundamental & Engineering Sciences

---

*Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de résine polyester insaturée (UPR) renforcé avec la perlite* ..... 01

Ouided DEHAS, Laidi BABOURI and Yasmina BISKRI

---

*Compostage-méthanisation des fermentescibles solides urbains de la commune de Chlef (Algérie)* ..... 17

Naïma TAHRAOUI DOUMA, Nacéra CHAOUTI, Amina FELLOUH and Serge CHAMBON

---

---

### Class B: Agronomic & Biological Sciences

---

*Effet de l'incorporation de la farine d'épluchures de manioc sur la composition physico-chimique et nutritionnelle des œufs de poule "ISA BROWN"* ..... 31

Adam Camille KOUAME, Kouabena KREMAN, Kouakou Eugène KOUADIO, Kalo Laciné BAMBA and Gouagoua Severin KOUADJA

---

*Impact of the regression of rangelands on the evolution of breeding systems in Northwest Tunisia* ..... 39

Oumayma HAMMAMI, Mustpha MANSOURI, Moncef KHTIRI and Ali FERCHICHI

---

---

### Class C: Environmental Sciences

---

*Air layering of three agroforestry species in the Guinean savannah highlands of Adamawa in Cameroon* ..... 47

Guidawa FAWA, Pierre Marie MAPONGMETSEM and Ronald BELLEFONTAINE

---





# Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de résine polyester insaturée (UPR) renforcé avec la perlite

Ouided DEHAS\*, Laidi BABOURI et Yasmina BISKRI

*École Normale Supérieure d'Enseignement Technologique de Skikda, Algérie.*

## Résumé

L'objectif principal de ce travail est l'étude de l'effet de l'incorporation d'une charge minérale, la perlite dans une matrice thermodurcissable à base d'une résine polyester insaturée, de type résine isophtalique, sur les propriétés mécaniques, physique et , morphologique des matériaux composites comportant des taux variés de minerais, présentant différentes dimensions, notamment supérieure à 50µm, et inférieure à 50µm traité et non traité. Les composites ont été préparés par le procédé de moulage au contact ; Les plaques des composites sont durcies pendant 24 h à la température ambiante puis mises en étuve pendant 16 heures à 40 °C pour subir une post-cuisson. L'étude de propriétés mécaniques réalisées par la détermination de la contrainte à la rupture et la déformation à la rupture, la résistance à l'impact et la résistance à la rupture a montré que ces propriétés augmentent jusqu'à 4% en raison de la forte affinité entre les deux composants et de la bonne dispersion de la charge. Après, ils diminuent lorsque la teneur de la charge augmente et cela ne permettent pas une dispersion adéquate et crée des agglomérations qui initient la rupture. Une bonne corrélation a été observée entre les résultats des essais mécaniques et les observations au MEB qui a révélé que pour des concentrations plus faibles, les particules de la perlite sont bien dispersés dans la résine, mais les agglomérations sont mises en évidence lorsque la teneur en charge augmente.

Mots-clés : Résine polyester insaturée ; Perlite ; Composites ; Adhésion.

## Abstract

The main objective of this work is the study of the effect of the incorporation of a mineral charge, Perlite, in a thermosetting matrix based on an unsaturated polyester resin, of the isophthalic resin type, on the mechanical, physical and morphological properties of composite materials containing various rates of minerals, having different dimensions, in particular higher than 50 µm and lower than 50 µm, treated and not treated. The composites were prepared by the contact molding process. The study of the mechanical properties, carried out by determining the stress at break and strain at break, impact resistance and fracture resistance, showed that these properties increase up to 4 % due to the strong affinity between the two components and the good dispersion of the filler; then, decrease when the content of the filler increases which does not allow an adequate dispersion and creates agglomerations that initiate the break. A good correlation was observed between the results of the mechanical tests and the SEM observations, which reveal that for lower concentrations, the Perlite particles are well dispersed in the resin, but also the evidence of agglomerations when the filler content increases.

Keywords: Unsaturated polyester resin; Perlite; Composites; Adhesion.

## 1. Introduction

Les matériaux composites à matrice polymérique ont pris une croissance très importante durant ces dernières années. Ainsi de nouvelles générations de composites se développent à partir de différentes matrices polymériques (thermoplastiques ou thermodurcissables): auxquelles, on associe des renforts

organiques ou inorganiques particuliers et/ou fibrillaires.

Actuellement, les matériaux composites sont largement utilisés, car ils permettent, par le choix de la nature, de la géométrie et de la répartition des constituants, d'obtenir le meilleur compromis en termes de propriétés recherchées telles que la rigidité



spécifique, la résistance ou la stabilité dimensionnelle. Par conséquent, les polymères et leurs composites ont pu jouer avec succès, un rôle de substitution aux matériaux métalliques et céramiques. En effet, dans certaines applications les matériaux polymères ont pu offrir une alternative au verre et aux métaux qui sont de plus en plus remplacés par les matériaux composites à matrice polymère [1].

Dans l'ensemble des familles de composites, les composites à matrice therm durcissable et plus particulièrement, la résine polyester insaturée, représentent une large proportion de l'ensemble de ces matériaux. L'intégration de charges, telles que les oxydes d'alumine ou d'antimoine et le carbonate de calcium, de granulométrie variant entre 80 et 125  $\mu\text{m}$ , dans la résine polyester insaturée a pour objectif de rendre le matériau plus stable thermiquement, d'améliorer l'aspect de surface et de diminuer le retrait... Elles ont une influence sur les propriétés des matières moulées : propriétés mécaniques, électriques et chimiques. Ces charges permettent aussi de diminuer le coût [2]. Aussi, les renforts ont pour but l'amélioration de la résistance mécanique et de la rigidité des pièces formées. Les renforts les plus utilisés sont constitués de fibres de verre, assemblées en mèches. Les avantages principaux des fibres de verre sont une bonne résistance à la corrosion, de hautes propriétés mécaniques, un poids faible, une bonne résistance aux produits chimiques, de bonnes qualités d'isolant électrique et thermique [2].

Par ailleurs, les matériaux composites à fibre se sont développés pendant le vingtième siècle grâce à la création des résines et des fibres synthétiques. A côté des composites naturels tels que le bois, l'homme a, depuis l'antiquité, élaboré un grand nombre de matériaux ou de structures composites; citons, dans le domaine de la construction, les fibres naturelles dans la boue. Les origines des composites avancés datent, toutefois, des années 1930. Les premières résines et fibres synthétiques ont été développées au cours de cette décennie. Actuellement, les composites à fibres synthétiques entrent, pratiquement, dans tous les domaines d'applications possibles, tels que le bâtiment et les transports : aérien, routier, ferroviaire [3].

Par conséquent, un grand nombre de travaux de recherche ont été réalisés sur les matériaux composites dans le but d'avoir une meilleure combinaison de

propriétés pour des applications spécifiques. Parmi ces matériaux composites on a les matériaux composites à base des résines polyesters insaturées (UPR): renforcés par des renforts fibrillaires UPR/fibres de verre [4-12], UPR/fibres de carbone [13, 14] et par des renforts organiques naturels tel que les fibres de la canne à sucre [15] et des fibres végétales tel que les fibres de lin [16, 17], fibres de sisal [18-21], fibres de chanvre [22] afin d'améliorer différentes propriétés, mécanique et performances thermiques ou autres et pour diminuer par exemple la conductivité électrique et la perméabilité aux gaz, en fonction de l'application [23]. Au cours des dernières années, les nanocomposites à matrice UPR et à renforts particuliers ont été un domaine de recherche exaltant en raison des améliorations significatives sur l'ensemble des propriétés parmi ces nanomatériaux on peut citer UPR/montmorillonite (MMT) [24-26], UPR/argile [27] et UPR/bentonite [28]. Les composites à base des résines polyesters insaturées (UPR) ont été largement utilisés dans des applications industrielles telles que les industries marine, de l'automobile, les systèmes de canalisations et de la construction en raison de leur faible coût, haute résistance chimique et une bonne ouvrabilité [29].

L'objectif de ce travail est l'élaboration et la caractérisation d'un nouveau matériaux composites à base de résine polyester insaturée comme matrice polymérique et de substituer le renfort classique de cette résine par un minéral, issu d'une roche siliceuse de nature volcanique, la perlite. Cette charge possède la caractéristique particulière, relativement aux minerais déjà incorporés dans les polymères, de contenir une proportion très importante de pores pouvant lui permettre de s'exfolier sous certaines conditions, et de montrer une grande surface spécifique. L'accès de la résine liquide aux ports de la charge pourrait permettre de développer des interactions suffisantes pour l'obtention de nouveaux composites aux performances acceptables, ce qui constitue l'objectif essentiel de notre étude. Les composites de résine polyester insaturée/perlite avec différents taux de charge ont été préparés par le procédé moulage au contact. Les composites obtenus ont été soumis à plusieurs techniques de caractérisations à savoir les tests mécaniques (traction, choc et flexion), physique (densité) et par le microscope électronique à balayage (MEB).

## 2. Matériaux utilisés

### 2.1. Résine polyester insaturée

La résine polyester insaturée utilisée dans cette étude est une résine isophtalique. C'est un produit commercialisé par la firme Exxon Mobil Chemical<sup>1</sup>, vendue industriellement sous forme de mélange peu visqueux (environ 373 mPa.s à 25 °C). La résine UPR nous a été fournie par l'entreprise Maghreb Pipe de Msila<sup>2</sup> (248 km à l'Est de la capitale Alger), spécialisée dans la fabrication de stratifié de résine polyester et de fibre de verre. La résine nous été livrée sous forme de prépolymère accélérée c'est-à-dire de formulation liquide contenant entre 30 et 50 % massique de monomère insaturée qui est le styrène et de 0,25 % en volume d'accélérateur. Le tableau 1 regroupe l'ensemble des propriétés de la résine polyester insaturée.

Tableau 1  
Caractéristiques générales de la résine polyester insaturée [30].

Propriétés	Unité	Valeur	Méthode
Densité	g.mL <sup>-1</sup>	0,908	/
Viscosité Brookfield <sup>3</sup> à 25 °C	mPa.s	373	ASTM D 2196
Couleur	Gardner	0,1	ISO 4630
Teneur en styrène	%	39,5	
Valeur acide	mg KOH/g	15,8	ISO 2114
Temps de gel à 25 °C (0,25 % Co-6 % +1,5 % P MEC-50):	min, sec	9'54"	DIN 16945
Relativité à 25 °C (0, 25 % Co-6 % +1)	Tmax °C Tgel - Tmax	182,1 11'12"	DIN 16945

### 2.2. Système catalytique catalyseur/accélérateur

L'initiateur de la réaction de copolymérisation est le P MEC. La quantité d'initiateur introduite dépend de la température de travail et varie, conformément aux indications des fiches techniques des fournisseurs, de 1 à 1,5 %. L'accélérateur utilisé pour promouvoir la

réaction de durcissement de la résine est l'octoate de cobalt<sup>4</sup>.

### 2.3. La perlite

Le nom générique de perlite désigne une roche volcanique siliceuse naturelle. La caractéristique primordiale qui distingue la perlite des autres verres volcaniques, est que lorsqu'elle est chauffée à une température située dans l'intervalle de son intervalle de ramollissement, le produit se dilate de quatre à vingt fois son volume d'origine [31]. La perlite utilisée dans ce travail nous a été fournie sous cette forme expansée et provient de Tlemcen-Maghnia (580 km à l'ouest de la capitale Alger). La composition chimique générale de ce minerai est comme suit: SiO<sub>2</sub> : 71-75, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 12,5-18, K<sub>2</sub>O : 4-5, Na<sub>2</sub>O : 2,9-4, CaO : 0,5-2, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 0,5-1,5, MgO : 0, 1-0,5, en plus d'autres composés présents en faibles concentrations [32]. Les caractéristiques générales de la perlite sont regroupées dans le tableau 2.

Tableau 2  
Caractéristiques générales de la perlite [32].

Propriétés	Valeur
Couleur	Blanche
Brillance (%):	80-85
Indice de réfraction	1,47
Gravité spécifique (g.cm <sup>-3</sup> ):	2,34
Densité (kg.m <sup>-3</sup> ):	40-170
Absorption de l'eau (gms oil.gm <sup>-1</sup> ):	50-100

### 2.4. Elaboration de composites UPR/Perlite

#### 2.4.1. Tamisage de la perlite

Avant de préparer les composites, on a procédé au tamisage de la perlite en employant des tamis avec différentes taille de mailles, afin de séparer deux fractions de minerais avec les granulométries suivantes: entre 80 et 50 µm (Perlite > 50 µm): et inférieure à 50 µm (Perlite < 50 µm).

#### 2.4.2. Traitement de la perlite par l'agent de couplage silanes

<sup>1</sup> <https://www.exxonmobilchemical.com/en>

<sup>2</sup> <https://www.maghrebpipe.com>

<sup>3</sup> Brookfield est la norme mondiale en termes de mesure de la viscosité. Pour le principe voir <https://labomat.eu/fr/faq/438-comment-fonctionne-un-viscosimetre-html#SnippetTab>

<sup>4</sup> L'octoate de cobalt est une source de cobalt soluble dans les solvants organiques en tant que composé organométallique. Formule moléculaire brute : C<sub>16</sub>H<sub>30</sub>CoO<sub>4</sub>

Le traitement de surface de la perlite par l'agent de couplage silane a été réalisé comme suit. Une solution à 3 % massique de vinyltriméthoxysilane (VTMS) est mise sous agitation pendant 15 minutes. Le pH de la solution est ajusté à une valeur de 4 par ajout progressif de l'acide acétique. Après cela, la perlite de granulométrie inférieure à 50 µm est incorporée à la solution et est maintenue sous agitation pendant 24 heures à la température ambiante. Après filtration, la perlite ainsi traitée est rincée à l'eau distillée, puis mise à sécher à l'air libre pendant 48 heures.

La quantité de résine polyester insaturée accélérée est soigneusement pesée de façon à préparer des plaques de composites ayant une épaisseur moyenne de 4 mm, et ce en utilisant des moules en bois.

La résine polyester insaturée accélérée est mélangée aléatoirement dans un récipient métallique. La perlite, des deux granulométries, non traitée et traitée en surface et étuvée à 50 °C pendant 24 heures, est ajoutée selon les taux suivants 1, 2, 3, 4 et 5 % (tableau 3). Enfin, une concentration de 1,5 % de P MEC est ajoutée pour assurer la réticulation de la matrice du composite. Les différentes formulations, ainsi préparées, sont versées sur une feuille de téflon sur laquelle est déposé le moule en bois. Un ébulleur est utilisé pour assurer la bonne répartition de la formulation liquide sur toute la surface du moule et dégager les éventuels bulles d'air formées lors de l'opération de mélange des composites. Les plaques des trois types de composites sont durcies pendant 24 h à la température ambiante puis mises en étuve pendant 16 heures à 40 °C pour subir une post-cuisson.

Tableau 3  
Compositions des formulations UPR/Perlite

UPR/Perlite	Taux de perlite (%)					
Perlite > 50 µm	0	1	2	3	4	5
Perlite < 50 µm	0	1	2	3	4	5
Perlite < 50 µm traitée	0	1	2	3	4	5

### 2.4.3. Techniques expérimentales

#### A) Essais mécaniques

##### a. Essai de traction

L'essai de traction a été effectué sur des éprouvettes rectangulaires ayant les dimensions

(115×10×4) mm<sup>3</sup>. Les éprouvettes ont été testées sur une machine du type dynamomètre DT-W-20 kN à une vitesse de déplacement de 2 mm/min et en considérant une longueur initiale entre les appuis L<sub>0</sub> = 50 mm. Les caractéristiques en traction, notamment, la contrainte à la rupture σ<sub>r</sub> et la déformation à la rupture ε<sub>r</sub> ont été évaluées à partir des courbes contraintes/allongement obtenues.

La contrainte à la rupture exprime la charge de traction par unité de surface supportée par l'éprouvette à l'instant de sa rupture. Elle est donnée par l'expression suivante :

$$\sigma_r = F/S \text{ (N.m}^{-2}\text{)} \quad (1)$$

F: Charge de traction supportée par l'éprouvette (N) ;  
S: Section initiale (m<sup>2</sup>).

La déformation à la rupture est calculée par l'équation suivante:

$$\varepsilon_r = \Delta L/L_0 \text{ (%) } \quad (2)$$

ΔL: Allongement;

L<sub>0</sub>: Longueur initiale de l'éprouvette.

#### b. Essai de résistance au choc

L'essai de résistance au choc résulte de l'application d'une sollicitation mécanique à grande vitesse de percussion et avec une énergie élevée, engendrant la rupture d'une éprouvette en une fraction de seconde. Il permet de déduire dans des conditions expérimentales données, la fragilité ou la ductilité d'un matériau. L'essai a été réalisé sur un appareil du type Resil Impactor, sur des éprouvettes non entaillées, ayant les dimensions (65×15×4) mm<sup>3</sup>. Le choc est donné au centre de l'éprouvette au moyen d'un marteau de 7,5 kg. L'énergie de fracture ou résilience a<sub>n</sub> est calculée, pour les barreaux lisses selon l'équation suivante :

$$a_n = A_n/e \cdot L \quad (3)$$

A<sub>n</sub> étant l'énergie cinétique en joule absorbée par l'éprouvette au moment de l'impact alors que L et e sont, respectivement, la largeur et l'épaisseur de l'éprouvette.



### c. Essai de flexion

L'essai de flexion des trois points a été effectué sur des éprouvettes ayant les dimensions  $(80 \times 15 \times 4) \text{ mm}^3$  de la matrice UPR non chargée et des différents composites élaborés et ce selon la norme AFNOR NFT 57-105. L'écartement D entre les deux points d'appui de l'éprouvette est de 60 mm alors que la vitesse de la traverse mobile est de 2 mm/min.

### B) Mesure de la densité des composites

Les mesures de la densité (d) ont été effectuées, sur des fragments de la résine et des composites, en utilisant un appareil balance du type Ohaus, selon la norme ISO 1183, méthode A, conçue pour les matériaux possédant une densité supérieure à 1. La réalisation de l'essai a consisté aux étapes suivantes :

- 1- Préparer le pycnomètre ;
- 2- Tarer la balance ;
- 3- Prendre un échantillon dont le poids varie de 1 à 5 g ;
- 4- Mettre l'échantillon sur la corbeille, et enregistrer la masse  $w_a$  ;
- 5- Tarer la balance à nouveau puis immerger l'échantillon dans le liquide d'immersion ;
- 6- Enregistrer la masse volumique selon la formule suivante [33] :

$$d = \frac{w_a \cdot \rho(fl)}{w_a - wfl} + 0,0012 \text{ g.cm}^{-3} \quad (4)$$

où  $\rho(fl)$  est la masse volumique du liquide d'immersion exprimée en  $\text{g.cm}^{-3}$  (dans notre cas c'est l'eau  $\rho(fl) = 1 \text{ g.cm}^{-3}$ ) ;  $w_a$  le poids de l'échantillon dans l'air, et  $wfl$  la valeur absolue de la poussée hydrostatique, tous deux exprimés en g. La valeur  $0,0012 \text{ g.cm}^{-3}$  est la masse volumique de l'air dans les conditions normales.

### C) Microscopie électronique à balayage MEB

Les observations morphologiques des surfaces fracturées des échantillons des composites ont été faites par un microscope électronique à balayage de marque Hitachi S3000N. Les échantillons ont été placés dans de l'azote liquide, fracturés et enfin métallisés par une

couche conductrice en or déposée au moyen d'un métalliseur de marque Balzers SCD 004. Lors de l'observation, des micrographies sont enregistrées à différentes magnitudes.

## 3. Résultats et discussion :

### 3.1. Propriétés mécaniques des composites UPR/perlite

Les propriétés mécaniques (traction, choc et flexion -3 points) des composites UPR/perlite ont été déterminées en fonction de la taille des particules, du taux et du traitement de surface de la charge.

#### 3.1.1. Propriétés en traction

Les variations des propriétés en traction, notamment la contrainte et la déformation à la rupture des composites UPR/perlite  $> 50 \mu\text{m}$ , UPR/perlite  $< 50 \mu\text{m}$  et UPR/perlite  $< 50 \mu\text{m}$  traitée par le silane (Si) en fonction du taux, de la taille des particules et du traitement de la perlite, sont représentées par les figures 1 à 4.

D'après les figures 1 et 2, donnant les variations de la contrainte à la rupture en fonction du taux de perlite, nous avons noté une augmentation par rapport à la matrice pure jusqu'à des taux de 3 et 4 %, suivie d'une diminution pour les composites UPR/perlite ayant les dimensions  $> 50 \mu\text{m}$  et  $< 50 \mu\text{m}$ , respectivement. Cette augmentation est d'autant plus importante que la granulométrie de la charge diminue et que la perlite soit traitée par le silane. L'augmentation de la contrainte à la rupture est attribuée à la rigidification du matériau après l'incorporation de la perlite. Par ailleurs, quand le taux de charge s'accroît, la possibilité de formation d'agrégats augmente, nuisant ainsi à la continuité au sein du composite et formant des sites favorables à sa rupture fragile. Ces résultats sont en accord avec ceux de Seki *et al.* [4], Chirayil *et al.* [5] et lin *et al.* [39] en étudiant les composites UPR/huntite, UPR/nanocellulose, UPR/perlite et UPR/nanoargile respectivement.

De même, les valeurs de la déformation à la rupture ont été également affectées par le taux de perlite, la dimension de ses particules et le traitement de surface.

En effet, les variations illustrées par les figures 3 et 4 montrent une amélioration de la déformation à la rupture d'une valeur de 0,94 % pour la résine polyester non chargée à des valeurs de 0,98, 1,97 et 1,90 % pour les composites UPR/perlite > 50  $\mu\text{m}$ , UPR/perlite < 50  $\mu\text{m}$  et UPR/perlite < 50  $\mu\text{m}$  (Si) pour un taux de perlite de 4 %, respectivement. D'une manière générale, les propriétés mécaniques en traction des composites UPR/perlite sont proportionnelles à la dimension de la charge; plus celle-ci diminue, plus les propriétés augmentent. Au-delà de 4 %, la déformation à la rupture décroît pour l'ensemble des composites. Ces résultats sont expliqués par le fait que la surface de contact charge/matrice est d'autant plus petite que la taille de la particule est plus grande, car la surface spécifique augmente avec la diminution de la taille de la charge. L'amélioration des propriétés peut aussi être attribuée à la distribution plus uniforme de la charge

dans la matrice. Dans ce contexte, Madugu *et al.* [40] ont proposé que la répartition uniforme des charges dans la microstructure des composites est un facteur clé pour la promotion des propriétés mécaniques. Cependant, la diminution de la résistance mécanique en traction et de la déformation à la rupture indique soit une mauvaise dispersion de la charge, soit la présence d'agglomérats ou encore l'existence de défauts tels que les micro-vides [41]. Les figures citées plus haut montrent aussi que les composites à charge traitée présentent de meilleures valeurs de la contrainte et la déformation à la rupture que ceux à charge non traitée. Il semblerait que le traitement chimique de la surface de la perlite permet sa meilleure dispersion dans la matrice et garantit une bonne adhésion interfaciale entre les deux phases puisqu'il permet d'établir des liaisons chimiques entre la perlite et la résine UPR [42].

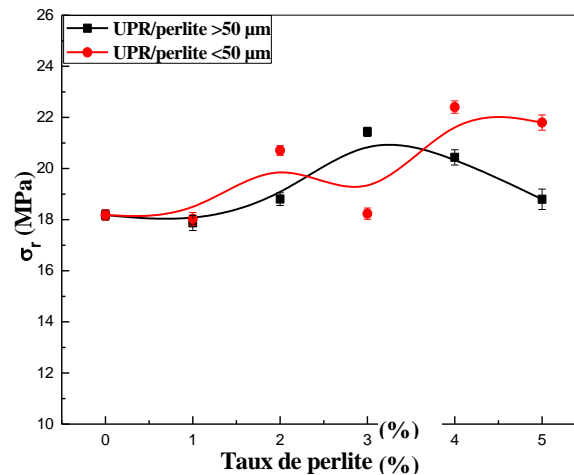


Figure 1. a/ Préparation du mélange résine /perlite ; b/ Versement du mélange dans le moule ; c/ durcissement des plaques ; d/ Plaques composites.

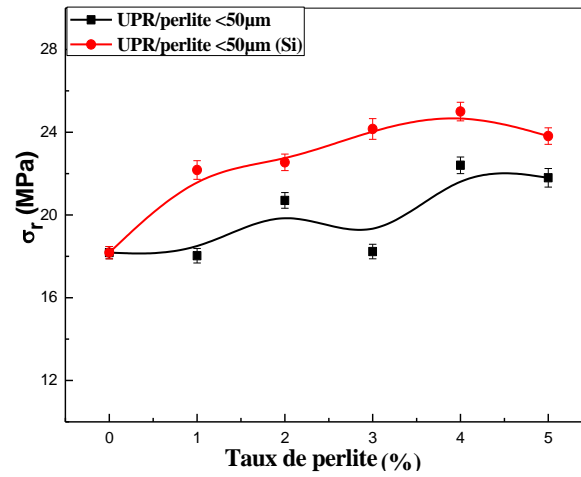


Figure 2. Variations de la contrainte à la rupture des composites UPR/perlite < 50  $\mu\text{m}$  en fonction du taux de charge et du traitement de surface.

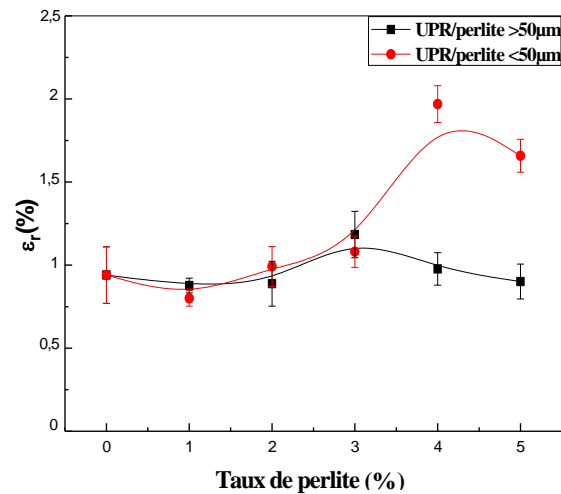


Figure 3. Variations de la déformation à la rupture des composites UPR/perlite en fonction du taux de charge et de la taille des particules.

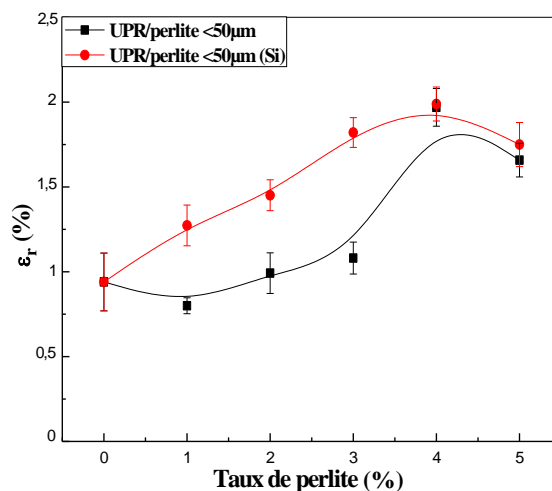


Figure 4. Variations de la déformation à la rupture des composites UPR/perlite < 50 µm en fonction du taux de charge et du traitement de surface.

### 3.1.2. Résilience des composites UPR/perlite

Les variations de la résistance au choc Izod<sup>5</sup> sans entaille des composites UPR/perlite en fonction du taux de charge, de la taille des particules et du traitement de surface sont représentées par les figures 5 et 6. Les courbes montrent clairement que la résilience des composites augmente avec le taux de perlite jusqu'à 3-4 %, puis diminue. Nous pouvons aussi discerner l'effet de la taille des particules et du traitement de la surface de la charge. Ainsi, les composites comportant les particules les plus fines avec et sans traitement de surface présentent la résistance à l'impact la plus élevée. En effet, plus la dimension des particules est faible, plus leurs effets comme initiateurs de la rupture fragile s'atténuent, provoquant la promotion de la résilience des composites relativement à celle des composites à particules de plus grandes tailles. Par ailleurs, l'adhésion renfort/matrice est légèrement améliorée grâce au traitement de surface qui permet de promouvoir, pour certain pourcentage, le contact à l'interface entre les deux composants du matériau [43].

L'augmentation de la résilience de l'ensemble des composites relativement à la matrice UPR peut être due à la capacité de la résine à diffuser à l'intérieur des

certaines particules sphériques et poreuses de la perlite, ce qui assure la continuité du matériau et compense les effets à l'interface, résultant du manque d'affinité de la matrice pour la charge. A partir de taux de perlite de 4 %, l'inverse se produit car les effets des phénomènes à l'interface (formation d'agrégats et manque d'adhésion) dominent à cause de la grande concentration de la charge minérale et de la faible contribution de la résine susceptible de diffuser dans le minéral (il ne reste pas suffisamment de résine quand le taux de renfort atteint 5 %). La proportion de résine diffusant à l'intérieur de la perlite devient plus faible et les problèmes dus au manque de mouillage des particules minérales par la matrice surgissent, provoquant la diminution de la résistance à l'impact [38].

<sup>5</sup> L'essai est réalisé sur une éprouvette usinée en V d'une longueur de 75 mm. L'entaille en V est pratiquée à 28 mm de l'une des extrémités. L'autre extrémité est encastrée verticalement jusqu'au niveau de l'entaille. Un couteau horizontal de choc spécial vient frapper la face entaillée à l'extrémité libre.

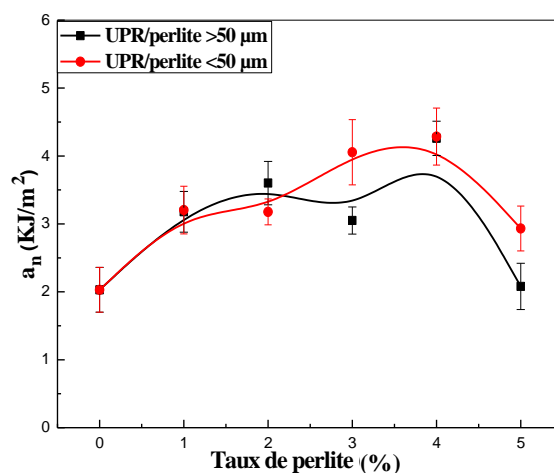


Figure 5. Variations de la résilience des composites UPR/perlite en fonction du taux de charge et de la taille des particules.

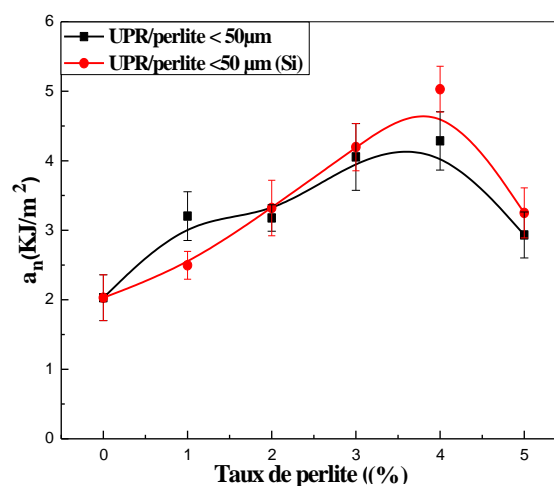


Figure 6. Variations de la résilience des composites UPR/perlite < 50 µm en fonction du taux de charge et du traitement de surface.

### 3.1.3. Propriétés en flexion des composites UPR/perlite

Les propriétés en flexion des composites UPR/perlite sont étudiées en suivant les variations de la résistance à la rupture en fonction du taux de charge minérale, de la taille des particules et de leur traitement de surface, comme le montre les figures 7 et 8. D'une manière générale, les courbes montrent une amélioration de la résistance à la rupture des composites avec l'augmentation du taux de perlite jusqu'à 4 %, puis une diminution est notée pour le taux de 5 %. Aussi,

pour un même taux de perlite, nous observons que plus la taille des particules diminue, plus la résistance à la rupture est meilleure.

L'augmentation de la résistance à la rupture est essentiellement due à la rigidification des composites par suite à l'ajout de la perlite. Par ailleurs, la diminution notée pour le taux de 5 % de minerai peut être interprétée par le fait que lorsque le taux de charge augmente, la proximité des particules et leur affinité les unes pour les autres favorisent la formation d'agrégats, dont le mauvais mouillage par la résine engendre des sites défaillants au sein du matériau. En d'autres termes,



à de taux de charge élevée, la quantité de résine devient insuffisante et ne peut assurer le parfait mouillage des particules de perlite ce qui crée des vides initiateurs de la rupture fragile du composite [41, 43-44]. De même que pour les essais de choc et de traction, l'effet de la taille des particules est crucial car il est noté que la résistance à la flexion est d'autant plus meilleure que la taille des particules de perlite est plus faible. En effet, pour un même taux de charge, le nombre de sites d'accrochage des écailles de la perlite augmente avec la diminution de la taille des particules. Enfin, la figure montre que le traitement de surface de la charge par le silane améliore légèrement la résistance à la flexion qui augmente, particulièrement pour les taux les plus élevés de perlite.

En conclusion aux résultats des essais mécaniques de traction, de choc et de flexion, il apparait que les composites comportant de 3 à 4 % de perlite < 50  $\mu\text{m}$  et traitée en surface semblent présenter les performances mécaniques optimales. Ceci est sans doute possible du fait qu'il réalise le meilleur compromis entre les trois paramètres influents suivants :

- Le taux de charge optimal pour lequel un bon mouillage est obtenu ;
- Un nombre suffisant de sites d'ancrage des écailles de la perlite ;
- Une contribution non négligeable de l'agent surfactant silane dans l'amélioration de la dispersion et de l'adhésion à l'interface résine/perlite [37, 45].

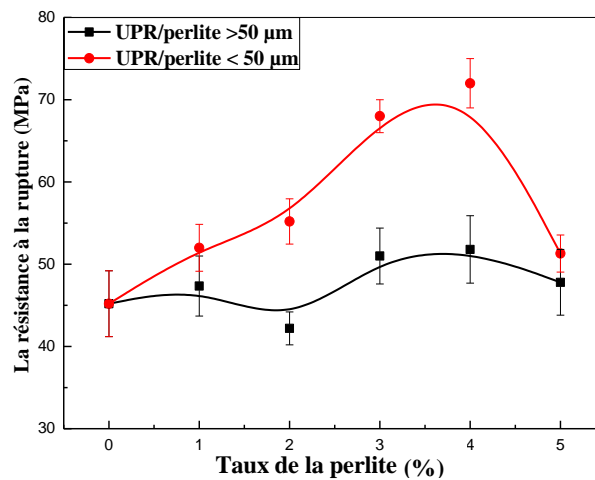


Figure 7. Variations de la résistance à la rupture des composites UPR/perlite en fonction du taux de charge et de la taille des particules.

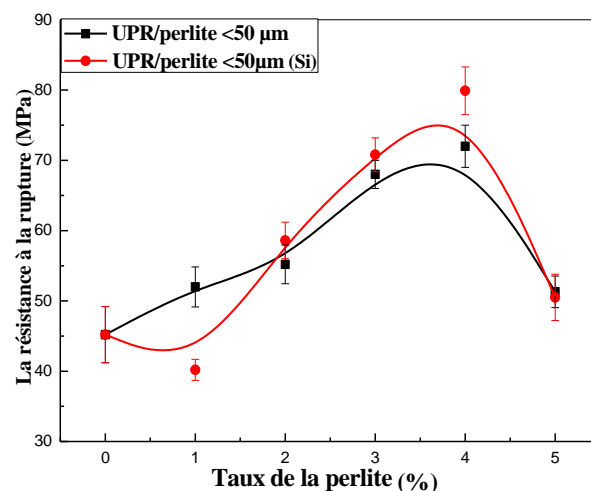


Figure 8. Variations de la résistance à la rupture des composites UPR/perlite < 50  $\mu\text{m}$  en fonction du taux de charge et du traitement de surface.

### 3.2. Densités des composites UPR/perlite

Les figures 9 et 10 représentent les variations de la densité des composites en fonction du taux de perlite, la dimension de ses particules et du traitement de surface. L'incorporation de la perlite, dont la densité est relativement très faible, n'affecte pas celle des composites, ce qui permet d'obtenir des matériaux dont

la densité est comparable à celle de la matrice. Ceci est dû à la contribution de la densité du minéral dans celle du composite et son indépendance de la taille des particules et du traitement de surface. Ainsi, l'ajout de la perlite permet l'élaboration de composites dotés de bonnes performances mécaniques sans porter préjudice à la densité, ce qui est considéré comme un atout en faveur des constituants de ce composite.

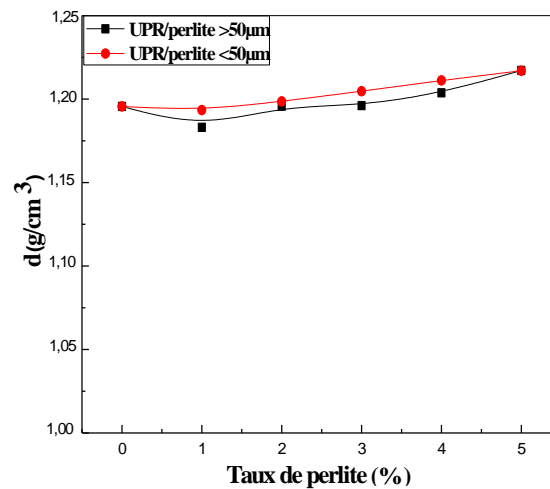


Figure 9. Variations de la densité des composites UPR/perlite en fonction du taux de charge et de la taille des particules.

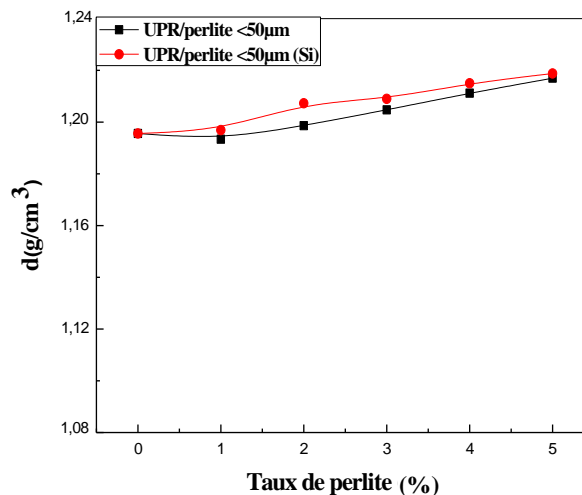


Figure 10. Variations de la densité des composites UPR/perlite < 50 µm en fonction du taux de charge et du traitement de surface.

### 3.3. Etude morphologique de la perlite et des composites UPR/perlite

La figure 11 représente les micrographies électroniques de la perlite non traitée dont les dimensions des particules sont < 50 µm, et ce selon

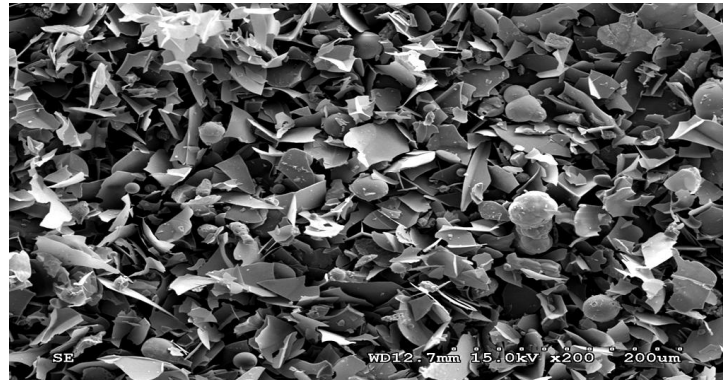
trois différentes échelles d'agrandissement (a) : 200, (b) : 100 et (c) : 50  $\mu\text{m}$ . A première vue, la perlite utilisée se présente sous forme de plaquettes et de particules irrégulières et sphériques de différentes dimensions.

Les particules sous forme de plaquettes et de formes irrégulières semblent être les débris résultant de l'expansion puis l'éclatement des particules sphériques. Ces débris comprennent à la fois des écailles assez minces, résultant de la rupture de la paroi externe, et dont l'épaisseur est variable car fonction du degré d'expansion de la particule sphérique avant l'éclatement (micrographie (a)) ainsi que des particules irrégulières provenant de la subdivision de la masse interne des granules expansés (micrographie (b)). Elles montrent une structure tubulaire et poreuse.

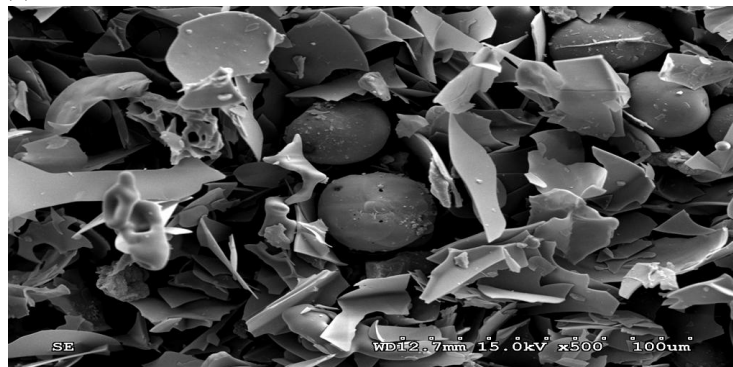
Les particules sphériques présentent différents degré d'expansion et donc aussi divers diamètres (10-45  $\mu\text{m}$ ).

Les formes montrées par les particules irrégulières témoignent de la porosité de la structure interne des particules sphériques de perlite. Ceci est d'autant plus évident que les particules sont plus expansées.

(a)



(b)



(c)

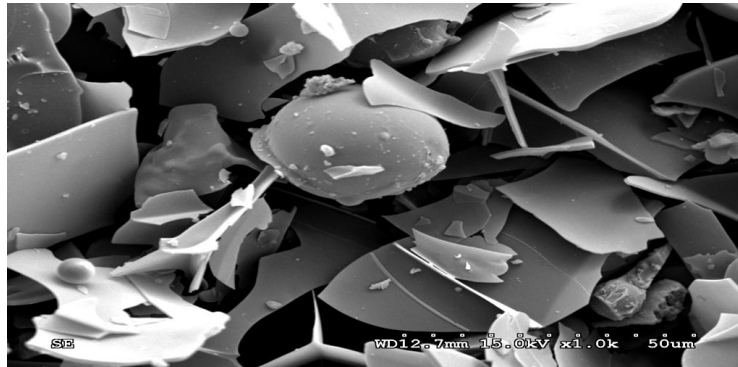
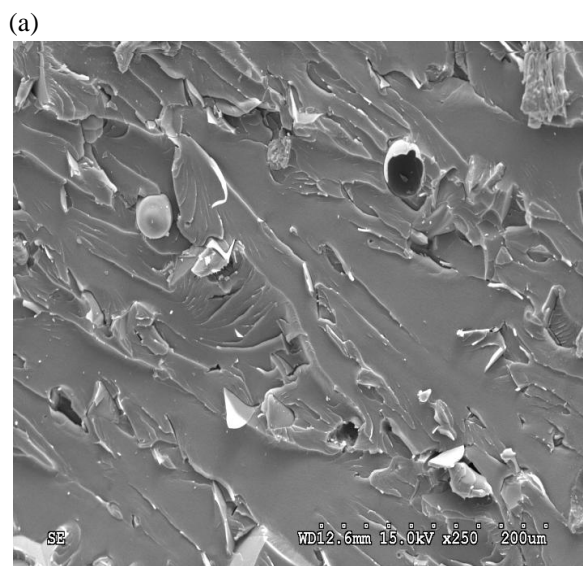


Figure 11. Observations au microscope électronique à balayage de la perlite selon trois différentes échelles d'agrandissement (a) : 200, (b) : 100 et (c) : 50  $\mu\text{m}$ .

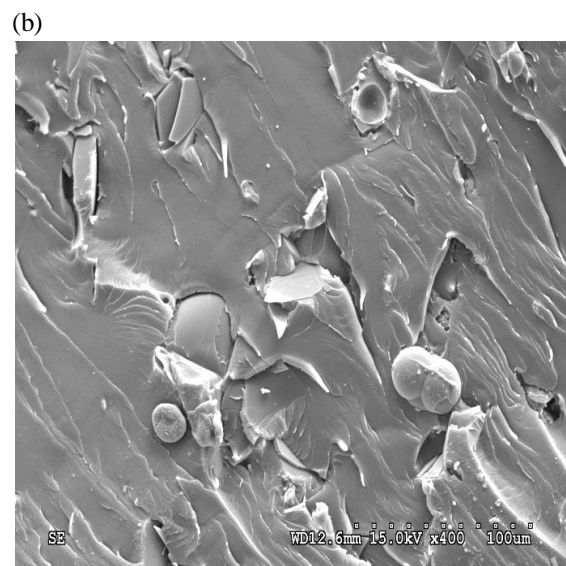
L'observation au MEB de composites UPR/perlite à 4 et 5 % de perlite < 50  $\mu\text{m}$  non traitée a donné les micrographies électroniques représentées dans la figure 12. Les problèmes liés au manque d'affinité des particules de perlite pour la résine UPR sont révélés par la mauvaise adhésion et la présence d'agrégats de charge au sein de la matrice, particulièrement pour le taux de 5 %. Malgré ceci, les particules plaquettaires semblent bien incrustées dans la résine, ce qui a apparemment contribué à la promotion des propriétés mécaniques pour les taux de 3 et 4 %. En effet, les micrographies (a) et (b) montrent une bonne distribution des particules plaquettaires et sphériques. Les plaquettes de perlite sont bien insérées dans la matrice et leur

rupture lors de l'impact suggère qu'elles contribuent efficacement dans la résistance mécanique du matériau. A l'opposé, les particules sphériques sont arrachées durant la sollicitation du fait de leur mauvaise adhérence à la matrice.

D'autre part, les micrographies (c) et (d) du composite à 5 % de charge montrent des agrégats résultant du taux élevé de perlite. Le mauvais mouillage des particules produit des vides initiateurs de la rupture fragile du composite. La faible résistance de ce matériau apparaît aussi suite à une importante contribution du processus d'arrachement des particules sphériques lors de la sollicitation.



(c)



(d)

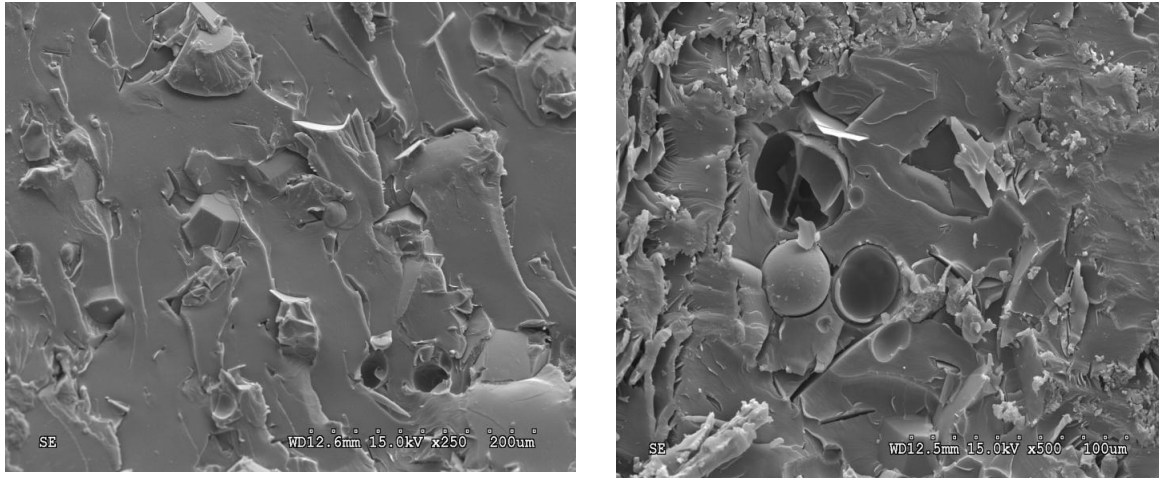


Figure 12. Microphotographies électroniques des composites UPR/perlite < 50 µm non traitée  
(a) et (b) 4 % et (c) et (d) 5 % de perlite.

#### 4. Conclusions

La caractérisation des composites UPR/perlite en fonction du taux de charge, de la taille des particules et de leur traitement de surface par l'agent de couplage silane a permis de dégager certaines conclusions.

Par ailleurs, la caractérisation mécanique (traction, choc et flexion) des composites a permis de constater :

- L'augmentation de la contrainte à la rupture avec l'augmentation du taux de perlite, la diminution de la taille des particules et leur traitement de surface,
- L'augmentation de la résistance à l'impact jusqu'à un taux de charge de 4 %, pour les composites à charge traitée et non traitée
- La promotion de la résistance à la rupture avec le taux de charge et le traitement de surface.

Les observations morphologiques ont montré que les plaquettes de la charge sont bien insérées dans la matrice et contribuent à la résistance mécanique des composites, alors que les particules sphériques exhibent une mauvaise adhérence et sont arrachées lors de la sollicitation.

#### Références

[1] Berlin A. A., Volfson S. A., Enikolopian N. S. and Negmatov S. S., Principles of polymer composites, Springer edition, Berlin (1986).

[2] Jacquinet P., Préparation et moulage par compression des SMC polyester et Phénoliques, Technique de l'ingénieur A 3727, France (1988).

[3] Benmesli S., « Influence des renforts et leur traitement de surface sur les propriétés », Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas Sétif (Algérie), (2007).

[4] Varga C., Miskolczi N., Bartha L. and Lipoczi G., Improving the mechanical properties of glass-fibre-reinforced polyester composites by modification of fibre surface. *Materials and Design*, 31 (1) (2010): 185-193  
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.06.034>

[5] Lee G.-W., Lee N.-J., Jang J., Lee K.-J. and Nam J.-D., Effects of surface modification on the resin-transfer moulding (RTM): of glass-fibre/unsaturated-polyester composites. *Composites Science and Technology*, 62 (1): (2002): 9-16  
[https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(01\)00091-4](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(01)00091-4)

[6] Rot K., Huskic M., Makarovic M., Ljubic T. Mlakar and Zigon M., Interfacial effects in glass fibre composites as a function of unsaturated polyester resin composition. *Composites: Part A*, 32 (2001): 511-516  
[https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(00\)00113-5](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(00)00113-5)

[7] Ferreira J., Errajhi O. and Richardson M., Thermogravimetric analysis of aluminised E-glass fiber reinforced unsaturated polyester composites. *Polymer testing*, 25 (8) (2006): 1091-1094  
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2006.07.012>

[8] Laoubi K., Hamadi Z., Ahmed Benyahia A., Serier A. and Azari Z., Thermal behavior of E-glass fiber-reinforced unsaturated polyester composites. *Composites: Part B*, 56 (2014): 520-526.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.085>

[9] Isa M., Ahmed A., Aderemi B., Taib R. and Mohammed I., Effect of fiber type and combinations on the mechanical, physical and thermal stability properties of polyester hybrid composites. *Composites: Part B*, 52 (2013): 217-223  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.04.018>

[10] Segovia F., Ferrer C., Salvador M. and Amigo V., Influence of processing variables on mechanical characteristics of sunlight aged polyester-glass fibre composites. *Polymer Degradation and Stability*, 71 (2001): 179-  
[https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(00\)00168-3](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(00)00168-3)

[11] Dionysis E., Mouzakis E., H Zoga. and Galiotis C., Accelerated environmental ageing study of polyester/glass fiber reinforced composites (GFRPCs). *Composites: Part B*, 39 (3) (2008): 467-475.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2006.10.004>

[12] Wang Y., Meng J., Zhao Q. and Shuhua Q., Accelerated ageing tests for evaluations of a durability performance of glass-fiber reinforcement polyester composites. *Materials Science and Technology*, 26 (2010): 467.  
[https://doi.org/10.1016/S1005-0302\(10\)60087-4](https://doi.org/10.1016/S1005-0302(10)60087-4)

[13] Monti M., Puglia D., Natali M., Torre L. and Kenny J., Effect of carbon nanofibers on the cure kinetics of unsaturated polyester



- resin: Thermal and chemorheological modelling. *Composites Science and Technology*, 71 (2011): 1507.  
<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2011.06.010>
- [14] Gamstedt E. K., Skrifvars M., Jacobsen T. K. and Pyrz R., Synthesis of unsaturated polyesters for improved interfacial strength in carbon fibre composites. *Composites: Part A*, 3 (2002): 1239.  
[https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(02\)00077-5](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(02)00077-5)
- [15] Vilay V., Mariatti M., Mat Taib R. and Todo M., Effect of fiber surface treatment and fiber loading on the properties of bagasse fiber-reinforced unsaturated polyester composites. *Composites Science and Technology*, 68 (2008): 631.  
<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.10.005>
- [16] Baley C., Busnel F., Grohens Y. and Sire O., Influence of chemical treatments on surface properties and adhesion of flax fibre-polyester resin. *Composites: Part A*, 37 (2006): 1626.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.10.014>
- [17] Alix S., Philippe E., Bessadok A., Lebrun L., Morvan C. and Marais S., Effect of chemical treatments on water sorption and mechanical properties of flax fibres. *Bioresource Technology*, 100 (2009): 4742.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.067>
- [18] Sangthong S., Pongprayoon T. and Yanumet N., Mechanical property improvement of unsaturated polyester composite reinforced with admicellar-treated sisal fibers. *Composites: Part A*, 40 (2009): 687.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.12.004>
- [19] Sreekumar P., Joseph K., Unnikrishnan G. and Thomas S., A comparative study on mechanical properties of sisal-leaf fibre-reinforced polyester composites prepared by resin transfer and compression moulding techniques. *Composites Science and Technology*, 67 (2007): 453.  
<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.08.025>
- [20] Sreekumar P., Selvin P., Saiter J., Joseph K., Unnikrishnan G. and Thomas S., Effect of fiber surface modification on the mechanical and water absorption characteristics of sisal/polyester composites fabricated by resin transfer molding. *Composites: Part A*, 40 (2009): 1777.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.08.013>
- [21] Ratna A. and Mohana K., Mechanical properties of natural fibre reinforced polyester composites: Jowar, sisal and bamboo. *Materials and Design*, 32 (2011): 4658.  
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.03.015>
- [22] Dhakal H., Zhang Z. and Richardson M., Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. *Composites Science and Technology*, 67 (2007): 1674.  
<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.06.019>
- [23] Alexandre M. and Dubois P., Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials, 28 (1-2): (2000)1-63.  
[https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(00\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(00)00012-7)
- [24] Bensadoun F., Kchit N., Billotte C., Trochu F., and Ruiz E., A comparative study of dispersion techniques for nanocomposite made with nanoclays and an unsaturated polyester resin. *Journal of Nanomaterials*, 406087 (2011): 1-12.  
<https://doi.org/10.1155/2011/406087>
- [25] Chieruzzi M., Miliozzi A. and Kenny J., Effects of the nanoparticles on the thermal expansion and mechanical properties of unsaturated polyester/clay nanocomposites. *Composites: Part A*, 45 (2013): 44.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.09.016>
- [26] Suh D. J., Lim Y. T. and Park O. O., The property and formation mechanism of unsaturated polyester-layered silicate nanocomposite depending on the fabrication methods. *Polymer*, 41 (2000): 8557.  
[https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00216-0](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00216-0)
- [27] Morote-Martinez V., Torregrosa-Coque R. and Miguel Martin-Martinez J., Addition of unmodified nanoclay to improve the performance of unsaturated polyester resin coating on natural stone. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 31 (2011): 154.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2010.12.001>
- [28] Ollier R., Rodriguez E. and Alvarez V., Unsaturated polyester/bentonite nanocomposites: Influence of clay modification on final performance. *Composites: Part A*, 48 (2013): 137.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.01.005>
- [29] Xu L. and Lee J., Effect of nanoclay on shrinkage control of low profile unsaturated polyester (UP): resin cured at room temperature. *Polymer*, 45 (2004): 7325.  
<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2004.08.051>
- [30] Fiche technique de la résine (Résine polyester isophtalique): fournie par l'entreprise Maghreb Pipe, Msila-Algérie.
- [31] Calciners and dryers in Mineral industries - Background information for proposed standards, EPA-450/3-85-025a, U. S. Environmental protection agency, research triangle park, NC, October (1985).
- [32] Fiche technique de la perlite, Tlemcen, maghnia.
- [33] Chieruzzi M., Miliozzi A. and Kenny J., Effects of the nanoparticles on the thermal expansion and mechanical properties of unsaturated polyester/clay nanocomposites. *Composites: Part A*, 45 (2013): 44.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.09.016>
- [34] Silverstein R. M., Webster F. X. et Kiemle D. J., Identification spectrométrique de composés organiques'', 7ème édition, édition De Boeck, Université Bruxelles (2007).
- [35] Guessoum M., Nekkaa S., Fenouillot-Rimlinger F. and Haddaoui N., Effects of kaolin surface treatments on the thermomechanical properties and on the degradation of polypropylene. *International Journal of Polymer Science*, Article ID549154, 9(2012).  
<https://doi.org/10.1155/2012/549154>
- [36] Majouli A., Alami Younssi S., Tahiri S., Albizane A., Loukili H. and Belhaj M., Characterization of flat membrane support elaborated from local Moroccan perlite. *Desalination*, 277 (2011): 61.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.04.003>
- [37] Seki Y., Sever K., Sarikanat M., Sakarya A. and Elik E., Effect of huntite mineral on mechanical, thermal and morphological properties of polyester matrix. *Composites: Part B*, 45 (2013): 1534.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.083>
- [38] Chirayil C., Mathewa L., Hassanb P., Mozeticc M. and Thomas S., Rheological behaviour of nanocellulose reinforced unsaturated polyester nanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 69 (2014): 274.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.05.055>
- [39] Lin Chana M., Lau K-tak, Wong T-tat, Ho M-po and Hui D., Mechanism of reinforcement in a nanoclay/polymer composite. *Composites: Part B*, 42 (2011): 1708.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.03.011>
- [40] Madugu I.A., Abdulwahab M. and Aigbodion V.S., Effect of iron fillings on the properties and microstructure of cast fiber-polyester/iron filings particulate composite. *Journal of Alloys and Compounds*, 47 (2009): 807.  
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2008.09.165>
- [41] Jin Park S. and Seong Jin J., Effect of silane coupling agent on interphase and performance of glass fibers/unsaturated polyester composites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 242 (2001): 174. <https://doi.org/10.1006/jcis.2001.7788>
- [42] Hosain Beheshty M., Vafayan M. and Poorabdollah M., Low profile unsaturated polyester resin-clay nanocomposite properties. *Polymer composite*, 629 (2009).  
<https://doi.org/10.1002/pc.20597>

- [43] B.-Wan Jo, Seung-Kook Park, Do-Keun Kim, Mechanical properties of nano-MMT reinforced polymer composite and polymer concrete. *Construction and Building Materials*, 22 (2008): 14. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.02.009>
- [44] Schubel P., Johnson M., Warrior N. and Rudd C., Characterisation of thermoset laminates for cosmetic automotive applications: Part III – Shrinkage control via nanoscale reinforcement. *Composites: Part A*, 37, 1757 (2006). <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.09.014>
- [45] Ngo T. -D., Ton-That M. -T., Hoa S. V., Cole K. C., Preparation and properties of epoxy nanocomposites. Part 2: the effect of dispersion and intercalation/exfoliation of organoclay on mechanical propertie. *Polymer Science Engineering*, 52 (2012): 607. <https://doi.org/10.1002/pen.22123>
-



## Compostage-méthanisation des fermentescibles solides urbains de la commune de Chlef (Algérie)

Naima TAHRAOUI DOUMA<sup>a,\*</sup>, Nacéra CHAOUTI<sup>a,b</sup>, Amina FELLOUH<sup>a,b</sup>, Serge CHAMBON<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup> Laboratoires: Eau et Environnement, université Hassiba Benbouali de Chlef, BP 151 Hay Essalam 02000 Chlef, Algérie. Centre de ressources technologiques pour l'environnement (ODESSOL), Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs de Limoges (ENSIL, 16 rue Atlantis Parc ESTER Technopole 87068 Limoges, France.

<sup>b</sup> Université Hassiba Benbouali de Chlef, BP 151 Hay Essalam 02000 Chlef, Algérie.

<sup>c</sup> Centre de ressources technologiques pour l'environnement (ODESSOL), Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs de Limoges (ENSIL, 16 rue Atlantis Parc ESTER Technopole 87068 Limoges, France.

### Résumé

A Chlef, la gestion des bio-déchets solides urbains se limite à « tout à la décharge contrôlée ou sauvage ». Ces bio-déchets peuvent être traités par compostage-méthanisation. Dans cette optique, deux régimes de températures ont été choisis, le régime mésophile (35 °C) et le régime thermophile (55 °C). Le choix d'un pH neutre, est une valeur optimale indiquant la stabilité et le bon déroulement de la digestion anaérobie. Ainsi qu'un suivi des paramètres du processus de compostage. Les résultats du compostage, montrent que les valeurs de la température (35 °C à 62 °C), du pH (5 à 8), le taux d'humidité (60 % et 40 %) et le pourcentage de la matière organique (74 % à 41 %) montrent le bon déroulement de la fermentation. Le compostage rentre en phase de refroidissement au bout du 60<sup>ème</sup> jour de fermentation. Alors, que les résultats de la méthanisation montrent qu'un substrat dont, le taux en matière organique de 73 % provoque une accumulation d'acides dans le digesteur et un arrêt de la réaction dans des conditions mésophiles. Donc, le mode thermophile est plus approprié pour la dégradation anaérobie des biodéchets bruts. Les tests étaient concluants par l'obtention d'un biogaz inflammable. Les valeurs des rapports AGV/TAC inférieur à 0,1 montrent le bon fonctionnement de la méthanisation. La méthanisation de deux masses du substrat au début et au cours de la phase de refroidissement du compostage permet un gain de temps de séjour, donc un coût moindre en énergie.

Mots-clés : Fermentescibles solides urbains ; Compostage ; Méthanisation ; Compost ; Biogaz.

### Abstract

In Chlef, the management of urban solid bio-waste is limited to "all in controlled landfill or in wild landfill". This bio-waste can be treated by composting-methanization. With this in mind, two temperature regimes were chosen, the mesophilic regime (35°C) and the thermophilic regime (55°C). The choice of a neutral pH is an optimal value indicating the stability and the good progress of the anaerobic digestion. As well as monitoring the parameters of the composting process. The results of the composting process show that the values of temperature (35°C to 62°C), pH (5 to 8), moisture content (60% and 40%) and percentage of organic matter (74% to 41%) indicate that the fermentation process is going well. The composting process enters the cooling phase after 60<sup>th</sup> day of fermentation. While the results of the methanization show that a substrate with an organic matter content of 73% causes an accumulation of acids in the digester and a stop of the reaction in mesophilic conditions. Therefore, the thermophilic mode is more suitable for the anaerobic degradation of raw bio-waste. The tests were conclusive in obtaining a flammable biogas. The values of the VFA (Volatile Fatty Acid)/ACT (Alkalimetric Title) ratios below 0.1 show the good functioning of the anaerobic digestion. The methanization of two masses of substrate at the beginning and during the cooling phase of composting allows a gain in residence time, thus a lower energy cost.

Keywords: Fermentable urban solids; Composting; Methanization; Compost; Biogas.



## 1. Introduction

D'après les travaux de N. Tahraoui Douma [1], une quantité de plus de 160 tonnes de déchets urbains solides sont produites quotidiennement par les habitants de Chlef. La gestion de ces déchets par les autorités locales, se résume à la collecte, le transport et à l'enfouissement dans deux centres deux décharges contrôlées (Oum-Drou et Meknassa), ce qui provoque la génération de grands volumes de lixiviat ainsi que l'émission des gaz à effet de serre. Néanmoins, certaines quantités sont déposées dans des dépotoirs sauvages. Ces déchets contiennent dans les 50 % à 70 % de fermentescibles. L'absence des traitements biologiques (anaérobie et aérobie) de ces quantités importantes, aura un impact direct sur l'environnement et la santé (pollution des sols et de l'atmosphère).

Plusieurs travaux [2-4] ont montré que les fermentescibles peuvent être traités par tri compostage. En tenant compte de la faisabilité du compostage à petite échelle afin d'éviter l'incinération, l'enfouissement des bio-déchets, la mise en place d'un traitement par compostage et/ou par méthanisation doit prouver son intérêt économique, agronomique et écologique. Ce travail se penche sur une contribution de trouver une solution de traitement de ces derniers. Etant donné que les bio-déchets et les composts sont riches en matières organiques [1, 4], il existe une possibilité de produire le biogaz de manière beaucoup plus rentable économiquement et écologiquement.

Le but principal de cette expérience est la vérification de la production de biogaz à partir des fermentescibles à leurs états bruts et les composts produits à partir de ces bio-déchets. La méthanisation est un procédé de diminution de grandes quantités de déchets organiques et un allègement des coûts des autres filières de traitement des déchets.

Cette expérience est basée sur la dégradation aérobie de fermentescibles solides urbains et la fermentation anaérobie en deux régimes de températures (mésophile et thermophile) de plusieurs quantités de substrats pendant la phase mésophile et la phase de refroidissement du processus de compostage (substrat initial, substrat initial + compost).

Selon le pourcentage en matière organique de ces deux substrats différents, l'expérience s'est déroulée en deux parties : par compostage des fermentescibles puis

par méthanisation des substrats et méthanisation de substrats additionnés aux composts.

D'un point de vue économique, les traitements biologiques (compostage et/ou méthanisation) des bio-déchets solides urbains et ruraux, peuvent réduire les coûts de chauffage et des engrais. Et par la suite, une faible nuisance de l'environnement.

## 2. Situation géographique, démographique et socio-économique de Chlef

La wilaya<sup>1</sup> de Chlef est située au nord-ouest de l'Algérie et comptait 1 098 166 habitants en 2022 avec une superficie de 4074 km<sup>2</sup>. La wilaya compte 13 daïras et 35 communes [5]. La commune de Chlef, chef-lieu de wilaya éponyme, est située à 200 km à l'ouest de la capitale Alger. La région de Chlef, appelée pleine du moyen Chelif, dont l'altitude varie entre 100 à 200 m, est caractérisée par un climat semi-aride, présentant une longue période estivale sèche et chaude, avec une saison hivernale, pluvieuse et froide. Elle s'étend sur une superficie de 125,83 km<sup>2</sup>, avec un périmètre urbain qui s'étend sur une superficie de 1793,25 hectares.

La ville compte en outre un nombre d'usines et d'entreprises commerciales, à l'exemple de groupe agroalimentaire, de laiteries des usines d'aliments de bétail, d'entreprises de production et distribution de produits pharmaceutiques et parapharmaceutiques, du secteur étatique, et des zones industrielle et d'activités dont la ZI d'Oued-Sly est la plus importante en regroupant un certains nombre d'usines telles que l'[entreprise des Ciments et Dérivés \(ECDE\)](#)<sup>2</sup>; l'[usine de fabrication et d'installation de groupes Électrogènes \(GMI\)](#)<sup>3</sup>; La [briqueterie \(CTS\)](#)<sup>4</sup>; l'[Entreprise nationale des plastiques et caoutchoucs \(ENPC\)](#)<sup>5</sup> et [NOVER](#)<sup>6</sup>, entreprise spécialisée dans le verre, et un [centre d'incinération des déchets hospitaliers \(GREEN SKY\)](#)<sup>7</sup> [6].

La wilaya a une vocation agricole. Les terres agricoles se localisent essentiellement au nord de la commune (El Quoasmia, Bokâat El Mekhatria, Hay El

<sup>1</sup> Subdivision territoriale

<sup>2</sup> <http://www.ecde.dz>

<sup>3</sup> <https://gmi-groupe.com/>

<sup>4</sup> <http://www.ctsrahmoune.com/>

<sup>5</sup> <https://www.enpc-dz.com>

<sup>6</sup> <https://www.nover-dz.com>

<sup>7</sup> <http://www.greensky.dz>

Ramlia et Tegagra). La superficie agricole totale couvre environ 75 km<sup>2</sup> (7 500 ha) soit 60 % de la superficie de la commune.

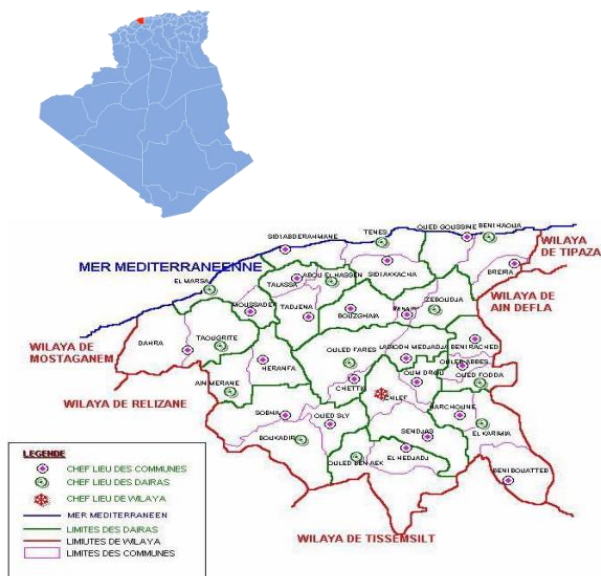


Figure 1 : Situation de la Wilaya de Chlef avec découpage administratif et limites [6]

### 3. Gestion des déchets à Chlef

Plus de 160 tonnes de déchets solides ménagers et autres sont collectés quotidiennement au niveau de la commune de Chlef par les autorités locales. Ces déchets sont transportés par des bennes et directement enfuient dans deux centres d'enfouissements techniques. Elles sont situées aux extrémités de la commune, une à Meknassa qui accueille quotidiennement 140 tonnes de déchet et une autre dans la commune d'Oum Drou [7].

### 4. Résultats et discussions

#### 4.1. Compostage des bio-déchets

##### 4.1.1. Composition physique des fermentescibles

Selon la méthode de caractérisation des ordures ménagères [8], les résultats de la caractérisation physique d'une tonne (en %) de résidus solides urbains de la commune de Chlef sont répertoriés dans le tableau 1.

Tableau 1

Tri par catégorie et sous-catégories des résidus solides urbains de la commune de Chlef.

Zones	Centre-ville	Sud	Est	Nord	Ouest	
Catégories	Sous-catégories	%				
Putrescibles		58,2	64,6	51,8	55	65,9
Papiers		4	4,4	3,7	4	3,6
Cartons		3,4	3,6	6,1	5,1	5,7
Composites		1,5	2,8	1,5	1,2	3,6
Textiles		4,3	3,1	2,2	3	3,2
Textiles sanitaires		4,7	5,7	6,7	8,6	8,3
Plastiques	Films	6,4	7	7,6	5,1	8,6
	Bouteilles en PET	2,2	1,6	4,3	3,2	2,8
	Bouteilles en PVC	1	1	0,1	0	0,4
CNC		1,2	0,3	0,8	1	0,1
Verre		0,9	1,1	3	3,1	0,7
Métaux	Métaux ferreux	2	1,6	1,8	0,9	1
	Métaux non ferreux	0,9	0,6	0,5	0,6	0,8
INC		2	1,5	0,7	0,6	1
Déchets dangereux		0,7	1	0,5	0,4	1,3
Fins (< 20 mm)		8,2	2	1,3	1,7	1,8

CNC : Combustibles Non Classés ;

INC : Incombustibles Non Classés.

#### 4.1.2. Mise en tas des déchets compostables

Les fermentescibles (putrescibles, papiers, cartons, CNC, matière fine) ont été mis en andain trapézoïdale (Figure 2). Il s'agit globalement de putrescibles, de papiers, de cartons, de combustibles non classés et matière fine. L'expérience s'est déroulée au niveau de la plate-forme de compostage de 200 m<sup>2</sup> au niveau de la station expérimentale agronomique de [l'université de Chlef](https://www.univ-chlef.dz)<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> <https://www.univ-chlef.dz>



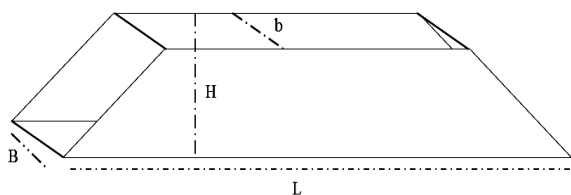


Figure 2 : Forme géométrique de l'andain.

L'andain trapézoïdal possède d'une part une bonne aptitude au stockage de l'eau en cas de sécheresse et d'autre part une bonne aptitude à l'absorption de l'eau en cas de fortes précipitations [9]. Ce type d'andain

Tableau 2

Paramètres de suivis du compostage

<b>T (°C)</b>	La température est retenue comme principal paramètre de suivi de la dégradation aérobie du substrat. La température a été mesurée par un thermomètre à mercure.
<b>pH</b>	Une masse de 10 g des déchets ménagers après séchage tamisé est mélangée à 100 mL d'eau distillée suivant la norme AFNOR NF ISO 10-390 de novembre 1994. Le mélange est homogénéisé pendant une heure d'agitation magnétique. La valeur du pH est mesurée à l'aide d'une électrode de verre combinée à un pH-mètre
<b>% H</b>	100 g de substrat dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures (Equation 1) : $\% H = \frac{M_{\text{initiale}} - M_{\text{finale}}}{M_{\text{initiale}}} \times 100 \quad (1)$
<b>% MO</b>	d'un échantillon de 10 g à 550 °C pendant deux heures (norme NF U 44-160) dans un four à moufle (Equation 2) : $\% MO = \frac{M_{\text{séchée}} - M_{\text{calcinée}}}{M_{\text{séchée}}} \times 100 \quad (2)$
<b>% C Organique</b>	Le carbone organique dans les déchets est estimé à partir de la formule 3 [9] : $\% CO = \frac{\% MO}{2,0} \times 100 \quad (3)$

#### 4.1.4. Evolution de la température

D'après le tableau 3, les résultats montrent que la température atteint 60 °C au bout du 6<sup>ème</sup> jour de fermentation et atteint 62 °C au 16<sup>ème</sup> jour. Cette augmentation montre que les micro-organismes sont en activité, qu'ils oxydent la matière organique des substrats et libèrent ainsi l'énergie contenue dans les liaisons chimiques des molécules constitutives. Une partie de cette énergie est récupérée par le métabolisme

peut être adapté par les pays en voie de développement (PED).

#### 4.1.3. Evolution des différents paramètres physico-chimiques de compostage

Les paramètres physico-chimiques suivis lors de la fermentation sont : la température (T), le pH, le taux d'humidité (% H) et le taux de la matière organique (% MO) (tableau 2).

des liaisons chimiques et l'autre partie étant libérée dans l'atmosphère.

Au bout de la troisième semaine (20<sup>ème</sup> jour), la température diminue pour atteindre 45 °C. Cette diminution se traduit par un processus long de dégradation. La température varie entre 37 et 33 °C jusqu'au 45<sup>ème</sup> jour. Lors de cette phase, les micro-organismes dégradent les matériaux carbonés biodégradables [10]. Il y a dégagement de CO<sub>2</sub> et formation de H<sub>2</sub>O. Cette étape est suivie par une étape de refroidissement (étape lente à partir du 60<sup>ème</sup> jour).

Tableau 3  
Variation de la température du tas parallèlement à la température ambiante.

Temps (jours)	1	2	4	6	16	20	35	40	45	60
Température Andain (°C)	35	35	45	60	62	45	37	34	33,2	31
Température Ambiante (°C)	35	34	34	33	33	30	33	31	33	31

D'après ces résultats, une température supérieure à 55 °C permet l'hygiénisation. Selon Liang *et al.* [11], une température située entre 45 °C et 55 °C favorise la biodégradation et une température entre 35 °C et 40 °C améliore la diversité des micro-organismes.

#### 4.1.5. Evolution du pH

Les résultats de mesures du pH (tableau 4) montrent qu'il est acide (5,20) pendant le premier jour. Cette valeur se traduit par un état non-dégradé des déchets. Au cours du processus, le pH augmente progressivement pour devenir basique au 60<sup>ème</sup> jour.

Tableau 4  
Evolution du pH au cours de la dégradation du substrat.

Temps (jours)	1	2	4	8	16	20	35	40	45	60
pH	5,20	6,55	6,89	7,19	7,39	7,40	7,43	7,77	8,1	8,9

Globalement, les déchets initiaux ont une acidité légèrement plus forte que les composts finis. Mais, beaucoup de travaux [1-3, 10] ont mis en évidence une phase d'acidification au début du compostage. Cette phase d'acidification est principalement due à la production anaérobie d'acides organiques et à l'immobilisation de l'ammonium dans la biomasse microbienne durant la phase mésophile. Ensuite, durant la phase thermophile, les acides organiques sont dégradés entraînant une alcalinisation du compost, phénomène accentué par la minéralisation de l'azote.

Au début du compostage, le taux d'humidité est de 60 % (tableau 5), ce qui explique la masse importante des putrescibles (70 %) déposée dans l'andain. Au cours du compostage, le taux d'humidité baisse durant les premiers jours. L'évaporation de l'eau provoque l'assèchement des déchets. L'humidité est réajustée par arrosage afin de maintenir les conditions favorables au déroulement du processus de compostage. Le taux d'humidité doit être maintenu entre 40 % et 50 % par arrosage de l'andain pendant les premières semaines de la fermentation.

#### 4.1.6. Evolution du taux d'humidité

Tableau 5  
Variation du taux de l'humidité.

Temps (jours)	2	4	8	16	20	35	40	45	60
% H	60	58	56	54,7	46,40	42,43	41,77	40,9	40,1

#### 4.1.7. Evolution du pourcentage de la matière organique

Le taux de la matière organique diminue pendant les premières semaines de fermentation. La majeure partie de cette matière organique volatilisée porte naturellement sur les substances riches en carbone, puisque ce dernier est éliminé sous forme de gaz carbonique. Ces résultats sont conformes avec ceux du carbone organique (tableau 6). La diminution relative de la matière organique (rapport entre la masse de matière organique perdue et la masse de matière

organique initiale) est très variable et dépend des conditions de compostage et de sa durée.

Tableau 6  
Teneur de la matière organique et du carbone organique/Matière Sèche.

Temps (Jours)	% MO/MS	% C <sub>organique</sub> /MS
1	74,45	37,22
2	73,68	36,84
4	72,14	36,07
8	71,41	35,70
16	55,86	27,93
20	51,60	25,80
35	49,60	24,80
40	47,90	23,95
45	45,20	22,60
60	41,20	20,60

## 4.2. Méthanisation

### 4.2.1. Mesure du potentiel méthane ou BMP

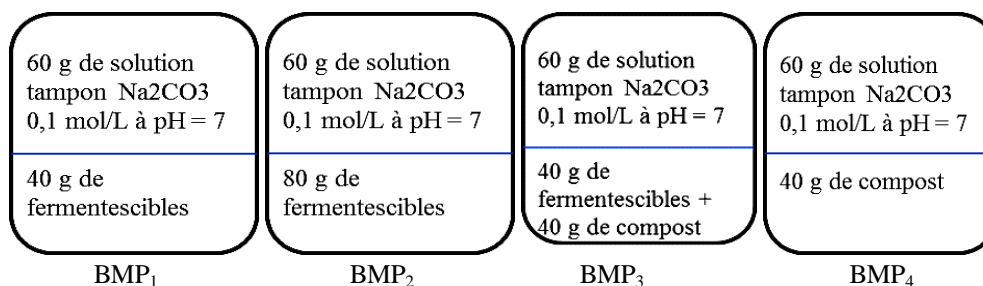


Figure 3 : Différents BMP

Les différents BMP sont placés dans deux étuves à différentes températures (Mésophile (37 °C) et thermophile (55 °C)). Ces BMP sont agités à différents moments pour homogénéiser le substrat. Le volume du

Le test de potentiel méthanogène ou BMP (Biochemical Methane Potential) permet de déterminer la production maximale de biogaz d'un échantillon de biomasse.

Dans ce contexte, deux expériences de méthanisation ont été réalisées avec différentes masses, de déchets ménagers solides et de composts.

Les différents déchets sont pesés et remplis dans des bouteilles dont les bouchons sont munis de manomètres (figure 3). L'étanchéité est prise en compte parce que les différentes bouteilles vont être placées dans des étuves à différentes températures 37 °C et 55 °C. L'ajout d'une solution tampon de carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) à pH=7 permet de maintenir pH constant pendant la décomposition des déchets au cours de leurs dégradations.

biogaz dégagé est estimé par relevé de pression sur chaque BMP (Figure 4).



Figure 4. BMP placés dans des étuves à différentes températures

#### 4.2.2. Caractérisation des substrats initiaux des BMP

Le pH, le taux d'humidité, le taux de la matière sèche, le taux de la matière organique, le taux du carbone et le taux de la matière minérale sont les principaux paramètres des substrats initiaux, qui doivent être mesurés au cours de cette expérience.

##### a. pH

La vitesse de production du biogaz décroît très rapidement en dehors d'une zone de pH située entre 6 et 8. Les bactéries mésophiles et thermophiles ont des domaines de pH de croissance optimale différents. Le pH dans le digesteur se situe entre 7 et 7,5 ce qui correspond aux plages favorables à l'acétogenèse et à la méthanogenèse d'où l'importance de la connaissance du pH des substrats avant la méthanisation.

La valeur du pH a été calculée selon la méthode citée dans le paragraphe 4.3.b. Le pH du compost est de 7,97. Cette valeur explique son état de maturité. Par contre, le PH des fermentescibles est de 5,31 ce qui indique qu'ils sont en état non-dégradés. Les fermentescibles sont essentiellement des fruits, des légumes et de faibles quantités de papiers et de cartons. Ces masses expliquent leurs acidités élevées par rapport au compost qui a une valeur basique (8,9).

##### b. Taux de la matière sèche

La teneur en matière sèche est déterminée selon la norme NF ISO 11465, le taux est calculé par l'équation suivante [12]. Les résultats de mesure de ce paramètre sont répertoriés dans le tableau 7.

Tableau 7  
Pourcentage de la matière sèche.

Substrats	Compost		Fermentescibles	
	BMP 37 °C	BMP 55 °C	BMP 37 °C	BMP 55 °C
% Humidité	54,7	50	79,74	86,32
% Matière Sèche	45,3	50	20,26	13,68

##### c. Taux de la matière organique, carbone organique total et matière minérale

Après 2 heures dans l'incinérateur, on obtient un résidu inorganique sous forme de cendres. La masse du déchet après calcination à 550 °C ( $M_2$ ) est la matière minérale. En conséquence, le poids de la fraction des cendres résiduelles par perte au feu permet de déterminer le pourcentage de la fraction minérale dans le déchet [13]. Le taux de la matière minérale est déterminé selon l'équation 5 :

$$\% M_M = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (4)$$

Les résultats des mesures du taux de la matière organique sont classés dans le tableau 8

Tableau 8  
Taux de la MO/MS, % COT/MS et %MM/MS des différents substrats.

Substrats	Compost		Fermentescibles	
	BMP 37 °C	BMP 55 °C	BMP 37 °C	BMP 55 °C
% MO/MS	55,86	41,6	73	72,75
% COT/MS	27,93	20,8	36,5	36,38
% MM/MS	44,14	58,4	27	27,25

Une charge organique trop importante peut provoquer une accumulation d'acides dans le digesteur et un arrêt de la réaction (l'acétogenèse ne pourra pas

suivre le rythme de l'acidogénèse qui sera richement nourrie en matière). A l'inverse, une charge trop faible ne permettra pas aux bactéries de se développer correctement [14]. D'après les teneurs de la matière organiques des différents substrats initiaux (mis dans le même volume), les composts produisent beaucoup plus de biogaz par rapport aux fermentescibles.

#### 4.2.3. Production du biogaz

Le volume du biogaz dégagé est estimé par relevé de la pression sur chaque BMP. La pression est prélevée chaque jour pendant le temps de séjour.

#### a. Production du biogaz dans les BMP à 37 °C

Au cours de la digestion anaérobie, la production journalière du biogaz ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , petites quantités en  $\text{NH}_3$  et  $\text{H}_2\text{S}$ ) est supérieure à 10 mL dans tous les BMP. On remarque également que dans le BMP<sub>1</sub>, la production du gaz oscille entre 10 et 50 mL, alors que dans le BMP<sub>2</sub>, le volume atteint 120 mL au 10<sup>ème</sup> jour. Ces différences dans le volume de biogaz peuvent s'expliquer, d'une part, par la différence de la quantité des fermentescibles (40 g et 80 g) et d'autre part, par la charge organique qui dépasse 70 % (Figures 5 et 6).

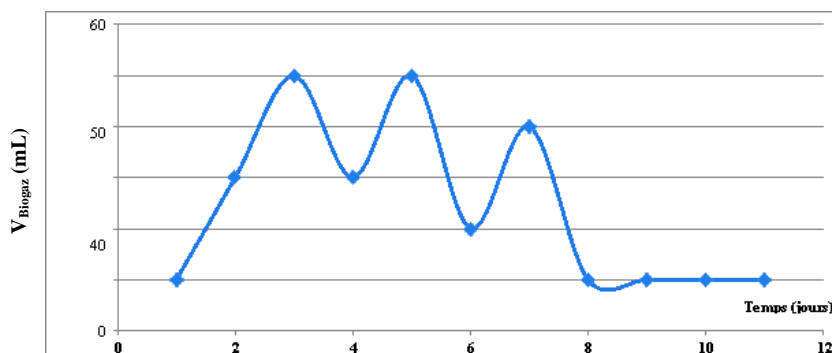


Figure 5. Production du biogaz dans le BMP<sub>1</sub>.

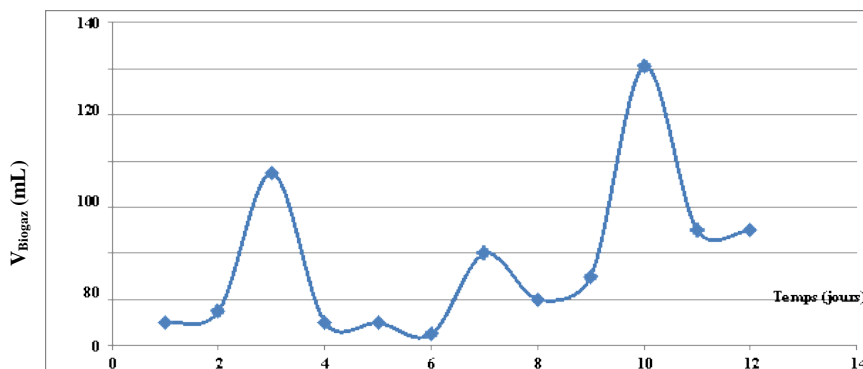
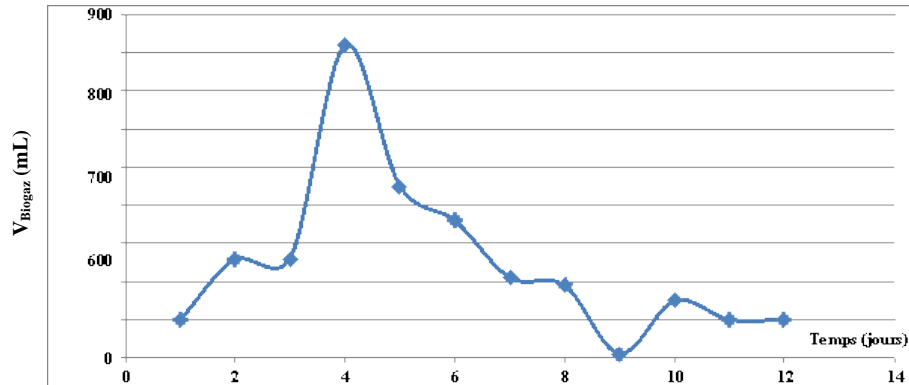
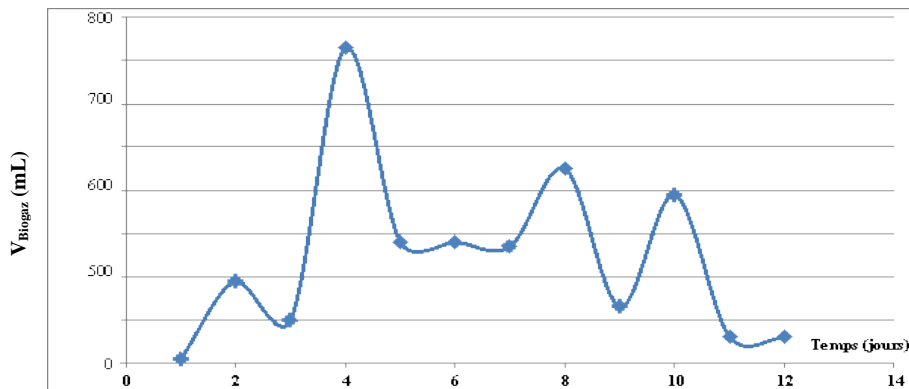


Figure 6. Production du biogaz dans le BMP<sub>2</sub>.

Dans le BMP<sub>3</sub>, le volume du biogaz atteint 100 mL à partir du 1<sup>er</sup> jour de la digestion. Il augmente pour atteindre 820 mL au 4<sup>ème</sup> jour de la digestion. Par contre dans le BMP<sub>4</sub>, le volume du biogaz est de 190 mL à

partir du 2<sup>ème</sup> jour de la digestion. Le volume augmente brusquement pour atteindre 730 mL au 4<sup>ème</sup> jour de la digestion. Ce taux de production diminue et reste autour de 150 mL et 100 mL (Figures 7 et 8).

Figure 7. Production du biogaz dans le BMP<sub>3</sub>.Figure 8. Production du biogaz dans le BMP<sub>4</sub>.

D'après les résultats, les fermentescibles présentent une teneur importante en humidité et en matière organique (80 % et 70 %). Un pH neutre, une valeur idéale pour une gestion anaérobie. Cette valeur indique la stabilité et le bon déroulement du phénomène. Si le pH n'est pas ajusté à 7, il résulte une acidification du milieu par accumulation d'acides gras volatils. Cette acidification bloque la production de méthane. Une température de 37 °C (mésophile) est une température idéale pour la production du biogaz, la vitesse de croissance des micro-organismes et la performance de la dégradation du substrat [15].

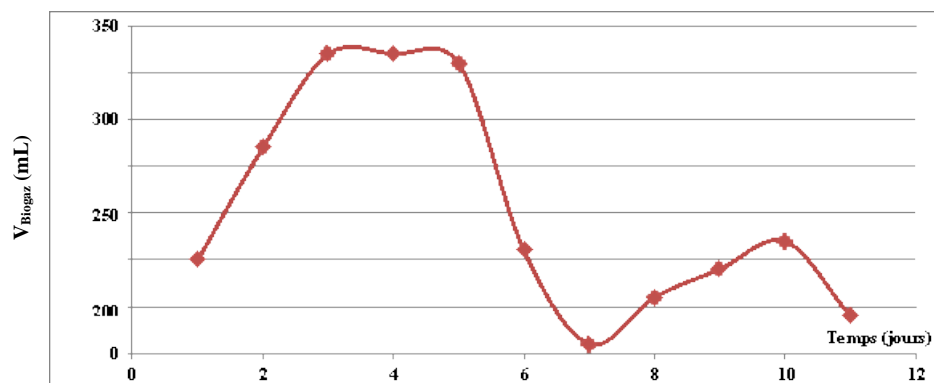
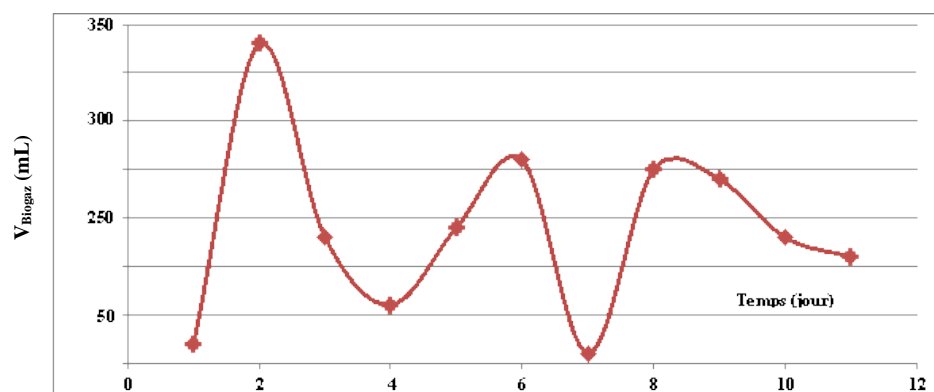
D'après les résultats, on remarque que dans les mêmes conditions de température et pH, le compost produit beaucoup plus de biogaz par rapport aux fermentescibles. Ce constat montre qu'il faut une hygiénisation du substrat (casser la matière organique) avant la méthanisation, c'est-à-dire un prétraitement des

déchets. Ce traitement vise à augmenter l'efficacité de la phase d'hydrolyse. Donc, une température de 37 °C est plus favorable pour la méthanisation de substrats plus stables (compost dans la phase mésophile). C'est le mode le plus utilisé, à cause de la stabilité et la bonne production du biogaz [16]. Le temps de séjour moyen est de trois semaines [17].

#### b. Production du biogaz dans les BMP à 55 °C

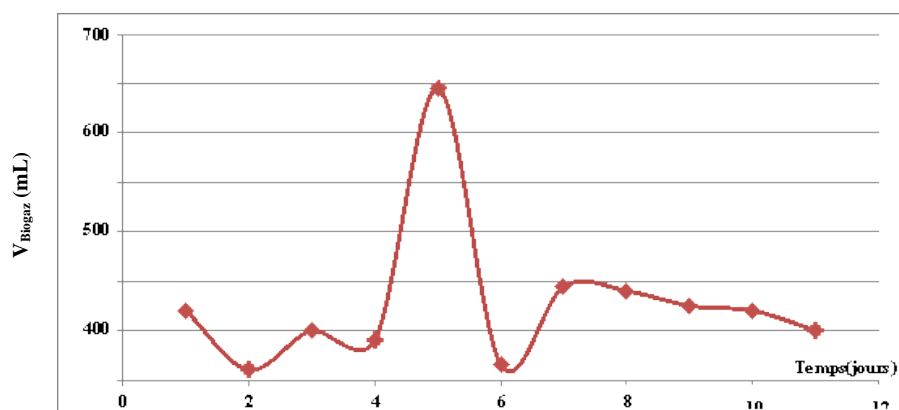
Les résultats montrent qu'il y a une variation du volume de biogaz dans les deux digesteurs (BMP<sub>1</sub> et BMP<sub>2</sub>). Sauf que, dans le BMP<sub>1</sub>, le volume du gaz est constant entre le 1<sup>er</sup> et le 5<sup>ème</sup> jour de la digestion. Par contre, dans le BMP<sub>2</sub>, le volume du biogaz atteint plus de 300 mL le deuxième jour de la dégradation (Figures 9 et 10).

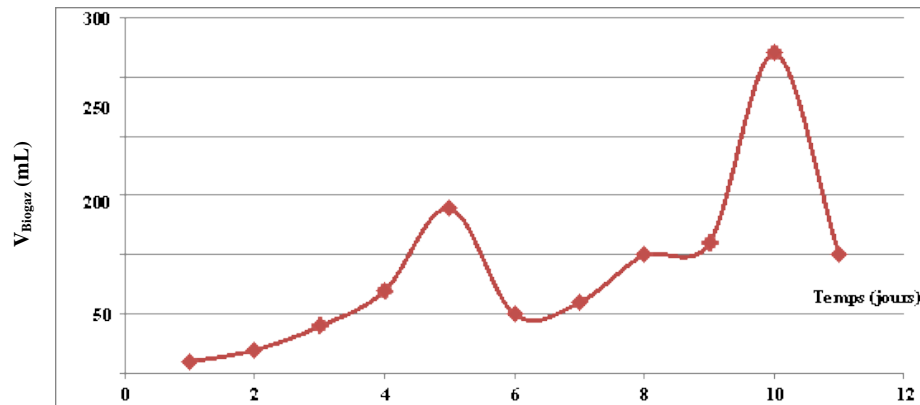


Figure 9. Production de biogaz dans le BMP<sub>1</sub>.Figure 10. Production de biogaz dans le BMP<sub>2</sub>.

Dans le BMP<sub>3</sub>, le volume du biogaz atteint 600 mL à partir du 5<sup>ème</sup> jour de la digestion. Il diminue pour atteindre 200 mL au cours de la 2<sup>ème</sup> semaine de la

digestion. Par contre dans le BMP<sub>4</sub>, le volume du biogaz oscille entre 150 et 260 mL pendant la deuxième semaine de la dégradation (Figures 11 et 12).

Figure 11. Production de biogaz dans le BMP<sub>3</sub>.

Figure 12. Production de biogaz dans le BMP<sub>4</sub>.

D'après les résultats, on remarque une diminution de biogaz dans les trois premiers BMP au cours de la 2<sup>ème</sup> semaine de la dégradation. Ce constat serait dû à la présence d'un grand volume de NH<sub>3</sub> et de H<sub>2</sub>S. Ces deux gaz au-delà de quelques grammes par litre peuvent inhiber la phase méthanogène et de la digestion anaérobie. D'après Bernet et Buffiere [15], ces deux gaz peuvent être causés par un apport élevé de matières riches en protéines (viande et déchets agroalimentaires).

D'après les résultats (figures 9 et 10), le mode thermophile est plus efficace avec la dégradation anaérobie des déchets urbains solides. Une température élevée améliore la vitesse de l'hydrolyse et une meilleure dégradation par rapport au mode mésophile. Le temps de séjours moyen pour les systèmes thermophiles, varie entre 10 et 15 jours [17].

#### 4.2.4. Test d'inflammabilité du biogaz

A chaque essai de production de biogaz, ce dernier est retiré à l'aide d'une seringue et est soumis à une flamme discontinue à l'aide d'un briquet.

La qualité et la valorisation du biogaz sont très importantes dans la méthanisation. La concentration de méthane se situe entre 50 et 70 %. Cette dernière étant la valeur la plus fréquemment rapportée. En plus du méthane, l'autre gaz principal formé est le CO<sub>2</sub>. Les gaz présents en faibles concentrations sont le H<sub>2</sub>S, le NH<sub>3</sub> et de la vapeur d'eau.

Au cours de cette expérience, la seule utilisation qui était envisageable est de brûler le biogaz produit au cours de la digestion anaérobie (tableaux 9 et 10).

Tableau 9  
Tests d'inflammabilité du biogaz à 37 °C.

Temps (J)	Inflammabilité du biogaz			
	BMP <sub>1</sub>	BMP <sub>2</sub>	BMP <sub>3</sub>	BMP <sub>4</sub>
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	+
9	-	-	-	+
10	-	-	-	+
11	-	-	-	+

Tableau 10  
Tests d'inflammabilité du biogaz à 55 °C.

Temps (J)	Inflammabilité du biogaz			
	BMP <sub>1</sub>	BMP <sub>2</sub>	BMP <sub>3</sub>	BMP <sub>4</sub>
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	+
7	-	-	-	+
8	-	-	-	+
9	-	-	-	+
10	+	+	+	+
11	+	+	+	+

En premier lieu, cette solution est envisageable, si on veut un traitement et une stabilité de la matière putrescible. La destruction du méthane est importante à cause de la puissance de réchauffement climatique du méthane comme gaz à effet de serre.

Deuxièmement, la méthanisation procure une création nette d'énergie grâce au biogaz. Ce gaz peut être transformé en électricité ou en chaleur. Aussi, il peut être converti en gaz naturel. De cette façon, en profitant de ce traitement clos des matières organiques, une source locale d'énergie renouvelable, pérenne et propre est produite à partir de matières antérieurement considérées comme « déchets ».

#### 4.2.5. Concentrations des Acides gras Volatils (AGV) et des Titres d'Alcalimétriques (TAC) au cours des deux modes [18]

##### a. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

Le titre alcalimétrique complet permet de connaître les doses de carbonates d'hydroxydes et d'hydrogencarbonates alcalins ou alcalino-terreux, responsables du pouvoir tampon du fermenteur vis-à-vis des acides organiques et acides gras volatils. Cette alcalinité permet au pH de rester aux alentours de la neutralité malgré la présence d'acides [18].

Pour déterminer le TAC, un échantillon est prélevé des BMP à la fin du processus de la méthanisation. Ce dernier est centrifugé pendant 15 minutes. Après centrifugation, le pH de l'échantillon est mesuré, soit un volume de 6 mL. L'ajout de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) 0.1 N jusqu'à un volume V, permet d'obtenir une solution de pH = 4. Le TAC est calculé par l'équation 5 :

$$TAG = V \times 16,666 \times 12 \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} \quad (5)$$

##### b. Détermination des acides gras volatils (AGV)

Le contrôle des acides gras volatils, stade intermédiaire obligatoire de la digestion anaérobie, est indispensable. Leur accumulation traduit un ralentissement de l'activité des bactéries méthanogènes et peut provoquer le blocage du processus fermentable, raison pour laquelle le suivi de la concentration des AGV lors de la digestion devient très important [19].

Pour déterminer la concentration totale en acides gras volatils, l'acide sulfurique est ajouté à un échantillon ( $V_{\text{échantillon}}$ ) prélevé des BMP après le processus de la méthanisation, jusqu'à une valeur de pH = 3,5. Par la suite, le liquide est chauffé jusqu'à

ébullition, pendant 3 minutes, de manière à dégazer le dioxyde de carbone. La solution est ensuite refroidie à la température ambiante ; après le refroidissement et à l'aide d'une burette, la soude (NaOH) 0.01 N est ajoutée jusqu'à une valeur de pH = 4 jusqu'à un volume  $V_2$ . Puis on continue jusqu'à une valeur de pH = 7 avec un volume  $V_3$ . La valeur des AGV est calculée par l'équation 6 :

$$AGV = (V_3 - V_2) \times 0,1 \times 1000 / V_{\text{échantillon}} \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} \quad (6)$$

#### 4.2.6. Concentrations des TAG et des AVG pendant le mode mésophile

Les résultats montrent une variation dans les concentrations des AGV et le TAC (tableau 11).

Tableau 11  
Concentrations des acides gras volatils et des titres alcalimétriques à 37 °C.

Digesteur	TAC (mg.L <sup>-1</sup> )	AGV (mg.L <sup>-1</sup> )	AGV/TAC
BMP <sub>1</sub>	519,97	69	0,13
BMP <sub>2</sub>	359,98	30,41	0,08
BMP <sub>3</sub>	299,97	30	0,10
BMP <sub>4</sub>	100,99	56,66	0,005

Le rapport entre les AGV et les titres alcalimétriques (TAC) a été reporté comme étant un paramètre important pour le contrôle de la stabilité des systèmes. Il existe trois valeurs du rapport AGV/TAC [20] :

- AGV/TAC = 0,1 : fonctionnement normal ;
- AGV/TAC = 0,5 : début de dysfonctionnement ;
- AGV/TAC = 1 : blocage du système.

Des valeurs du rapport AGV/TAC des différents BMP on constate un fonctionnement assez optimal du processus de biodégradation au cours de la digestion anaérobie.

#### 4.2.7. Concentrations des TAG et des AVG pendant le mode thermophile

En mode thermophile, les résultats sont répertoriés dans le tableau 12.

La méthanisation commence par une phase d'acidogénèse au cours de laquelle la matière organique est d'abord hydrolysée. Les longues chaînes polymères des glucides, lipides et protéines sont décomposées en fragments plus petits qui seront eux-mêmes transformés

au cours d'une phase d'acidification. Il y a alors formation d'acides gras à chaînes courtes tels que l'acide acétique, l'acide propénoïque ou l'acide butyrique. Si la quantité de la biomasse apportée est excessive, cette phase peut aboutir à une formation trop importante d'acides gras volatils.

Tableau 12  
Concentrations des acides gras volatils et des titres alcalimétriques à 55 °C.

Digesteur	TAC (mg.L <sup>-1</sup> )	AGV (mg.L <sup>-1</sup> )	AGV/TAC
BMP <sub>1</sub>	569,97	73,33	0,12
BMP <sub>2</sub>	379,98	33,16	0,08
PMB <sub>3</sub>	315,98	30	0,09
PMB <sub>4</sub>	200,98	21,66	0,10

Les valeurs des AGV dans les BMP confirment la théorie. Dans le BMP<sub>1</sub>, une forte concentration en matière organique donne une concentration élevée en AGV.

## 5. Conclusion

La méthanisation est une digestion anaérobie, ou fermentation méthanique, qui transforme la matière organique en méthane (CH<sub>4</sub>), gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et un digestat par un écosystème microbien complexe fonctionnant en absence d'oxygène.

La méthanisation des ordures ménagères solides et de leurs composts a permis de mettre en évidence les points suivants :

- La température est un des paramètres importants de la digestion anaérobie. En effet, la vitesse des réactions qui intervient augmente avec la température. Donc, une température thermophile est préconisée pour les bio-déchets ;
- Deux régimes de températures sont souvent considérés : le régime mésophile et le régime thermophile et sont de ce fait sont les plus utilisés. La fermentation mésophile se déroule dans des gammes de températures comprises entre 35 °C et 45 °C.

Le régime mésophile assure une vitesse constante et une bonne stabilité de la digestion anaérobie et le régime thermophile permet une meilleure hygiénisation du digestat tout en assurant une amélioration de la phase d'hydrolyse par comparaison avec la digestion mésophile. De plus, il permet une élimination d'agents

pathogènes et une meilleure vitesse de dégradation du substrat et de production de biogaz. Cependant, le fonctionnement thermophile est réputé moins stable qu'en mésophile ;

- Le choix d'un pH neutre (pH 7), est une valeur optimale indiquant la stabilité et le bon déroulement de la digestion anaérobie ;
- Une charge organique trop importante peut provoquer une accumulation d'acides dans le digesteur et un arrêt de la réaction dans des conditions mésophiles. Donc, le mode thermophile est plus approprié pour la dégradation anaérobie des bio-déchets dans leur état brute ;
- Des valeurs des rapports AGV/TAC qui ne dépassent pas la valeur 0,1 au cours de la digestion favorisent le bon fonctionnement de la méthanisation.

Selon cette étude expérimentale, les déchets compostables et/ou méthanisables de la commune de Chlef sont estimés à 31 755 tonnes/an, alors que, ceux de la wilaya sont de 200 385 tonnes/an.

Le compost produit est estimé dans la commune de Chlef à 8 680 tonnes/an et celui produit dans la wilaya est estimé à 54 772 tonnes/an. Selon le marché algérien, le prix d'un sac de 20 kg oscille entre 515 DA et 574 DA.

En tenant compte des résultats de cette expérience à l'échelle laboratoire, la digestion anaérobie des fermentescibles solides urbains constitue a priori une solution adéquate pour alléger la poubelle de 50 à 80 % (selon la saison) et par la suite minimiser la pollution de l'air, du sol et de l'eau.

L'optimisation d'un digesteur à l'échelle industrielle pour un traitement de grande quantité de déchets à Chlef et la caractérisation physico-chimique du digestat sont des perspectives d'une étude comparative à ce travail.

## Références

- [1] Tahraoui-Douma N., (2013). « Valorisation par compostage des déchets solides urbains de la commune de Chlef, Algérie ». Thèse d'état en science, 2013. Université de Limoges, France. HTML : <http://www.secheresse.info/spip.php?article32280> (consulté le 16/04/2013)
- [2] BOUHADIBA B., AISSANI N., MEKKAKIA-MEHDI M., LOUNIS Z. et GUETARNI I. HM., (2022). « Perspectives conceptuelles et méthodologiques pour la mise en œuvre de la gestion des déchets ménagers et assimilés dans la ville d'Oran (Algérie) ». Oran 2 University Journal. Disponible en ligne :

- <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/705/7/2/205717>  
(consulté le 11/02/2023)
- [3] MEZOUARI F., (2011). « *Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux* » Thèse en 2011. Université de l'EPAU à Elharch en Algérie et Université de Limoges. Disponible sur : <http://aurore.unilim.fr/ori-oai-search/notice/view/unilim-ori-28483> (consulté le 17/01/2023)
- [4] KOLEDZI E., BABA G., FEUILLADE G et MATEJKA G., Caractérisation physique des déchets solides urbains à Lomé au Togo, dans la perspective du compostage décentralisé dans les quartiers. Revue francophone d'écologie industrielle : Environnement, Ingénierie & Développement, 59 (2011) : 14-22. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.2851>
- [5] <https://www.dcw-chlef.dz/fr/index.php/wil34?showall=1&limitstart> (consulté le 19/01/2023)
- [6] ANIREF : Monographie de la wilaya de Chlef <https://www.aniref.dz/DocumentsPDF/monographies/MONOGRAPHIE%20WILAYA%20Chlef.pdf> (consulté le 10/04/2023)
- [7] Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement. <https://www.mh.gov.dz/?p=1037> (consulté le 15/09/2017)
- [8] MODECOM (1993). Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères/ 2ème édition, ADEME éditions Angers, Paris, 64 pages
- [9] GROSSMANN J., (2003). « *Mesures d'urgences pour une remise à niveau de la station de compostage de Blida* » Rapport de la coopération technique Algéro-allemand entre le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) et la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (Entreprise de coopération internationale pour le développement durable) - Programme Gestion de l'Environnement. Mars 2003. 56p.
- [10] AFNOR, (2005). « Norme NF XP X30-466 – Déchets ménagers et assimilés – Méthodes de caractérisation- Analyse sur produit sec, norme expérimentale, Mars 2005 ».
- [11] WAKSMAN S.A., CORDAN T.C & HULPOIN N., Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in compost of stable manure soil. Soil science, 47 (1939): 83-114. <https://doi.org/10.1097/00010694-193902000-00001>
- [12] LIANG C., DAS K.C. & MCLENDON R.W., The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a solids composting blend. Bioresource Technology, 86 (2003) : 131-137. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(02\)00153-0](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00153-0)
- [13] BOLLON JULIEN., (2012). « *Etude des mécanismes physiques et de leur influence sur la cinétique de méthanisation en voie sèche: essais expérimentaux et modélisation* ». [Thèse]. INSA de Lyon, France. <https://theses.hal.science/tel-00770658/document> (consulte le 19/01/2023)
- [14] APHA (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC.
- [15] MOLETTA R., (2008). « Technologie de la méthanisation de la biomasse ». Déchets ménagers et agricoles. In Moletta R. La méthanisation (chapitre 8, P. 181-204) Paris, Edition Tec et Doc.
- [16] BERNET N. et BUFFIERE P., (2008). « Caractérisation de la mise en œuvre de la méthanisation. In Moletta R. La méthanisation (chapitre 4, p. 87-113). Paris, Edition Tec et Doc.
- [17] OSTREM K., (2004). "Greening Waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes". Mémoire de maîtrise. Columbia University, New York. Disponible sur : <https://gwccouncil.org/category/publications/theses/2004/> (consulte le 24/03/2023)
- [18] ADEME., (2003). « Réalisation d'un référentiel technique et économique d'unités de traitement de déchets organique par méthanisation avec et sans valorisation du biogaz ».
- [19] SOW A., (1990). « *Contribution à la conduite de la méthanisation dans des bioréacteurs à film mix fonctionnant à forts taux de charge* ». [Thèse], Ecole Centrale de Paris.
- [20] BERTHE C., REDON E. et FEUILLADE G. (2006). Fractionation of the organic matter contained in leachate resulting from two modes of landfilling leachate recirculation and mechanical and biological pre-treatment. Proc. of 4<sup>th</sup> International Landfill Research Symposium, Lulea University, p. 242. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.022>
- [21] MANUEL RODRIGUEZ S., (2005) « *Etude d'un bioréacteur anaérobie à membranes immergées pour le traitement des eaux résiduaires* ». [Thèse], Toulouse : INSA. Disponible en ligne. <https://core.ac.uk/download/pdf/35285176.pdf> (consulte le 27/03/2023)



# Effet de l'incorporation de la farine d'épluchures de manioc sur la composition physico-chimique et nutritionnelle des œufs de poule "ISA BROWN"

Adam Camille KOUAME\*, Kouabena KREMAN, Kouakou Eugène KOUADIO, Kalo Laciné BAMBA, Gougoua Severin KOUADJA

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Direction régionale de Bouaké, 01 BP 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

## Résumé

La substitution du maïs dans l'alimentation de volaille par l'incorporation de la farine de manioc vise surtout à réduire le coût de production de l'aliment tout en couvrant l'ensemble des besoins nutritionnels des poules. Cette étude met en évidence la composition nutritionnelle des œufs de poules nourries avec un aliment contenant de la farine d'épluchures de manioc. Il s'agit surtout, d'évaluer les effets de l'incorporation de la farine d'épluchures de manioc à des taux croissants sur la valeur nutritionnelle des œufs de poules, puis de rechercher la présence d'acide cyanhydrique dans ces œufs. La farine est incorporée à des taux de 0 % ; 10 % ; 20 % et 30 % respectivement dans les aliments pour poulets. Des analyses proximales sont réalisées sur 30 œufs issus de chaque aliment. Les résultats obtenus montrent que les œufs contiennent (7,7 à 8,4 g/100g) de lipides, (11,87 à 12,8 g/100g) de protéines, (2,2 à 2,8 g/100g) de glucides, (0,3 à 0,4 g/100g) de fibres et (0,83 à 0,89 g/100g) de cendres. Ces teneurs sont similaires à celles des œufs de poules en général quel que soit le niveau d'incorporation, et les teneurs en acide cyanhydrique y sont quasiment nulles.

Mots-clés : Acide cyanhydrique ; Alimentation de volaille ; Composition nutritionnelle des œufs ; Farine d'épluchure de manioc ; Poule ISA BROWN.

*Effect of incorporating cassava peel flour on the physico-chemical and nutritional quality of hens' eggs "ISA BROWN"*

## Abstract

The substitution of maize in poultry feed by the incorporation of cassava peel meal is mainly aimed at reducing the production cost of the feed while covering all the nutritional requirements of the hens. This study highlights the nutritional composition of eggs from hens fed a feed containing cassava peel meal. Specifically, the effects of incorporating cassava peel meal at increasing rates on the nutritional value of the hens' eggs were assessed, and subsequently, the presence of hydrocyanic acid in these eggs from the peel was investigated. The meal is incorporated at rates of 0 %, 10 %, 20 % and 30% respectively into chicken feeds. Proximal analyses are performed on 30 eggs from each feed. These eggs contained (7.7-8.4 g/100g) fat, (11.87-12.8 g/100g) protein, (2.2-2.8 g/100g) carbohydrate, (0.3-0.4 g/100g) fiber and (0.83-0.89 g/100g) ash. These contents are similar to those of chicken eggs in general, regardless of the level of incorporation, and the hydrocyanic acid content is almost zero.

Keywords: Hydrocyanic acid; Poultry feed; Nutritional composition of eggs; Cassava peel flour; Hens' eggs "ISA BROWN"

## 1. Introduction

L'œuf de poule est un produit alimentaire de haute valeur nutritionnelle [1]. Sa part comestible représente 91 % de l'œuf entier, et contient des lipides (8,8-11,9 g) très digestibles qui sont essentiellement contenus dans le jaune, des protéines (11,8-13,3 g) de hautes valeurs biologiques, des glucides (0,3 – 0,8 g) extrêmement pauvres en sucres simples, des vitamines, des minéraux et des oligo-éléments essentiels [2]. C'est

aussi un produit contenant peu de calories (140 Kcal/100 g) [3]. La haute valeur biologique des protéines de l'œuf de volaille se traduit par des protéines parfaitement équilibrées, riches en acides aminés essentiels et dans des proportions qui répondent aux besoins nutritionnels de l'Homme [2]. Ces protéines sont très digestibles, ce qui les rapproche de la protéine parfaite pour l'Homme [1].

L'œuf est aussi une source importante de nombreuses vitamines (A, B5, B12, B2, Folate) à





l'exception de la vitamine C. Il est également une source minérale pour sa teneur en phosphore (173 – 255 mg), Sélénium (5,6 – 50 µg), Calcium (40 – 93 mg) et en Zinc (0,8 – 2 mg).

Sur le plan nutritionnel, l'œuf, et plus particulièrement l'œuf de poule, se caractérise par le maintien de ses constituants majeurs que sont les lipides, les protéines et les macro-minéraux avec une variation n'excédant pas 12 % [2]. Il présente par contre, une variabilité importante en ce qui concerne les teneurs en acides gras saturés et insaturés. C'est également le cas au niveau des composantes mineures que sont les vitamines et les oligoéléments. Cette variabilité offre de nombreuses possibilités d'enrichissement de l'œuf en acides gras et oméga 3 et 6 grâce à des apports sous forme de supplémentation, d'incorporation de matières nouvelles ou encore de substitution de matières premières dans l'alimentation de la poule pondeuse [4, 5]. Plusieurs études se sont intéressées à des aspects similaires [3, 6, 7], c'est d'ailleurs le cas des travaux menés par Baeza *et al.* [8], ayant permis d'augmenter la teneur en acides gras n-3 des œufs, sans altérer leurs propriétés sensorielles et/ou technologiques, ni les performances de ponte des poules *via* la supplémentation d'huile de graines de lin à 4 % dans le régime alimentaire des poules pondeuses.

Outre l'amélioration de la composition biochimique des œufs de poule, les nouvelles formulations apportées dans l'aliment pour volaille visent surtout la réduction du coût de production de l'aliment tout en couvrant l'ensemble des besoins nutritionnels des poules. C'est le cas de l'utilisation des sous-produits du manioc chez la volaille [9-11]. Si l'influence de la farine d'épluchures de manioc, un sous-produit, sur les performances zootechniques et économiques du poulet ait été démontrée [11], son impact sur la composition physico-chimique des œufs de poules pondeuses reste non élucidé. D'autant plus que, certaines variétés de manioc qui font l'objet de valorisation en alimentation animale sont des plantes cyanogéniques (c'est-à-dire, produisant des composés qui libèrent du cyanure). Ces variétés renferment de fortes concentrations en glucosides cyanogéniques qui doivent donc être détoxifiées [12]. Des analyses biochimiques s'avèrent nécessaires afin de vérifier que les poules pondeuses consommant un aliment incorporé de farine d'épluchures de manioc

pondent des œufs contenant ce type de composés cyanogéniques.

Dans ce contexte, cette étude vise à déterminer la composition physico chimique des œufs de poules de souche ISA BROWN nourries avec un aliment contenant de la farine d'épluchures de manioc, tout en évaluant les effets de cette incorporation sur la valeur nutritionnelle de ces œufs *via* la recherche de l'acide cyanhydrique.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Site de l'étude

Cette étude a été menée dans le cadre du Programme de recherche sur les Productions d'élevage à la Station de Recherche sur les Cultures Vivrières du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA)<sup>1</sup> à Bouaké en Côte d'Ivoire. Ce site est situé à 7°40'41'' de latitude Nord-Sud, 5°05'57'' de longitude Est-Ouest, dans la zone agro-écologique forestière de transition où le climat est de type tropical, avec une pluviométrie moyenne de 1373 mm et une température moyenne de 26,2 °C.

### 2.2. Préparation de la farine d'épluchures de manioc et formulation des aliments

Les épluchures de manioc fraîches ont été collectées dans une unité de transformation de manioc, d'un village environnant la Station de Recherche sur les Cultures Vivrières. La farine obtenue a été incorporée dans différents aliments expérimentaux à des taux variables. Quatre formules alimentaires, respectant les besoins nutritionnels des poules prêtes à pondre, ont été utilisées pour l'étude. Il s'agit d'un aliment témoin contenant 0 % (A 0), de farine d'épluchure de manioc et trois aliments expérimentaux comportant respectivement 10 % (A 10), 20 % (A 20) et 30 % (A 30) de farine d'épluchures de manioc. Les quatre aliments ont été formulés à l'aide du tableur Excel 2017© [11].

Les compositions de ces aliments iso-protéiques et iso-énergétiques sont indiquées dans le tableau 1. Les compositions nutritionnelles ont été calculées à partir de la valeur de matières premières.

---

<sup>1</sup> <https://cnra.ci/le-cnra/>

---

Tableau 1 :  
Composition des 4 rations pour 100 kg d'aliment.

Ingrédients (%)	Ration alimentaire			
	A0	A10	A20	A30
Maïs	50	40	30	24
Épluchure Manioc	-	10	20	30
Son de blé	12	11,2	9	4
Tourteau de coton	8	8	8	8
Tourteau de soja	8,7	10	12	13,5
Farine de poisson	5	5	5	5
Coquillage	12,5	12	11,7	11
Lysine	0,12	0,12	0,10	0,12
Méthionine	0,13	0,13	0,13	0,13
Composés minéraux vitaminés	0,25	0,25	0,25	0,25
Sel	0,3	0,3	0,3	0,3
Huile rouge	3	3	3,5	3,7
Total mélange	100	100	100	100
Paramètres	Composition			
Énergie Métabolisable (kcal/kg MS).	2728,60	2684,56	2675,30	2704,70
Protéines brutes (%)	17,30	17,32	17,46	17,32
Lysine (%)	0,97	0,99	0,99	1,00
Méthionine (%)	0,42	0,42	0,41	0,41
Calcium (%)	4,12	4,08	4,09	4,08
Phosphore (%)	0,45	0,47	0,48	0,49
Acide cyanhydrique (mg/Kg)	00	17	33	50

### 2.3. Production des œufs de poules

Un effectif de 120 poules « prêtes à pondre » de souche ISA BROWN réparties en 12 lots (3 répétitions × 4 traitements) de 10 poules ont été élevées en claustration au sol selon un système d'élevage intensif. Dans un dispositif complètement randomisé, cet effectif a été soumis à quatre traitements alimentaires de trois répétitions. Ces traitements correspondent aux aliments contenant des taux croissants de farine d'épluchures de manioc décrit plus haut. Les poules ont bénéficié des mêmes conditions d'élevage (abreuvement et traitement sanitaire). Les poules d'un même lot ont été nourries avec le même aliment. Dans chaque lot de poules, 30 œufs ont été collectés (par traitement) pour les analyses physicochimiques.

### 2.4. Analyse physico-chimique des œufs de poules

Les œufs provenant de chaque ration formulée ont été mis dans des alvéoles, puis transportés au Laboratoire Centrale d'Analyse (LCA) de l'[Université NANGUI ABROGOUA](https://www.univ-na.ci)<sup>2</sup>, afin d'effectuer les analyses physico-chimiques nécessaires. Les compositions proximales des différents échantillons d'œufs ont été déterminées à l'aide des méthodes standard de l'AOAC [13]. La teneur en glucides disponibles pour chaque œuf a été calculée par différence selon la procédure FAO/OMS [14]. Les teneurs en humidité, en protéines, en lipides, en cendres et en fibres alimentaires ont été déterminées respectivement par séchage à 105 °C à poids constant, par la [méthode de Kjeldahl](http://chimactiv.agroparistech.fr/fr/aliments/dosage-proteines-kjeldahl)<sup>3</sup> avec 6,25 comme facteur de conversion, par extraction au Soxhlet avec de l'éther, par incinération

<sup>2</sup> <https://www.univ-na.ci>

<sup>3</sup> <http://chimactiv.agroparistech.fr/fr/aliments/dosage-proteines-kjeldahl>

à 650 °C dans un four à moufle et par la méthode de Prosky [15]. La teneur en sucres totaux a été déterminée selon la méthode au phénol-sulfurique comme décrite par Dubois *et al.* [16]. Le contenu énergétique de l'échantillon a été calculé à partir des données proximales en utilisant la formule Atwater et Rosa [17]. Le pH des œufs a été mesuré selon la méthode potentiométrique, en utilisant l'électrode d'un compteur pH (WTW pH 302). L'activité de l'eau (Water activity: Aw)<sup>4</sup> des échantillons d'œufs a été mesurée à l'aide d'un hygromètre avec fonction datalog HUMIMETER RH2. La méthode alcaline de titration FAO [18] a permis le dosage de l'acide cyanhydrique.

### 2.5. Analyse statistique des données

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance à l'aide du logiciel SPSS. Une séparation des moyennes a été faite à l'aide du test de Dunnett<sup>5</sup> au seuil de 5 % quand leurs différences étaient significatives, afin de comparer les paramètres physico-chimiques entre les œufs (témoins) et les œufs (tests).

## 3. Résultats et discussion

La composition physicochimique des œufs tests comparée à celle des œufs témoins a montré que les œufs issus des traitements A0, A10, A20 et A30 contiennent les mêmes proportions de lipides (7,7 – 8,4 %), de fibres (0,03 – 0,04 %), de protéines (11,87 – 12,8 %), de sucres totaux (5,8 – 7,1 mg/g) et de glucides totaux (2,3 – 2,8 %) (Tableau 2). Cela s'explique par le fait que l'alimentation des poules affecte peu la teneur des constituants nutritionnels majeurs (protéines, lipides...) des œufs [4], qui demeurent généralement stable.

Toutefois, les taux de matière sèche et ceux des cendres issus de œufs non traités (traitement A0) sont différents ( $P < 0,05$ ) de ceux des œufs traités à la farine d'épluchure de manioc (traitements A10, A20 et A30). Ces différences montrent une diminution de la quantité d'eau dans les œufs de poules testées dans chaque incorporation. Cette tendance est traduite par l'effet du rapport des proportions blanc / jaune des œufs sur le taux de matière sèche. En effet, ce rapport est un indicateur du rendement en matière sèche de l'œuf, il dépend non pas de l'alimentation de la volaille mais de l'origine génétique de la poule [19]. La composition des œufs tests reste tout de même très proche de celles généralement reconnues aux œufs de poules pondeuses [2, 20, 21] et cela, quel que soit le niveau d'incorporation de la farine d'épluchures de manioc.

---

<sup>4</sup> L'activité de l'eau (a w) d'un aliment est le rapport entre la pression de vapeur de l'aliment lui-même, lorsqu'il est en parfait équilibre avec l'air environnant, et la pression de vapeur de l'eau distillée dans des conditions identiques. Une activité de l'eau de 0,80 signifie que la pression de vapeur est de 80 % de celle de l'eau pure. L'activité de l'eau augmente avec la température. L'état d'humidité d'un produit peut être mesuré comme l'humidité relative à l'équilibre (ERH) exprimée en pourcentage ou comme l'activité de l'eau exprimée en décimal.

<sup>5</sup> Les tests t de Dunnett traitent un groupe en tant que contrôle et comparent tous les autres groupes à celui-ci

---

Tableau 2 :

Composition proximale des œufs issus des différents taux d'incorporation de la farine d'épluchure de manioc.

Paramètres physico chimiques	Traitements				Significativité*
	A0	A10	A20	A30	
pH	7,8 ± 0,01 <sup>a</sup>	7,6 ± 0,01 <sup>a</sup>	7,7 ± 0,03 <sup>a</sup>	7,8 ± 0,02 <sup>a</sup>	NS
Matière sèche	24,5 ± 0,1 <sup>c</sup>	24,1 ± 0,3 <sup>c</sup>	23,4 ± 0,1 <sup>b</sup>	24,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	**
Activité de l'eau (Aw)	0,96 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,96 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,96 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,96 ± 0,0 <sup>a</sup>	NS
Cendre (%)	0,89 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,86 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,83 ± 0,17 <sup>b</sup>	0,85 ± 0,1 <sup>a</sup>	**
Lipides (%)	8,4 ± 0,05 <sup>a</sup>	7,9 ± 0,06 <sup>a</sup>	7,7 ± 0,06 <sup>a</sup>	8,1 ± 0,06 <sup>a</sup>	NS
Fibres totales (%)	0,04 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,03 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,03 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,04 ± 0,0 <sup>a</sup>	NS
Protéines (%)	12,4 ± 0,05 <sup>a</sup>	12,8 ± 0,2 <sup>a</sup>	11,87 ± 0,1 <sup>a</sup>	12,8 ± 0,2 <sup>a</sup>	NS
Sucres totaux (mg/g)	5,8 ± 0,05 <sup>a</sup>	7,1 ± 0,02 <sup>a</sup>	7,0 ± 0,02 <sup>a</sup>	6,0 ± 0,02 <sup>a</sup>	NS
Glucides totaux (%)	2,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	2,5 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,3 ± 0,06 <sup>a</sup>	2,2 ± 0,03 <sup>a</sup>	NS
Énergies (Kcal)	137 ± 0,1 <sup>a</sup>	132,5 ± 1,1 <sup>a</sup>	129 ± 0,7 <sup>a</sup>	133,4 ± 1,0 <sup>a</sup>	NS
Acides cyanhydriques (mg/kg)	0,01 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,01 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,01 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,01 ± 0,0 <sup>a</sup>	NS

(<sup>a-d</sup>) Les moyennes avec le même exposant dans la même ligne ne sont pas différentes ( $P > 0,05$ ).

(\*) La comparaison par paires (contrôle A0 comparé aux autres rations A10, A20, A30) est significative au niveau  $P < 0,05$  en utilisant le test t de Dunnett. NS :  $P > 0,05$  (non significative) ; \*\*:  $P < 0,05$

Par ailleurs, on note un niveau d'activité élevée de l'eau des œufs ( $Aw = 0,96$ ) c'est-à-dire très proche de 1, à tous les niveaux d'incorporation, ce qui montre une disponibilité importante d'eau dans ces œufs, favorable au développement de microorganismes d'où une sensibilité accrue à la dégradation. Les bactéries ne peuvent se développer en dessous d'une valeur de 0,91 alors que les levures et les moisissures peuvent proliférer à 0,65, mais aucun microorganisme ne peut se développer en dessous de la valeur de 0,6 [22].

Il est possible de remplacer le maïs dans les rations complètes distribuées aux volailles par de la farine de cossettes de manioc à 30 et 40 % [23]. Cependant, le principal inconvénient de cette utilisation est la présence d'acide cyanhydrique. D'après Bindelle et Buldgen [24], la présence de ces facteurs impose donc souvent des limites dans l'incorporation dans les rations et éventuellement l'application de traitements préalables à leur consommation par les animaux comme la cuisson. En ce qui concerne ce paramètre, des teneurs quasiment nulles de composés cyanogéniques sont révélées dans cette étude, essentiellement l'acide cyanhydrique (HCN), comparé à la dose dite inoffensive, c'est-à-dire moins de  $50 \text{ mg HCN} \cdot \text{kg}^{-1}$  [25]. Ce résultat se justifie par l'effet des différentes technologies de transformations (épluchage, séchage, broyage, ...) des épluchures de manioc en farine (environ  $3,78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  à l'état frais),

qui éliminent une bonne partie des composés cyanogènes. En effet ces différentes transformations détruisent les cellules, en permettant l'hydrolyse des glucosides et la volatilisation de l'acide cyanhydrique produit [12]. Machin et Nyvold [26] ont aussi rapporté que les acides aminés soufrés jouent un rôle majeur dans la détoxification du cyanure ingéré, il faut ainsi veiller à l'équilibre protéique des rations distribuées, surtout en ce qui concerne les acides aminés soufrés, afin de minimiser les effets chroniques néfastes du cyanure sur la croissance et la reproduction des animaux. En effet, les glucosides résiduels présents dans la farine peuvent être détruits par des réactions enzymatiques consommatrices de méthionine (un acide aminé soufré) chez la poule au cours de la digestion de l'aliment. Cette action se sert du soufre présent dans les acides aminés tels que la méthionine et la cystéine, où le soufre se lie aux ions cyanures pour donner du thiocyanate qui est une forme de détoxification [27, 28]. Le thiocyanate ainsi formé est par la suite excrété par l'urine [27, 29]. Plusieurs auteurs affirment que la toxicité due au manioc serait surtout dangereuse lorsqu'il y a des carences en protéines et donc en méthionine [28, 30, 31]. C'est la raison pour laquelle, il est important d'assurer une disponibilité de méthionine dans l'alimentation de la volaille, lorsque ces animaux consomment la farine d'épluchures de manioc, surtout celle des variétés amères qui sont plus riches en produits cyanogènes.

#### 4. Conclusion

A l'issue de cette étude, ayant pour objectif l'évaluation de l'effet de l'incorporation de la farine des épluchures de manioc sur la qualité des œufs, et à l'exception de la matière sèche et des cendres, très peu de variations sont révélées dans la composition physico chimique des œufs issus de poules pondeuses ayant consommées cet aliment. Avec l'incorporation de cette farine, la valeur nutritionnelle de ces œufs reste très proche de celle généralement reconnue aux œufs de poules pondeuses, suggérant ainsi une certaine stabilité de la composition physico chimiques aux différents taux d'incorporation. Par ailleurs, quoi que les tubercules de manioc contiennent des facteurs antinutritionnels et parfois même toxiques comme l'acide cyanhydrique, qui peut empoisonner l'animal et altérer son état de santé général, des teneurs quasiment nulles de composés cyanogéniques sont constatées. Ceci est dû principalement à l'application des traitements préalables à la consommation par les poules, et aux acides aminés soufrés contenus dans la ration donnée qui jouent un rôle crucial dans la détoxification du cyanure ingéré. La farine des épluchures de manioc est à utiliser chez la poule pondeuse avec prudence comme source alimentaire alternative, dans la mesure où il est souhaitable de poursuivre cette étude, afin de déterminer l'effet de cette incorporation sur d'autres paramètres comme le taux de ponte, le poids de l'œuf, l'indice de forme, l'épaisseur de la coquille, ainsi que d'autres paramètres non étudiés.

#### Références

- [1] Nys Y., Sauveur B., Valeur nutritionnelle des œufs. INRA Prod. Anim., 17 (2004) : 3.  
<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2004.17.5.3611>
- [2] Nys Y., Jondreville C., Chemaly M., Roudaut B., 2018. (Chapitre 9), Tec & Doc Lavoisier, Paris, France (2018), pp. 315-338. ISBN 9782743022754
- [3] Réhault-Godbert S., Guyot N., Nys Y., The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health. *Nutrients*, 11 (3) (2019): 684.  
<https://doi.org/10.3390/2Fnu11030684>
- [4] Bouvarel I., Nys Y., Lescoat P., 2011. Hen nutrition for sustained egg quality. In: Van Immerseel F., Nys Y., Bain M., Improving the safety and quality of eggs and egg products, Vol. 2. Cambridge, Woodhead Publishing, 261-99. eBook ISBN: 9780857093912
- [5] Bouvarel I., Nys Y., Panheleux M., Lescoat P., Comment L'alimentation des poules influence la qualité des œufs ? In : Nys Y., Numéro Spécial, Qualité de l'œuf. INRA Prod. Anim., 23 (2) (2010) : 167-82.  
<https://productions-animales.org/article/view/3298>
- [6] CIQUAL. Composition nutritionnelle des aliments 2013, <https://pro.anses.fr/tableciqual/index.htm> (consulté en février 2016).
- [7] Miranda J.M., Anton X., Redondo-Valbuena C., Roca-Saavedra P., Rodriguez J.A., Lamas A., Franco M.C., Cepeda A., Egg and Egg-Derived Foods: Effects on Human Health and Use as Functional Foods. *Nutrients*, 7 (2015) : 706-29.  
<https://doi.org/10.3390/nu7010706>
- [8] Baeza E., Chartrin P., Lessire Mr., Meteau K., Chesneau G., Guillevic M., Mourot J., P003 : Effet de différentes sources alimentaire en acides gras n-3 sur les performances de ponte et la qualité technologique, nutritionnelle et sensorielle des œufs. *Nutrition Clinique et Métabolisme*. 28 (2014) : S68-S69.  
[https://doi.org/10.1016/S0985-0562\(14\)70646-6](https://doi.org/10.1016/S0985-0562(14)70646-6)
- [9] Kreman K., Kana J.R., Defang F.H., Tegua A., Effet de la substitution du maïs par le manioc dans l'aliment sur les performances de croissance et les caractéristiques de la carcasse de la poule locale du Cameroun. *Bulletin of Animal Health and Production in Africa*, 60 (2012): 303-31.  
<https://www.ajol.info/index.php/bahpa/article/view/84406>
- [10] Kana J., Doue M., Kreman K., Diarra M., Mube K.H., Ngouana T.R. et Tegua A., Effet du taux d'incorporation de la farine de patate douce crue dans l'aliment sur les performances de croissance du poulet de chair. *Journal of Applied Biosciences*, 91 (2015) : 8539 – 8546. <https://doi.org/10.4314/jab.v9i11.5>
- [11] Kouadio K. E., Kreman K., Bamba L. K. et Kouadja G. S., Effet de la farine d'épluchures de manioc sur les performances zootechniques et économiques du poulet de chair au démarrage en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 42 (2) (2019): 7237-7244. <https://doi.org/10.35759/JAnmPLSci.v42-2.5>
- [12] McKey D., Elias M., Pujol B., Duputié A., Delêtre M., Renard D., Maintien du potentiel adaptatif chez les plantes domestiquées a propagation clonale. *Revue d'ethnoécologie [En ligne]*, 1 (2012). (Consulté le 02 septembre 2022).  
<https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.741>
- [13] AOAC, 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th ed.; Association of Official Analytical Chemists (AOAC): Arlington, VA, USA, 2000
- [14] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and World Health Organization (WHO), 1998. Energy and Protein Requirements (FAO Nutrition Meetings Report Series No. 52). Available online:  
[http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO\\_TRS\\_522.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_522.pdf) (accessed on 8 January 2022).
- [15] Prosky L., Asp N.G., Schweitzer T.F., DeVries J.W., Furda I., Determination of insoluble and soluble and total dietary fiber in foods and food products: Inter-laboratory study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 71 (1988): 1017-1023.  
<https://doi.org/10.1093/jaoac/71.5.1017>
- [16] Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F., Colorimetric method for the determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28 (1956): 350 – 356.  
<https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- [17] Atwater W., Rosa E., A new respiratory calorimeter and the conservation of energy in human body. II- *Physical Review*, 9 (14) (1899): 214-251.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSeriesI.9.214>
- [18] FAO. 1956. Acide cyanhydrique. Dosage utilisant la méthode alcaline de titrage, In « Traitement du manioc », 84-85.
- [19] Beaumont C., Calenge F., Chapuis H., Fablet J., Minvielle F., Tixier-Boichard M., Génétique de la qualité de l'œuf, *INRAE Productions Animales*, 23 (2011) : 123 – 132.  
<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2010.23.2.3294>

- [20] Nau F., Nys Y., Yamakawa Y., Rehault-Godbert S., Intérêt nutritionnel de l'œuf en alimentation humaine. Numéro Spécial, Qualité de l'œuf. INRAE Productions Animales, 23 (2010): 225-236. <https://hal.inrae.fr/hal-02664522>
- [21] Seuss-Baum I., Nau F., Guérin-Dubiard C., (2011). The nutritional quality of eggs. In: Van Immerseel F, Nys Y, Bain M. Improving the safety and quality of eggs and egg products, Vol. 2. Cambridge, Woodhead Publishing, 201-236. ISBN 978-0-85709-072-0.
- [22] Baron F., Jan S., Microbiologie de l'œuf et des ovoproduits. INRA Productions Animales, Paris : INRA, 23 (2) (2010) : 193-204. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2010.23.2.3300>
- [23] FAO (1991). Racines, tubercules, plantains et bananes dans la nutrition humaine. Rome, Italy.
- [24] Bindelle J, Buldgen A., Utilisation des plantes à tubercules ou à racines tubéreuses en alimentation animale. *Troupeaux et Cultures des Tropiques*, (4) (2004): 47-50.
- [25] Cumbana A., Mirione E., Cliff J. & Bradbury J.H., Reduction of cyanide content of cassava flour in Mozambique by the wetting method, *Food Chemistry*, 101 (3) (2007): 894-897. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.062>
- [26] Machin D., Nyvold S. (Eds.). Roots tubers, plantains and bananas in animal feeding. Proceedings of the FAO Expert Consultation held in CIAT, Cali, Colombia. 21 – 25/01/1991.
- [27] Adegbola A.A., Methionine as an additive to cassava-based diets. Pages 9-17. In Proceedings, Cassava as Animal Feed Workshop, University of Guelph, 13-20 April 1977, Ontario, Canada. ISBN-10: 0889361428
- [28] Diallo Y., Gueye M. T., Sakho M., Darboux P. G., Kane A., Barthelemy J. P., Lognay G., Importance nutritionnelle du manioc et perspectives pour l'alimentation de base au Sénégal (synthèse bibliographique), *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement.*, 17 (4) (2013) : 634-643. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=10314>
- [29] Garcia M., Dale N., Cassava root meal for poultry, *Journal of Applied Poultry Science*, 8 (1) (1999): 132-137. <https://doi.org/10.1093/japr/8.1.132>
- [30] Wilson J., 1973. Cyanide and human disease. In: Chronic Cassava Toxicity Proceedings of an Interdisciplinary Workshop, 29-30 January 1973, London, England. Ottawa: IDRC, 121-125
- [31] Jones D.A., Why are so many food plants cyanogenic? *Phytochemistry*, 47 (2) (1998): 155-162. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(97\)00425-1](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(97)00425-1)



PAGE VIDE

---

---

Submitted on: 21/11/2022

Revised form accepted on: 11/06/2023

Email: [hammamioumayma93@gmail.com](mailto:hammamioumayma93@gmail.com)

---



---

**Revue  
Nature et Technologie**

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

ISSN: 1112-9778 – E-ISSN: 2437-0312

---

# Impact of the regression of rangelands on the evolution of breeding systems in Northwest Tunisia

Oumayma HAMMAMI<sup>a,\*</sup>, Mustpha MANSOURI<sup>b</sup>, Moncef KHTIRI<sup>b</sup>, Ali FERCHICHI<sup>a</sup>

<sup>a</sup> University of Carthage, Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), 43, Avenue Charles Nicole 1082, Tunis, Tunisia.

<sup>b</sup> North West Forestry and Pastoral Development Office (ODESYANO), Avenue Environnement 9000 Beja, Tunisia.

---

## Abstract

The pastures of northwestern Tunisia have undergone several changes over the last decades. The main results are the decrease in rangelands, the increase in the total animal load, the increase in the cultivated land, the increase in the production costs particularly the purchase of concentrated feeds, and the low subsidies from the state. All these factors are changing the livestock system, mainly dairy cows. The present study, therefore, sought to characterize farm household systems that seem to be currently adapted in the Sejnane plain using a typology. We focus on understanding the variables that contribute to raising farmers' choice of breeding system in the study area. We interviewed 44 farmers. Furthermore, we analyzed their responses using descriptive statistics, ascending hierarchical classification AMP and principal components analysis PCA. The results show that four types of livestock systems could be characterized, depending on pasture and production. Moreover, they suggest that landless pastoralists are more vulnerable than agro-pastoralists.

Keywords: Agro-pastoralists; Livestock system; Northwestern Tunisia; Rangelands; Vulnerability.

---

## 1. Introduction

In Tunisia, the rangeland area is continuously decreasing. As a result of population growth and climate change, pasture areas decreased by 20% between 1980 and 2000 [1]. The high animal load, the regulation absence of cultivation in the pastoral area, and the constraints on the collective areas' management have been decisive in pastoral resources management in both quantitative and qualitative terms [2].

From 1970 to the 2000s, livestock systems began to diversify. It's initially extensive. Since this period, the rangelands' contribution has been made decreased and currently represents only 10 to 20% of the total feed of animals in the northern Tunisia regions [3, 4]. Grazing in this region accounts for only 16% of total production [5].

Indeed, most farmers use feed additives, especially concentrated feed, during grass shortages. More than 75% of the Sejnane plain population is engaged in breeding as the main family income. However, the production system is blocked by the indivision constraint and the collective land use (88.7%)

inappropriately [6]. Reference [7] showed that agropastoral settings represent a context-specific adaptation to global change. In addition, Reference [8] asserted that current livestock systems are integrated into agricultural systems.

However, production systems differ in terms of available pasture resources, production objectives, management, and natural resources use [9]. Reference [10] reported that assessing the impact of livestock grazing to find the right management strategy is essential in degraded rangelands.

Therefore, the present study sought to determine the evolution degree of rangeland in the Sejnane plain and to characterize the diversity of farm household systems. Our focus is on understanding the variables that contribute to farmer choice in the breeding system. We wanted to assess the farming system in a selected agroecological area.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Presentation of the study area



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.

The surveys were conducted in the Sejnane plain, located in Northwest Tunisia (Bizerte governorate, Latitude. 37°03' 38" N, Longitude. 9° 14' 18" E) (Figure 1).



Figure 1 Location of Sejnane plain northwestern Tunisia

Our study area belongs to the subhumid bioclimatic zone. The annual precipitation is on average 932 millimeters can exceptionally exceed 1400 millimeters. The majority part (73%) falls in winter, when marshes form, occupying a third of the total [6].

The water body shrinks in spring until it is completely dry in summer and it's used for grazing by the local communities. Nevertheless, it suffers from a four-month drought, following the rangelands drying up and losing a significant part of their nutritional value.

This sublittoral plain covers 4,322 hectares an area, which is spread over seven administrative sectors. It concentrates more than 88% of the Sejnane delegation's total population which houses 6574 households.

## 2.2. Méthodology

Data collection on the Sejnane rangeland and field observations to estimate the ecosystem regression.

Socio-economic surveys in the study area were conducted in Mai 2022, to assess grazing role and to develop farming systems typology.

The questionnaire makes it possible to collect a maximum of information on livestock farming and the natural pastoral resources exploitation in the Sejnane plain. Its main aspects are:

- The social aspect, which includes all information concerning the herder.

- The technical aspect includes the total agricultural area distribution, the existing livestock (sheep, goats, and cattle), the breeding system practiced, the grazing duration, etc...
- The economic aspect, such as farm income, and production costs.

Assuming that the concentrates purchase for dairy cows is the only production cost, with equal quantities for the agro-pastoral households surveyed. The concentrates supply at grazing time in equal quantities for all cows induces responses that do not vary with the animal characteristics. This original result supports the idea that the majority of cows with a production level which more than 20 liters per day do not manage to satisfy all their energy requirements at grazing and that grass intake is a limiting factor that concerns all cows [11].

## 2.3. Statistical analysis

The total number of households in the sample is 44. The selection was made on the lists basis of pastoralists using the rangeland, obtained from the North West Forestry and Pastoral Development Office<sup>1</sup>, and according to the availability of reliable information.

<sup>1</sup> ODESYPANO : [Office du Développement Sylvo-Pastoral du Nord-Ouest \(agrinet.tn\)](http://Office du Développement Sylvo-Pastoral du Nord-Ouest (agrinet.tn))

15 variables (Table 1) were selected for the typological classification of the farms studied. The choice was made for variables that have a strong discriminating power to highlight the differences between farms. Two multivariate statistical techniques were used to establish a typology of agropastoral systems: Principal Component Analysis (PCA) [12], to present in graphical form the maximum amount of information contained in a table of data composed of individuals and quantitative variables, and Hierarchical Ascending Classification (HAC) [13] is used to group

and arrange individuals into classes according to Cluster Method « Between groups Links » and « Squared Eudidean distance » interval between them. It is complemented by the number of axes considered interesting in the principal component analysis.

Once the distinct types of agropastoral systems were established, the impact of livestock decisions on the vulnerability or sustainability of the system in terms of intensification, productivity, natural resource use efficiency and farm consumption were analyzed.

Table 1  
Variables used to identify distinct household types

Variables	Data source
1. Total agricultural area (ha)	- Primary survey data
2. Fodder area in relation to total area (%)	- Calculated from primary survey data, according to this system: 1 cattle = 5 sheep [14].
3. Dry fodder area in relation to fodder area (%)	- Calculated from the primary survey data.
4. Irrigated fodder area in relation to fodder area	- The concentrate price for dairy cows is estimated at 1.36 TND per kilogram, and it for sheep is about 0.83 TND [15].
5. Fallow area in relation to total agricultural area (%)	- The liter milk price in 2022 is 1.14 TND.
6. Number of dairy cattle (head)	- The kilogram meat sheep or goat reference price in July 2022 is estimated at 14 TND for weights of around 45 kg [16].
7. Number of sheep (head)	
8. Number of goats (head)	
9. Grazing time (hour/head/day)	
10. Total grazing load (sheep head equivalent)	
11. Supplementation with concentrates (kg/year)	
12. Milk production per holding (l/year)	
13. Meat production per holding (kg/year)	
14. Concentrate costs (TND /year)	
15. Farm income per farm (TND/ year)	

TND : Dinar Tunisien (1 TND = 0,295828 EUR au 29/06/2023)

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Rangelands evolution

The following table shows the variation in the surface area of these lands between 2010 and 2020.

Table 2  
Evolution of rangeland area (ha) in Sejnane [17]

Year	Rangeland area (ha)
2010	12628
2020	11500

An estimated 1128 hectares of rangeland have been lost in the Sejnane delegation in ten years. The reason for this is the importance of agriculture in this delegation. Reference [18] showed that the most critical factor in rangeland degradation is changing the land use of rangelands to civil and agricultural uses, proper land use planning is essential to decrease degradation in the rangelands. It affects breeding systems, especially small ruminants. In particular, many communal lands have

become increasingly vulnerable to degradation, as they show signs of desertification, due to high grazing pressure and poor proactive grazing strategies [9]. Reference [19] said that the decline of this ecosystem in northwest Tunisia has been around 1% per year over the past thirty years, leading to a rise in animal load per hectare.

In this context, the following table shows the trend in livestock numbers:

Table 3  
Evolution of existing livestock in the Sejnane delegation [17]

Year	Cattle (Head)	Sheep (Head)	Goat (Head)
2007	7500	24000	15000
2020	15000	25000	10000

Cattle numbers doubled between 2010 and 2020. The sheep numbers have increased. However, the goats' number has decreased. The behavioral constraints can explain this result. Goats consume ligneous plants as they are more abundant in forest rangelands. This is down to the "browser" behavior of these animals [20].

Whilst livestock numbers remain high, climate change impacts are growing the ecosystem's vulnerability. Recurrent droughts impacts are all the more harmful as grazed ecosystems are more fragile due to recent anthropogenic disturbances [21].

### 3.2. Characterization of agropastoral systems in the Sejnane plain

The majority of those interviewed have private access to the land. The overall agricultural area of the holdings an average of 3 ha with a maximum of 9 ha. Farmers with an agricultural area of less than 5 ha make up 74% of our samples. Fodder crops are a priority in the agricultural activity of the holdings studied, with an average fodder area of 95% of the total agricultural area. The remaining land is left fallow to pasture.

The area under forage is dominated by annual crops, which represent an average of 59% of the useful area. Various forage crops are cultivated in the study area, mostly rain-fed (96%). Irrigation is used by certain farmers in the area, mainly to grow bersim, which does not exceed 1 ha. Farmers in the area build up their stock of hay and silage to feed their livestock during periods of grass shortage, at lower cost.

The farms surveyed have a sheep population of  $9 \pm 8$  head, a maximum of 30 head. Goats are generally kept in association with sheep. Their average number does not exceed 10 per farm, with an average of  $2 \pm 2$

goats. Both types of livestock are oriented towards meat production, which is mainly based on grazing with stored feed resources (hay, silage), without concentrates. They are sold at an average live weight of 45 kg for sheep and 25 kg for goats during the month of Ramadan and during the Aid El Adha (sacrifice festival). They are sold mainly in livestock markets.

There is variability among holdings in the total number of cattle. There are on average 3 head, which may exceed 18 cows in production in the study area. Some farms are seeking to increase milk production by feeding concentrated foods during lactation. There were large differences in farm income among different households.

### 3.3. Typology of farm households

Projecting households onto the space of the first two axes of PCA, followed by AMP, four distinct groups could be distinguished based on structure, herd size, production potential and concentrated feed intake (Figure 2, Table 4).

The first two factorial axes accounted for 59% of the total variability (Table 5). Axis 1 (38%) is related on the one hand to intensification of production through the use of concentrates and on the other hand to farmers owning agricultural land. Axis 2 (21%) is associated with extensive agriculture or traditional systems that do not rely o concentrates.

---

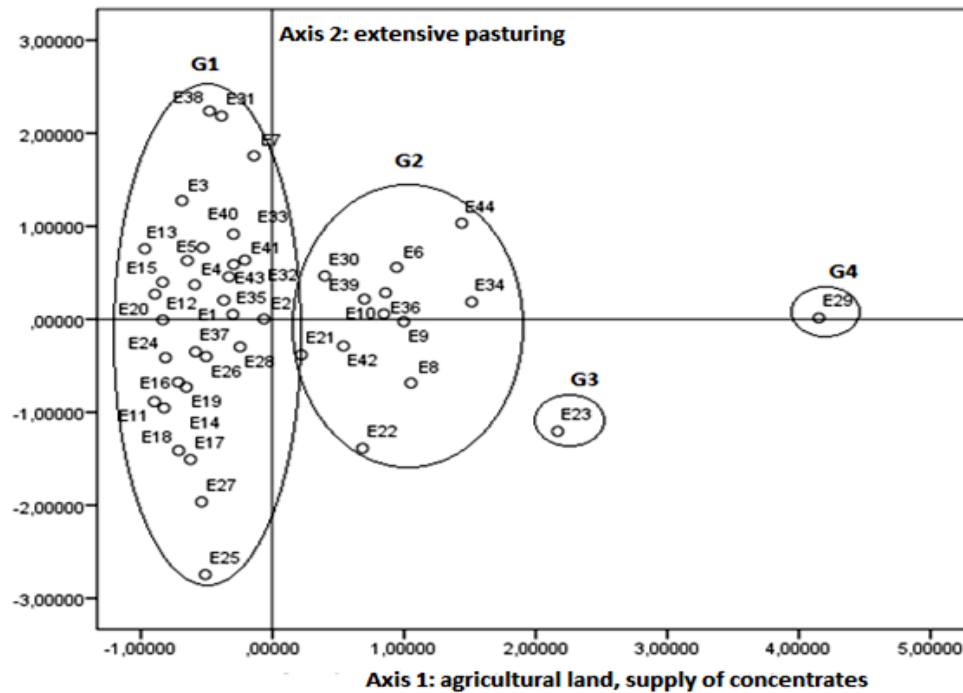


Figure 2 households' projection on the planes formed by the first two axes of the PCA

- **Group 1, Small-scale extensive livestock farmers:**

These farms are based on mixed goat-sheep farming, extensive without the use of concentrated feed. This breeding type is oriented toward meat production. Dairy cow farming is negligible, with no more than one cow on average. Moreover, this group is composed of 30 farms with an agricultural area down to 5 hectares for fodder crops, mainly rain-fed, but some farmers use irrigation. Fodder stock is self-consumed by the livestock in winter when the plain is flooded. In addition, herd feeding is based mainly on grazing throughout the year.

- **Group 2, Medium agro-pastoralists:** This group contains 12 farms. The herd is the same order of magnitude as for group 1, with 12 small ruminants on average per household, but with more cattle on average 5 cows. These farms have 5 hectares on average, mainly used for fodder crops. Livestock is based mainly on grazing throughout the year. However, feed supplementation, particularly with concentrates, is more common during the winter period. They are medium producers.

- **Group 3, Exclusively milk producers:**

There is only one farm in this group that raises cattle exclusively, with 10 cows in production on average. The animals' feed is based as usual on the natural pastoral resources. However, concentrate feeding is compulsory during the lactation period, to intensify production for marketing. It has 9 hectares of agricultural land for fodder crops. This household has good fodder security. They are milk producers.

- **Group 4, Large agro-pastoralist:** This group contains one farm. It is characterized by diversified livestock production, including 16 small ruminants and 18 cows in production. It has good food security, as fodder crops are grown on the entire agricultural area, the 9 hectares under rain-fed conditions. In addition, the cost of production remains high due to the use of concentrated feeds while seeking to improve productivity. Grazing remains the strategy of all the breeders in the study area to feed their animals. It is the large-scale herder who is the richest in the households studied.



Table 4  
Characteristics of the 4 groups of agropastoral households

Variable	Small extensive livestock farmers	Medium agro-pastoralists	Exclusively milk producers	Large agro-pastoralist
Households number	30	12	1	1
total agricultural area (ha)	4 ± 1	5 ± 1	9	9
fodder area (%)	94 ± 6.43	95 ± 6.63	94	100
dry fodder area (%)	94.72 ± 8.20	98.12 ± 4.58	94.11	100
irrigated fodder area (%)	5.27 ± 8.20	1.88 ± 4.58	5.88	0
fallow land (%)	6 ± 6.43	5.11 ± 4.58	5.55	0
number of dairy cattle (head)	1 ± 0	5 ± 0	10	18
number of sheep (Head)	8 ± 7	8 ± 7	0	10
number of goats (Head)	2 ± 2	1 ± 2	0	6
grazing time (h/head/d)	4 ± 1	4 ± 0	3	5
total grazing load (in sheep head equivalent)	20 ± 10	35 ± 10	50	106
supplemental concentrate (kg/year)	0	11039 ± 2113	15250	18900
milk production (L/year)	7563 ± 4936	40845 ± 8181	91500	153720
meat production (kg/year)	420 ± 356	402 ± 356	0	555
concentrate costs (dt/year)	0	14820 ± 2855	20740	25704
farm income (dt/year)	14498 ± 8276	37372 ± 7872	83570	157307

Table 5  
Result of the principal component analysis (PCA)

	Proportion	Cumulative
Axis 1	0.38	0.38
Axis 2	0.21	0.59
Axis 3	0.11	0.70
Axis 4	0.11	0.81
Axis 5	0.06	0.87

Household types G1 and G2 included farms that produced milk and meat with low input intensity. Livestock feeding is mainly based on the natural pastoral resources on the plain, with a long grazing period. Supplementation with stored fodder and concentrates is a strategy to safeguard the animals. Grass consumed by dairy cows is sufficient to produce milk at a lower cost [11]. Nevertheless, the majority of farmers are obliged to provide food supplements for the animals, particularly concentrates [3]. Despite many constraints, livestock farming seems to allow the farmers to achieve their objective of self-sufficiency in Dairy and meat products. Indeed, these farmers adapt to changes in biophysical and socioeconomic situations [22].

Households G3 and G4 were a rarity in our study area, with good food security. Their strategy for feeding

their herds is to exploit natural resources with feed supplements, fodder stock, and concentrates especially, during the lactation period. This has an impact on animal performance; they are the main milk producers. Grazing alone does not cover all the food for animals with high production potential, so adding concentrates can be interesting [11]. Milk production is increasingly dependent on international market prices for concentrated feed and raw materials [8]. Furthermore, Reference [23] showed that the intensification of livestock systems (through supplementation) has completely changed the behavior of livestock farmers toward rangelands. Farmers with arable land appear to be more adaptable to global change than landless pastoralists, who are more vulnerable [24].

Livestock and rangelands in the natural ecosystem are constantly interacting with each other [10]. Despite adaptation strategies to many changes, the status quo in the livestock sector remains fragile. However, new vulnerabilities related to feed availability and concentrate supply persist [4]. In this context, Reference [25] showed that grassland regeneration, soil conservation, and livestock production improvement can be ensured by controlled grazing. Moreover, Reference [26] stated that social resources contributed

less than natural resources in reducing the vulnerability of pastoralists.

#### 4. Conclusion

This paper set out to understand the farming systems and the dynamics of the use of pastoral resources in the Sejnane plain, which has its climatic particularities. While its rangeland has great importance in the feeding of the animals. The population exercises their right to use the natural pastoral resources and may be tempted to under-report the numbers. Their zootechnical and natural actions tend to specialize Sejnane in cattle breeding by using four distinct systems with a high total pastoral load. Human activity can be a vulnerability factor for grassland areas in the case of poor pasture management. Both strategies for safeguarding herds in grassless; Agro-pastoralism and feed supplements, in particular concentrates. Currently, livestock policy strategies tend to seek a balance between sectors and increase milk production at a lower cost.

#### Acknowledgements

The authors would like to thank the North West Forestry and Pastoral Development Office (ODESYANO) for their collaboration, information and financial support.

#### References

- [1] Kayouli C. (2000). Forage profile. 49 – 53. Available on Internet systems in the early 21st century. [Printed paper]
- [2] Mekki I., Malouche D., Smeti S., Hajji H., Mahouachi M., Elloumi M. and Atti, N., Diversity of sheep farming systems in the mountainous environment of northwest Tunisia. *Livestock Research for Rural Development*, 31 (7) (2019). [HTML]: <http://www.lrrd.org/lrrd31/7/ilyes31108.html> (Accessed on 21/07/2021)
- [3] Ben Salem H., Mutations in sheep farming systems and prospects for their sustainability. *Options Méditerranéennes A*, (97) (2011): 29-39. <https://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=801445> (Accessed on 12/11/2020)
- [4] Jemaa T., Johann H., Moulin C.H. and Najjar T., Sheep farming in central Tunisia: varied strategies and adaptations to land use changes. *Cah. Agric.*, 25 (4) (2016): 9. <https://doi.org/10.1051/cagri/2016030>
- [5] Ferchichi A. (2013). Vulnerability to climate change of pastoral ecosystems and adaptation measures for improving livestock productivity in desert areas. MENA-DELP Project, OSS, 53 p. [In French] Vulnérabilité au changement climatique des écosystèmes pastoraux et mesures d'adaptation pour l'amélioration de la productivité de l'élevage en zone désertique. [Printed paper]
- [6] Kassab A., Man and the natural environment in the regions of Sejnane and Tabarca [In French]: L'homme et le milieu naturel dans les régions de Sejnane et Tabarca. *Persée, Méditerranée*, troisième série, tome 35 (1979): 39-46. <https://doi.org/10.3406/medit.1979.1895>
- [7] Azibo B.R. and Kimengsi J.N., Building an Indigenous Agro-pastoral Adaptation Framework to Climate Change in Sub-Saharan Africa: Experiences from the North West Region of Cameroon. *Procedia Environmental Sciences*, 29 (2015): 126–127. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.214>
- [8] Elloumi M., Selmi S. and Zaïbet L., Economic importance and mutation of sheep production systems production systems in Tunisia. In : Khlij, E. (ed.), Ben Hamouda, M. (ed.), Gabiña, D. (ed.). *Changes in sheep farming systems and prospects for their sustainability*. Zaragoza : CIHEAM/IRESA/ OEP, Options Méditerranéennes A., (97) (2011): 11-21. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=801443> (Accessed on 05/02/2022)
- [9] Siyabulela S., Tefera S, Wakindiki I. and Keletso M., Comparison of grass and soil conditions around water points in different land use systems in semiarid South African rangelands and implications for management and current rangeland paradigms. *Arid Land Research and Management*. 3 (2) (2019) : 207-230. <https://doi.org/10.1080/15324982.2019.1670279>
- [10] Khosravi H., Ebrahimi M. and Rigi M., Effects of rangeland exclusion on plant cover and soil properties in a steppe rangeland of Southeastern Iran. *Arid Land Research and Management*. 31 (3) (2017): 352-371. <http://dx.doi.org/10.1080/15324982.2017.1310147>
- [11] Delaby L., Peyraud J.L. and Delagarde R., Should dairy cows be supplemented on pasture? *INRA Prod. Anim.* 16 (3) (2003): 183-195. Available on line. <https://productions-animales.org/article/view/3659/11535> (Accessed on 07/10/2022)
- [12] Philippeau, G. (1986). How to interpret the results of a principal component analysis? Paris, Technical Institute for Cereals and Forages. [In French]. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ? 63p. 2-86492-041-7 : 50 FF. [Book]. <https://www.sudoc.fr/023479590>
- [13] Hostiou N., Pham Duy K., Madelrieux S., Vu Trong B. and Dedieu B., Relationships between work organisation and size of dairy farms: A study in Moc Chau (Vietnam). [In French]. *Relations entre organisation du travail et taille des exploitations laitières : une étude à Moc Chau (Vietnam)*. *Cah Agric*, 19 (5) (2010): 323-310. <https://doi.org/10.1684/agr.2010.0404>
- [14] Abaza k., Peasants and landscapes in the jebel Rihane sector (Tunisian High Tell) Rural dynamics and landscape transformations. *Geo-Eco-Trop*, 45 (2) (2021): 345-362. [In French] *Relations entre organisation du travail et taille des exploitations laitières : une étude à Moc Chau (Vietnam)*. <https://doi.org/10.1684/agr.2010.0404>
- [15] Société de Nutrition Animale (SNA). <https://www.sna.com.tn/> (local data)
- [16] New Society of Press Printing and Publishing (SNIP). (2022). Sacrificial sheep: Reference price set at 14 dinars per kilo. [Our translation] « Moutons de sacrifice : Le prix référentiel de la vente est fixé à 14 dinars le Kilo ». <https://lapresse.tn/133686/moutons-de-sacrifice-le-prix-referentiel-de-la-vente-est-fixe-a-14-dinars-le-kilo/>
- [17] North West Forestry and Pastoral Development Office (ODESYANO): Community Development Plan <http://www.odesypano.agrinet.tn/english/accueil.html> (Local data)
- [18] Roudgarmi P., Determining effective socio-economic factors in rangeland degradation: A case study of Tehran province, Iran. *Range Mgmt. and Agroforestry*, 34 (1) (2013): 12-18. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2011.102052>
- [19] Boussaidi N. (2005). Forest rangelands and risk of degradation of pastoral potentialities in the IVth forest series of Mekna (Tabarka

- 
- Tunisia). University of Tunis-Carthage (INAT) - INAT Master's degree in combating desertification. Available on: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133347635> (Accessed on 13/09/2022)
- [20] Dumont B., Meuret M. and Prud'hon M., Direct observation of biting for studying grazing behavior of goats and llamas on garrigue rangelands. *Small Ruminant Research*, volume 16 (1) (1995): 27-35. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(94\)00036-7](https://doi.org/10.1016/0921-4488(94)00036-7)
- [21] Aidoud A., Le Floch E. and Le Houérou H.N., Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sécheresse*, 17 (1-2) (2006): 19-30. Available on: <https://www.researchgate.net/publication/281353673> (Accessed on 11/04/2023)
- [22] Huguenin J., Hammouda R. F. and Jemaa T., "Evolution of steppe breeding systems in the Maghreb: adaptation or metamorphosis? In: Eleventh International Pastoralism Meetings. Pastoral Spaces. Special Socioeconomic Pastoral. Les Ramayes, Grésivaudan, Isère, France, 17-10-2014. Pp. 28-31 [In French] Évolution des systèmes d'élevage steppiques Évolution des systèmes d'élevage steppiques au Maghreb au Maghreb: adaptation ou métamorphose : adaptation ou métamorphose. In : onzièmes rencontres internationales du pastoralisme. Espaces pastoraux. Espaces socioéconomiques particulier, Les Ramayes, Grésivaudan, Isère, France, 17-10-2014. Pp. 28-31. <http://www.cardere.fr/doc/X-RP22.pdf>
- [23] Abaab A., Neffati M., Sghaier M., Khorchani T., Nefzaoui A., Frija A., Jalouali S. and Elabidine Ghoudi Z-E., Synthesis of the main achievements of the Tunisian experience in the development of pastoral territories. *Revue des Régions Arides-Special issue*, 47 (2) (2020): 7-45. [In french]. Synthèse des principaux acquis de l'expérience tunisienne en matière de développement des territoires pastoraux. Available online. [http://www.ira.agrinet.tn/imgcommon/files/publication/RRA47\(2-2020\).pdf](http://www.ira.agrinet.tn/imgcommon/files/publication/RRA47(2-2020).pdf) (Accessed on 06/06/2022)
- [24] Makhloufi M.B., Mahari L. and Mekhloufi F., Systems dynamics of sheep farms and driving herds of faces to the vagaries of weather: Cases from the region of El Bayadh. *Agric. Sci*, 5 (7) (2014): 583-587. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2014.57061>
- [25] Jing H. and Lan-Sun C., A piecewise smooth rangeland grazing model shows that setting recovery period of plant is beneficial to prevent overgrazing. *Journal of Biological Systems*, 14 (02) (2006): 231-242. <https://doi.org/10.1142/S0218339006001751>
- [26] Wenqiang D., Weibo R., Ping L., Xiangyang H., Xiaolong S., Xiliang L., Jihong X. and Yong D., Evaluation of the livelihood vulnerability of pastoral households in Northern China to natural disasters and climate change. *The Rangeland Journal*, 36 (6) (2014): 535 - 543. <https://doi.org/10.1071/RJ13051>
-



# Air layering of three agroforestry species in the Guinean savannah highlands of Adamawa in Cameroon

Guidawa FAWA<sup>a,\*</sup>, Pierre Marie MAPONGMETSEM<sup>a</sup>, Ronald BELLEFONTAINE<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratory of Biodiversity and Sustainable Development, Faculty of Science, University of Ngaoundéré P.O. Box 454, Ngaoundéré, Cameroon

<sup>b</sup> CIRAD, Genetic forest AGAP- F 34398 Montpellier, France

## Abstract

*Ximenia americana*, *Vitex doniana* and *Lophira lanceolata* are species prized by the populations of the Guinean savannah highlands of Cameroon. They are unfortunately still in the wild where they are subjected to various pressures. From the perspective of the conservation and enhancement of local biodiversity, their domestication appears necessary. The objective of the work is to study the vegetative propagation by air layering of these fruit trees. The experimental device used is a split-split-plot with three repetitions. Species represents the main treatment; the substrates constitute the secondary treatment while the covering of the layers with aluminum foil represents the tertiary treatment. The experimental unit was 30 layers. The rooting rate of layers varies significantly ( $0.000 < 0.001$ ) from  $48.88 \pm 1.89\%$  in *Ximenia americana* to  $81.38 \pm 2.08\%$  in *Lophira lanceolata*. Sphagnum was the best substrate with  $69.63 \pm 1.38\%$  against  $61.66 \pm 1.54\%$  for the black soil-sawdust mixture. The analysis of variance reveals a significant difference for the substrates ( $0.0025 < 0.01$ ). Covering the layers with aluminum foil presented a rate of  $69.44 \pm 2.15\%$  while the uncovered layers presented  $61.85 \pm 1.54\%$ , the analysis of variance shows a significant difference ( $0.0031 < 0.01$ ). *Lophira lanceolata* exhibited the best air layering ability; the rooted layers were weaned and acclimatized for two months before being transferred to the field. During this process 19% and 52% respectively of the layers of *Vitex doniana* and *Ximenia americana* flowered. This inexpensive technique is an essential step in the process of their domestication.

Keywords: *Vitex doniana*, *Lophira lanceolata*, *Ximenia americana*, air layering, acclimatization, domestication, Guinean savannah highlands.

## 1. Introduction

The tropical world in general and sub-Saharan Africa in particular is facing rapid population growth. This situation is at the origin of the considerable pressures observed on natural resources [1]. These anthropogenic pressures (harvesting of firewood, overgrazing, bush fires, etc.) have greatly contributed to the degradation of forest cover [2]. These pressures result in the disappearance at a worrying rate of natural forest areas, the corollary of which is the scarcity of non-timber forest products [3]. Wild fruit trees play an important role in improving the living conditions of populations. They have a certain food and economic potential [4]. In developing countries, farmers mostly depend on non-timber forest products [5, 4]. These products make it possible to maintain household food security and substantially improve the standard of living of families. Seeds of *V. doniana* exhibit integumentary

dormancy [6]. Regeneration in the natural conditions of the Guinean savannah highlands of *L. lanceolata*, *V. doniana* and *X. americana* is difficult because of bush fires and cattle browsing. The wood of the three species is used in the production of charcoal and the manufacture of handicraft. The fruits of these species are edible. Despite the importance of these indigenous fruit trees in the daily diet of farmers, they still live in the wild and therefore are subject to various pressures. It seems appropriate to domesticate them and introduce them into existing agroforestry systems so that farmers can continue to derive greater benefit from them. To achieve these objectives of domestication and reintroduction of these woody species of socio-economic interest, it is necessary to use multiplication techniques adapted to the context [7]. Asexual propagation by air layering is a possible alternative that is insufficiently exploited in the Guinean savannah highlands of Cameroon. This technique of asexual



propagation has real comparative advantages and in particular the possibility of theoretically producing in an unlimited way, true genetic copies of the initial mother plant presenting the same assets in similar environmental conditions: the organoleptic quality of the fruit, the size of the fruit, the thickness of the bark, the density of the foliage, etc., are all characteristics valued by the local populations. Moreover, depending on the techniques used, these clones produced often benefit from much greater vigor and a much shorter time to fruition than plants of the same species from seedlings [7, 8]. The objective of this work was to study the vegetative propagation by air layering of three fruit trees providing non-timber forest products, in order to integrate them into existing peasant farming systems.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Description of the study site

The investigations were carried out in the Guinean savannah highlands of Bini-Dang (LN: 7°24'; LE:

13°32'; Alt: 1079 m) (Figure 1). The climate is of the Sudano-Guinean type with two seasons including a rainy season from April to October and a dry season from November to March. The monthly average precipitation is 105.75mm, the monthly average temperature is 22.32°C, the monthly relative humidity is 66.95% and the monthly evaporation is 164.47mm. Two main winds blow in the region, notably the monsoon during the rainy season from the south and the harmattan from the north, which is responsible for the drought. The vegetation is diverse. It is composed, among other things, of meadows, grassy savannahs, shrubby and woody savannahs. This shrubby and/or woody savannah is marked by the predominance of *Daniellia oliveri* and *Lophira lanceolata*. The density of these species has fallen sharply under the influence of various anthropogenic actions [9]. The local population is made up of herders (Bororo and Peulh) and farmers (Mboum, Dii and Gbaya). Agriculture and breeding occupy a prominent place in the region.

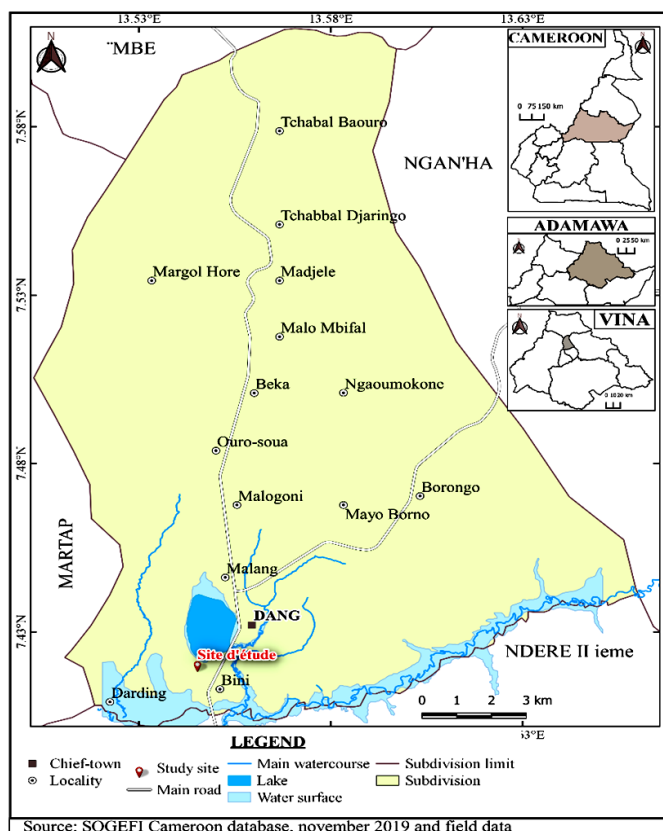


Figure 1: Location map of the study site

## 2.2. Methodology

The laying of the ducts took place at the beginning of the rainy season (May) and the monitoring of the field test lasted 7 months. Using a sharp knife, rings were made on the orthotropic branches 2.36 to 5.14 cm in diameter. Girdling the branch consisted of removing the bark over a length of 6 to 7 cm [10]. Then the cambium was well scraped and the bast well removed in order to stop the flow of descending elaborate sap. The bead of the substrate is held around the incised area using a transparent polyethylene film and firmly tied at the ends with a string. Half of the sheaths of each substrate were covered with aluminum foil which was well tied at the ends to protect the layer from excessive temperatures in the event of direct sunlight.

Each sheath laid bears the following inscriptions allowing the type of layer to be easily identified: date; name of the species; nature of the substrate and sheath number. The experimental protocol involved two types of substrates (the black soil-sawdust mixture in which the sawdust is previously decomposed in the respective proportions of 1/3 and 2/3 and the sphagnum). The follow-up of the test was done once a month and the watering of the sleeves was done using a 10ml syringe. Rooted layers were weaned seven months after sleeve placement and then transferred to the nursery for acclimatization. Acclimatization consisted of putting them in 12 cm×20 cm pots with topsoil and then they were introduced into the rehabilitation propagator for 6 weeks; they were taken out to spend 2 weeks under the

propagation shed before being transferred definitively to the fields.

The experimental device used was a split-split-plot with three repetitions. The species constitute the main treatment; the substrates represent the secondary treatment while the covering of the sheath with aluminum foil constitutes the tertiary treatment. The experimental unit consists of 30 layers. A total of 1080 layers (30×3×3×2×2) are laid for the three species.

## 2.3. Data collection and analysis

The data collected related to the number of rooted layers. Data analysis is about variance. The separation of significant means was done using the Duncan Multiple range test. The statistical program used was Statgraphics plus 5.0

## 3. Results

### 3.1. Effect of species

The rooting rate seven months after experimentation varies from 48.88% in *Ximenia americana* to 81.66% in *Lophira lanceolata*. In the three species, the rooting time for layers varies from 1 month for *Lophira lanceolata* to 2 months for *Vitex doniana* and *Ximenia americana* (Figure 2). The rooting rate is increasing for five months and stabilizes from the sixth month in the species. Species analysis of variance shows a significant difference ( $0.000 < 0.001$ ).

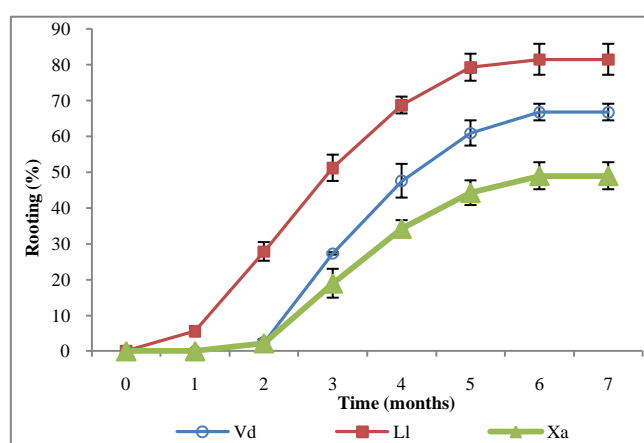


Figure 2: Variation in the rooting rate of layers in the three species as a function of time.

Legend: Vd: *Vitex doniana*; L1: *Lophira lanceolata*; Xa: *Ximenia americana*



The rooted layers of *L. lanceolata* and *V. doniana* develop a dense root network unlike those of *X. americana* (Figure 3).



Figure 3: Rooted layers after 7 months in *L. lanceolata*, *V. doniana* and *X. americana*

### 3.2. Influence of the substrate

The average rate of rooting of layers at the end of the test (7 months) after laying the sheaths varies from

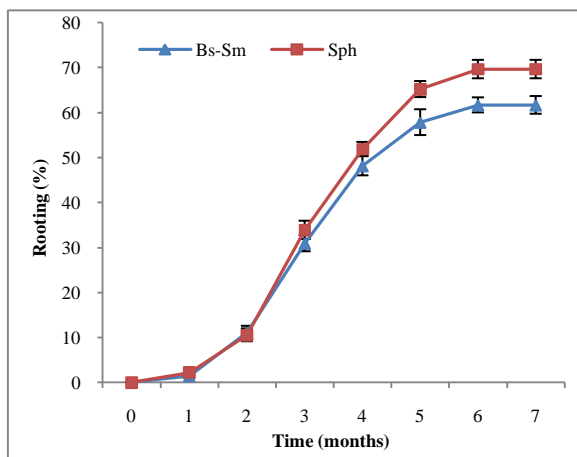


Figure 4: Variation in the rooting rate of layering in sphagnum (Sph) and the black soil-sawdust (Bs-Sm) mixture.

### 3.3. Influence of exposure mode

Seven months after installation, the rooting rate of layers varies from 61.85% for unprotected layers to 69.44% for those covered with aluminum foil (Figure 5). Aluminum foil has this ability to keep moisture in the sleeves. Statistical analysis shows that the sleeve exposure effect is significant ( $0.0031 < 0.01$ ). The layers began to emit roots from the first month, mainly in the layers wrapped in aluminum foil.

61.66% for the black earth-sawdust mixture to 69.66% for the sphagnum (Figure 4). The analysis of variance indicates a significant difference between the different substrates ( $0.0025 < 0.01$ ).

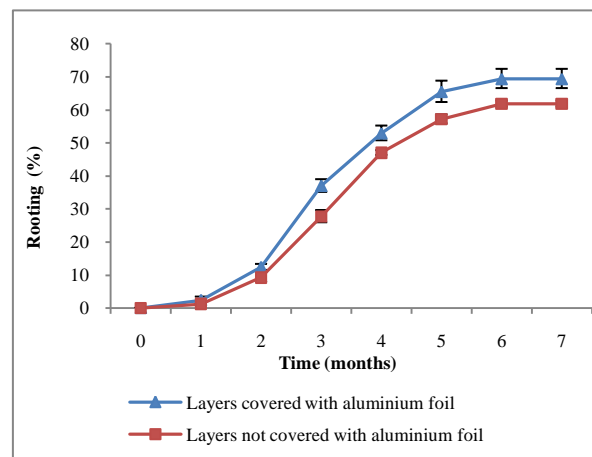


Figure 5: Variation in rooting rate depending on layer exposure mode

The rooted layers of each species were weaned seven months after laying the sleeves and acclimatized for six weeks in the rehabilitation propagator and two weeks under the shed before being transferred definitively to the field. During this process 19% and 52% respectively of *V. doniana* and *X. americana* layers flowered (Figure 6) but did not fruit.



Figure 6: Weaned and acclimatized layers of: *L. lanceolata*; *V. doniana* showing flowers; *X. americana* bearing flowers.

### 3.4. Species by substrate interaction

The rate of rooting of layers varies between (45.18±1.48) percent in layers of *X. americana* in the black soil-sawdust mixture to (82.22±1.98) % in

*L. lanceolata* in the substrate based on sphagnum (Table 1). The analysis of variance shows that the species by substrate interaction is significant (0.0249<0.05). The rooting of layers of each species varies from one substrate to another.

Table 1  
Percentage of the rooting rate of layers according to substrates and species

Substrate	<i>X. americana</i>	<i>L. lanceolata</i>	<i>V. doniana</i>	Means
Sphagnum (%)	53.52±1.61 <sup>c</sup>	82.22±1.98 <sup>a</sup>	73.88±2.13 <sup>b</sup>	<b>69.87±1.90</b>
Black soil-sawdust mixture (%)	45.18±1.48 <sup>c</sup>	80.92±1.77 <sup>ab</sup>	58.88±1.74 <sup>c</sup>	<b>61.66±1.66</b>
<b>Means</b>	<b>49.35±1.54</b>	<b>81.57±1.87</b>	<b>66.38±1.93</b>	<b>65.76±1.78</b>

Means followed by the same letter are statistically identical ( $p < 0.05$ ).

### 3.5. Species by exposure mode interaction

The rooting rate of unprotected *X. americana* layers is lower (43.33±1.48%) than that of *L. lanceolata* layers covered with aluminum foil (84.81±2.98%) as reported

in table 2. The species by mode exposure interaction is not significant (0.1381>0.05), although the paper stimulated rooting.

Table 2  
Percentage of rooting of layers according to species and mode of exposure

Mode of exposure	<i>X. americana</i>	<i>L. lanceolata</i>	<i>V. doniana</i>	Means
Layers not covered with aluminum foil (%)	43.33±1.48	78.33±2.1	64.07±1.97	<b>61.91±1.85</b>
Layers covered with aluminum foil (%)	55.37±1.61	84.81±2.98	68.70±1.69	<b>69.62±2.09</b>
<b>Means</b>	<b>49.35±1.54</b>	<b>81.57±2.54</b>	<b>66.38±1.82</b>	<b>65.76±1.97</b>

### 3.6. Substrate by exposure mode interaction

The rooting percentage fluctuates between 58.79±1.21% in layers based on the unprotected black earth-sawdust mixture and 74.69±1.96% for layers with sphagnum moss substrate and protected by paper

Table 3  
Percentage of the rooting rate of layers according to the substrates and the mode of exposure

Mode of exposure	Bs-Sm	Sph	Means
Layers not covered with aluminum foil (%)	58.76±1.21	65.06±1.67	<b>61.91±1.44</b>
Layers covered with aluminum foil (%)	64.56±1.89	74.69±1.96	<b>69.62±1.92</b>
<b>Means</b>	<b>61.66±1.55</b>	<b>69.87±1.81</b>	<b>65.76±1.68</b>

Bs-Sm: Black soil–Sawdust mixture; Sph: Sphagnum

### 3.7. Species\*substrates\*exposure mode interaction

The rooting rate of the layers varies from 37.77±5.38% in the black earth-sawdust mixture in *X. americana* to 57.78±2.78% for the sphagnum-based layers protected by aluminum foil (Figure 7). In

aluminum (Table 3). Despite the variation observed, there is no significant difference for the substrate and the mode of exposure interaction ( $0.1893 > 0.05$ ). Generally speaking, sphagnum has a high rooting rate.

general, layers treated with sphagnum moss and protected from bad weather have a high rooting rate regardless of the species. However, the species\*substrate\*mode of exposure interaction is not significant ( $0.0937 > 0.05$ ).

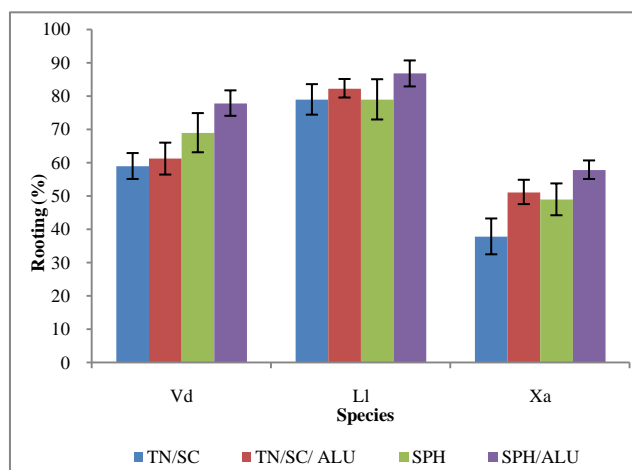


Figure 7: Rooting rate of layering according to treatment and species. Legend: *V. doniana* (Vd); *L. lanceolata* (L1); *X. americana* (Xa); Sphagnum (SPH); Sphagnum moss wrapped by aluminum foil (SPH/ALU); Black earth-sawdust (TN/SC); Earth-sawdust-wrapped by aluminum foil (TN/SC/ALU).

## 4. Discussion

Air layering is a low-cost vegetative propagation technique which is useful for populations in tropical areas who wish to reproduce identically a tree selected for its uses. It is an easily reproducible technique, which

does not require expensive inputs, special knowledge or long training. This technique provides agroforestry and rural populations with plants that grow faster and mature earlier, which shortens the return on investment [11]. In Central and West Africa, air layering is used for the domestication of many agroforestry species of

socio-economic interest [12]. Air layering of these species shows that it is possible to mass produce plants at a lower cost, within a relatively short period of 9 months. This result confirms that reported by [7, 13] and [14] who showed that air layering allows the production of plants in a short time, while keeping all the genotypic characteristics of the mother plant. Numerous air layering trials have yielded considerable results; this is the case for *Prunus azorica* which presented 100% rooting [15], *Balanites aegyptiaca* with a success rate of 95% [16] and *Coula edulis* with a rooting percentage of 48% [17]. Previous work which focused on the propagation by air layering of these three species made it possible to highlight the diameter and the rigidity of the branches which were the subject of air layering; the results obtained in this study presented rooting rates of 13.5% for *Ximenia americana*, 55.85% for *Lophira lanceolata* and 16.44% for *Vitex doniana* [18]. The laying of the sleeves for the present study took place at the beginning of the rainy season. Several authors like [9, 13, 14] show that the period of installation of the sleeves would have a significant effect on the rhizogenesis in certain species. Air layering of *Balanites aegyptiaca* in Cameroon was carried out in October (end of the rainy season and beginning of the dry season) with a success rate of 95% [16]. According to [13] the dry season is not the favorable period for carrying out air layering, it would inhibit the development of the rooting of layers. Several factors endogenous and exogenous to the species could influence the rooting of layers; this is how [19] claim that the difference in behavior may be related to the physiological state of the tree when the sleeve was placed. Layers covered with aluminum foil in *Anacardium occidentale* yielded a rooting rate of  $99.44 \pm 1.66\%$  [20].

The present study revealed that the use of sphagnum moss and the covering of sleeves with aluminum foil significantly affect the rooting of layers. These results confirm those of [21, 22] who showed that sphagnum is the best rooting substrate for layers respectively in *Vitellaria paradoxa* and *Fagraea auriculatum*. Air layering studies performed on *Berlinia grandiflora* have shown sphagnum to be the best rooting substrate in this species [23], which could be explained by the fact that sphagnum has this ability to maintain humidity in the substrate.

The layers were weaned after seven months and acclimatized for two months then transferred to the field to study their behavior in order to measure the time required to reach reproductive maturity. The production of a dense root bundle of the layers guaranteed the success of their transplanting in the field. The work of [22, 23] showed that the first weaning of *Dacryodes edulis* layers occurs five months after the sleeves have been placed. While [24] on the same species showed that weaning was carried out 3 months after laying the sleeves on the 10-year-old clones.

## 5. Conclusion

The three agroforestry species that were studied showed an aptitude for air layering. Sphagnum was found to be the best rooting substrate for all three species. Covering the sleeves with aluminum foil stimulated the rooting of layering. Air layering of these species shows that it is possible to massively produce seedlings of these species at a lower cost, in a relatively short time. This multiplication technique presented a promising result in the three species, which opens up interesting prospects for the domestication of the species. The introduction of these species into existing agroforestry systems of plants from air layering is therefore possible. The rooting rate of each species could be improved insofar as additional studies are carried out on the influence of the season, the position of the layer in the tuft, the position of the layer on the branch but also on other propagation techniques such as suckering, cuttings and grafting.

## References

- [1] Bellefontaine R., Petit S., Pain-Orcet M., Deleporte P & Bertault J.G., Les arbres hors forêts: vers une meilleure prise en compte. Archives de documents de FAO. Département des forêts. Paris. (2001): 197 p.  
[HTML]: <https://www.fao.org/3/v2328f/v2328f00.htm> (Accessed on 12/11/2022)
- [2] Bellefontaine R. & Monteuis O., Le drageonnage des arbres hors forêt: un moyen pour revégétaliser partiellement les zones arides et semi-arides sahéliennes? In Verger M. (Ed) *Multiplication végétative des ligneux forestiers, fruitiers et ornementaux*. Montpellier, France : Cirad-Inra, (2002):135-148.  
[HTML]: <https://agritrop.cirad.fr/488715/> (Accessed on 17/11/2022)
- [3] Bationo BA., Yelemou B. & Ouedraogo S.J., Le neem (*Azadirachta indica* A. Juss.), une espèce exotique adoptée par

- les paysans du Centre-Ouest du Burkina Faso, Bois et Forêts des Tropiques, 282 (4) (2004): 5-10.  
<https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/issue/archive> (Accessed on 18/11/2022)
- [4] Mapongmetsem P.M., Hamawa Y., Djeumene P., Maissele D., Kossebe CF., Ndoum JF., Nduryang JB., Bebbe F., Bouba D., Wouldata S., Zigro L. & Barbi M., Valorisation des plantes alimentaires sauvages dans les savanes soudano-guinéennes du Cameroun. In : Kapseu C., Mbofung CM. et Amvam Zollo PH. (éd.). Développement de l'agro-industrie et création des richesses. *Actes du Colloque International*, N'Gaoundéré, Cameroun. (2008) :50-61.
- [5] Leakey RRB., Les arbres d'exploitations agricoles améliorent la durabilité agricole et renforcent la résilience au changement climatique. *The Overstory Agroforestry eJournal*, n°234, (2011): 18p.  
[https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Leakey\\_RRB\\_2011\\_Trees\\_on\\_Farms\\_Fra.pdf](https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Leakey_RRB_2011_Trees_on_Farms_Fra.pdf) (Accessed on 19/10/2022)
- [6] Sanoussi A., Ahoton LE. & Odjo Th., Propagation of black plum (*Vitex donania* Sweet) using stem and root cuttings in the ecological conditions of south Benin. *Tropicultura* 30 (2) (2012) : 107-112.  
<https://doaj.org/article/f11ecee969b04d388b4f742123d39bf4> (Accessed on 11/10/2022)
- [7] Meunier Q., Bellefontaine R. & Monteuis O., La multiplication végétative d'arbre et d'arbuste médicinaux au bénéfice des communautés rurale d'Ouganda. *Bois et Forêts des Tropiques*, 295 (2) (2008) :71-82.  
<https://agritrop.cirad.fr/543933/1/7PtsMeu296.pdf> (Accessed on 16/09/2022)
- [8] Mapongmetsem P.M. & Laissou M., Contribution à la domestication des fruitiers indigènes des savanes soudano-guinéennes: influence du substrat et des substances de croissance sur l'enracinement des marcottes. Allada, Benin, (2010): 12p
- [9] Mapongmetsem P.M., Domestication of *Vitex madiensis* in the Adamawa highlands of Cameroon: phenology and propagation. *Akdeniz Universitesi Ziraatfakultesi Dergisi*. (2006) 19(2): 269-278. [HTML]:  
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/18154> (Accessed on 06/09/2022)
- [10] Bellefontaine R. Abderrahim F., Mokhtari M., Bouiche L., Lynda S., Lahcen K., Alifriqui M. & Meunier Q., Mobilisation *ex situ* de vieux arganiers par marcottage aérien. *INRA*, Maroc. (2012) :10 p. [HTML]: <https://agritrop.cirad.fr/569197/> (Accessed on 14/03/2023)
- [11] Bellefontaine R., Meunier Q., Ichaou A., Le Boulter H., Multiplication végétative à faible coût au profit des paysans et éleveurs des zones tropicales et méditerranéennes. *Vertigo* – La Revue Electronique en Sciences de l'Environnement [en Ligne], Regards/Terrain, 2015, mis en ligne le 05 octobre 2015. [HTML]:  
<https://vertigo.revues.org/16516>, (Accessed on 10/10/2022)
- [12] Tchoundjeu Z., Asaah E., Anegbel P., Degrande A., Mbile P., Facheux C., Tsobeng A., Atangana A.R., Ngo-Mpeck M.L. & Simon A.J., Putting participatory domestication into practices in West and Central Africa. *Forest Trees and Livelihoods* 16 (2006): 53-69. <https://doi.org/10.1080/14728028.2006.9752545>
- [13] Harivel A., Bellefontaine R. & Ousmane B., Aptitude à la multiplication végétative de huit espèces forestières d'intérêt au Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*, 288 (2) (2006) :39-50.  
[https://agritrop.cirad.fr/531872/1/BFT\\_288\\_39-50.pdf](https://agritrop.cirad.fr/531872/1/BFT_288_39-50.pdf) (Accessed on 11/11/2022)
- [14] Bellefontaine R., De la domestication à l'amélioration variétale de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels), *Sécheresse*, 21 (1) (2010) : 42-53. [HTML]: <https://agritrop.cirad.fr/554035/> (Accessed on 17/03/2023)
- [15] Moreira O., Martins J., Silva L. & Moura M., Propagation of the endangered Azorean cherry *Prunus azorica* using stem cuttings and air layering. *Arquipélago. Life and Marine Sciences*, 26 (2009): 9-14.
- [16] Noubissie-Tchiagam J.B., Ndzie J.P., Bellefontaine R. & Mapongmetsem P.M., Multiplication végétative de *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex. A. Rich. et *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. au nord du Cameroun. *Fruits*, 66 (2011): 327-341.  
<http://dx.doi.org/10.1051/fruits/2011047>
- [17] Moupela C., Doucet JL., Dainou K., Meunier Q., Vermeuleu C., Essai de propagation par semis et marcottage aérien de *Coula edulis* Baill. et perspectives pour sa domestication. *Bois et Forêts des Tropiques*. 318 (4) (2013): 3-13.  
[HTML]: <https://agritrop.cirad.fr/573462/> (Accessed on 15/03/2022)
- [18] Mapongmetsem P.M. & Dicksia M., Vegetative propagation of local fruit trees by air layering in the Guinean Savannah highland. *Journal of Sustainable Forestry*; 33 (1) (2014) : 21-32.  
<https://doi.org/10.1080/10549811.2013.804420>
- [19] Kengue Joseph, Tchio Félix, Ducelier Daniel. 1998. Le marcottage aérien : une technique pour la multiplication végétative du safoutier. In : Actes du 2ème Séminaire international sur la valorisation du safoutier et autres oléagineux non conventionnels = Proceeding of 2<sup>nd</sup> International Workshop on African pear improvement and other new sources of vegetable oils. Kapseu César (ed.), Kayem G. Joseph (ed.). Université de Ngaoundéré-ENSAI, ASANET, ACAGER, CIGR, AFGR. Yaoundé : Presses Universitaires de Yaoundé, 123-135. ISBN 2-911541-10-3 Séminaire International sur la Valorisation du Safoutier et autres Oléagineux Non-conventionnels. 2, N'Gaoundéré, Cameroun, 3 Décembre 1997/5 Décembre 1997. Pp 123-135.
- [20] Jacques D. B., Baye-Niwah C., Fawa G., Oumarou H. Z., Effect of Covering Mode and Substrate on the Rooting of Marcots of *Anacardium occidentale* L. in the Sahelian Zone (Maroua, Cameroon). *Plant*, 11 (1) (2023): 21-26. Available on:  
<http://www.sciencepublishinggroup.com/j/plant> (Accessed on 19/05/2023)
- [21] Yeboah J., Branoh Banful B.K., Boateng Yan P., Amoah Manu F., Maalekuu Kissinger B., Lowor Tetteh S., Rooting response of air-layered shea (*Vitellaria paradoxa*) trees to media and hormonal application under two different climatic conditions. *American Journal of Plant Sciences*, 5 (2014): 1212-1219.  
<http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.59134>
- [22] Yeo CK., Ng BYQ., Ng PK., Chong KY., Lok AFSL., Ang W.F., Tan SY. and Tan H.T.W. 2011. Air layering: A suitable method for mass propagating the nationally critically endangered *Fagraea auriculatum* Jack (Gentianaceae). *Nature in Singapore*, 4 (2011): 382-392.  
<https://lknhm.nus.edu.sg/wp-content/uploads/sites/10/app/uploads/2017/06/2011nis383-392.pdf> (Accessed on 11/09/2022)



- 
- [23] Kouojip Nganjoung J., Tsoubou R., Guidawa Fawa, Oumarou Z., Loura B. et Mapongmetsem P. M., Multiplication vegetative de *Berlinia grandiflora* par marcottage aérien dans les hautes savanes guinéennes de l'Adamaoua, Cameroun. *Afrique Science*, 21(3) (2022): 15 – 27.  
<https://afriquescience.net/PDF/21/3/2.pdf> (Accessed on 13/11/2022)
- [24] Tchio F., & Kengue J. 1998. Influence de la période de marcottage sur l'enracinement chez le safoutier (*Dacryodes edulis* H.J. Lam) à Njombé (Cameroun). In C. Kapseu & J. G. Kayem (Eds.), Deuxième Séminaire International sur la Valorisation du Safoutier et Autres Oléagineux Non Conventionnels, N'Gaoundéré, Cameroun. (1998) :137–146.
- [25] Mialoundama F., Avana M-L., Youmbi E., Mampouya PC., Tchoundjeu Z., Beuyo M., Galamo GR., Bell J.M., Kogpuep F., Tsobeng A.C. & Abega J., Vegetative propagation of *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam marcots cutting and micropropagation. *Forest, Trees and Livelihoods* 12 (1- 2) (2002): 85-96.  
<https://doi.org/10.1080/14728028.2002.9752412>
- [26] Elomo C., Nguénayé B., Tchoundjeu Z., Assah E., Tsobeng A., Avana L.M., Bell JM., Nkeumoe F., Multiplication végétative de *Dacryodes edulis* (G. Don) H. J. Lam. par marcottage aérien. *Africa focus*, 27 (2014) : 41-56.  
<https://doi.org/10.21825/af.v27i3.4920>



---

# **Nature & Technology Journal**

---

**Academic Journal with International Dissemination**

---



**Volume 15**

**Issue 02 – June 2023**

