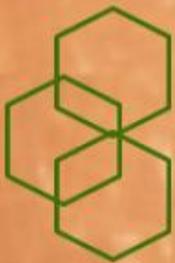

Revue Nature et Technologie

Revue académique à diffusion internationale



Volume 14

Numéro 01 – Janvier 2022





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. GUERINE Lakhdar

Publication Director:

Pr. HASSANI Hocine

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. ACHOUR Djalloul

Department of Electronic, University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Dr. LAIDANI Ykhlef

Process engineering sciences; University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Dr. TAHRAOUI Mohamed Amine

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

Dr. TAHRAOUI-DOUMA Naima

Process engineering sciences, University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Dr. GADOUCHE Leila

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

Dr. METLEF Sara

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

Associated Editors:

Dr. ALLIOUCHE Faiza

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

ARAB Karim

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

Pr. 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; Mobil: +(213) 671862766 / +(213) 541054993

Address:

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



Variation spatio-temporelle des paramètres hydrologiques des cours d'eau du bassin versant de la Loutété (sud de la république du Congo) 01

Gilbert BASSAKOUAHOU^a, Urbain Gampio MBILOU^b, Médard NGOUALA MABONZO^b, Guy Blanchard MATETE MOUKOKO^c

^a Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien NGOUABI, BP 69 Brazzaville, République du Congo

^b Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université Marien NGOUABI, BP 69 Brazzaville, République du Congo

^c Laboratoire de mécanique Énergétique et Ingénierie, École Nationale polytechnique, Université Marien NGOUABI, BP 69 Brazzaville, République du Congo

Évaluation de la stabilité oxydative de l'huile de tournesol aromatisée par l'huile essentielle d'Artemisia herba alba Asso 14

BOUZIDI Nebia et BOUAHADI Djilali,

Laboratoire de recherche sur le géo-environnement et le développement des espaces. Université de Mascara- BP. 763, Sidi Saïd, 29000, Algérie.

La flore levurienne du compost et son effet sur le haricot Phaseolus vulgaris 23

Meriem Amina REZKI et Abdelkader BEKKI

Laboratoire de Biotechnologie des Rhizobia et Amélioration des Plantes, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Oran 1, Algérie

Essai de valorisation de compost d'Acacia cyanophylla pour la production de plants de Pin pignon (Pinus pinea L.) : Résultats en pépinière et après cinq ans de transplantation 31

Mebarek CHOUIAL et Samir BENAMIROUCHE

Station Régionale de la Recherche Forestière de Jijel, Kissir El Aouana 18103

Influence des rejets d'une sucrerie sur la qualité physico-chimique, bactériologique et méiofaunistique de l'Oued Boujaarin (Tunisie) 45

Sondes ABIDI, Mustapha BEJAOUI, Meryem JEMLI, Moncef BOUMAIZA

Université de Carthage, Faculté des Sciences de Bizerte, Laboratoire de Biosurveillance de l'Environnement LR01ES14, Jarzouna 7021, Bizerte, Tunisie

Soumis le : 16/06/2021

Forme révisée acceptée le : 06/01/2022

Correspondant : bassakouahougilbrt@gmail.com



**Revue
Nature et Technologie**

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

ISSN : 1112-9778 – EISSN : 2437-0312

Variation spatio-temporelle des paramètres hydrologiques des cours d'eau du bassin versant de la Loutété (sud de la république du Congo)

Gilbert BASSAKOUAHOU^a, Urbain Gampio MBILOU^b, Médard NGOUALA MABONZO^b, Guy Blanchard MATETE MOUKOKO^c

^a Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien NGOUABI, BP 69 Brazzaville, République du Congo

^b Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université Marien NGOUABI, BP 69 Brazzaville, République du Congo

^c Laboratoire de mécanique Énergétique et Ingénierie, Ecole Nationale polytechnique, Université Marien NGOUABI, BP 69 Brazzaville, République du Congo

Spatial and temporal variation of hydrological parameters of rivers in the Loutété basin (south of the Republic of Congo)

Résumé

Le but de cette étude est de déterminer la variation des paramètres hydrologiques des rivières du bassin versant de la Loutété. Les cours d'eau de ce bassin versant constituent la seule et unique source d'approvisionnement en eau brute des populations de la zone. Les paramètres hydrologiques étudiés, à savoir : le débit, la profondeur et la largeur ont montré quelques variations étroitement liés aux précipitations. S'alignant dans l'ensemble de la partie sud du département de la Bouenza avec son climat tropical, les précipitations annuelles varient de 800mm à 1800mm avec la moyenne de températures comprises entre 18 °C et 28 °C (années antérieure). Dans la période actuelle, les précipitations mensuelles (moyennes mensuelles) vont de 129,11 mm à 302,54 mm avec des moyennes de températures allant de 22 °C à 32 °C. Cette diminution des précipitations présente une menace permanente pour les rivières du bassin versant de la Loutété, qui risquent de disparaître compte tenu de l'augmentation des températures moyennes annuelles. Compte tenu de la croissance démographique dans la zone, les gestionnaires des ressources en eau devraient prendre des mesures adéquates pour permettre la pérennisation de cette ressource vitale.

Mots-clés : Variation spatio-temporelle ; Bassin versant ; Loutété ; Paramètres hydrologiques.

Abstract

The purpose of this study is to determine the variation of the hydrologic settings of the falling basin of Mfouati and Loutété Capital stream for its population. The hydrologic settings studied such as: Capacity, depth and width have shown some closed variation on rainfall variation. Find in the south of la Bouenza region with a tropical climate, the annual rainfalls change from 800 mm to 1800 mm with the average temperature find between 18°C and 28°C (previous years). In the present period the monthly rainfalls (monthly average) move from 129.11 mm to 302.54 mm with the average of annual temperatures moving from 22°C to 32°C. This decrease of rainfall present a permanent threat for rivers of the falling basin of Loutété which is about to disappear because of the increase of the annual average temperate. As the population increase water resources managers should find proper measures to perpetuate or sustain this vital resource in time.

Keywords: Spatiotemporal Variation; Falling-basin; Loutété; Hydrologic setting.

1. Introduction

Mfouati, est l'une des Sous-Préfectures du département de la Bouenza. La rivière principale qui arrose cette sous-préfecture, ainsi que la communauté de Loutété, est la Loutété. Cette dernière, avec ses

affluents : Moukanda, la chapelle, Moubidi, Mandzassi Siloa et Malouénda, constitue le bassin versant de la Loutété, l'un des sous bassins du Niari [1], avec une superficie de drainage de 24.400 km².

Cette unité d'alimentation mériterait en tout temps une bonne évaluation, en contrôlant le fonctionnement de



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

ses cours d'eau et de son aquifère. De plus pour gérer l'eau qui est un élément vital avec respect et efficacité, il est indispensable de connaître et de maîtriser l'évolution de la qualité des cours d'eau.

La sous-préfecture de Mfouati et la communauté Urbaine de Loutété ont une population totale de 49.543 habitants [2], très active dans la production agropastorale. La Loutété qui est la rivière principale de cette zone n'a pas encore connue une étude sur ses paramètres hydrologiques. Cette insuffisance des connaissances sur le fonctionnement hydrologique de la Loutété et ses affluents peut entraîner des conséquences négatives tant sur la population riveraine que sur les écosystèmes. Cette problématique a suscité l'intérêt d'entreprendre une étude des variations spatio-temporelle des paramètres hydrologiques (largeur,

profondeur, débit...) du bassin de la Loutété dans le but de bien comprendre son comportement.

2. Matériel et méthode

2.1. Cadre général de la zone d'étude

Le bassin versant de la Loutété, objet de notre étude, se situe dans le district de Mfouati au sud-ouest de la République du Congo entre les coordonnées géographiques 4°25'-4°15' de latitude Sud et 13°53'-13°45' de longitude Est (figure1). Il couvre le ¾ de la totalité du bassin versant et draine une superficie de 68,403 Km².

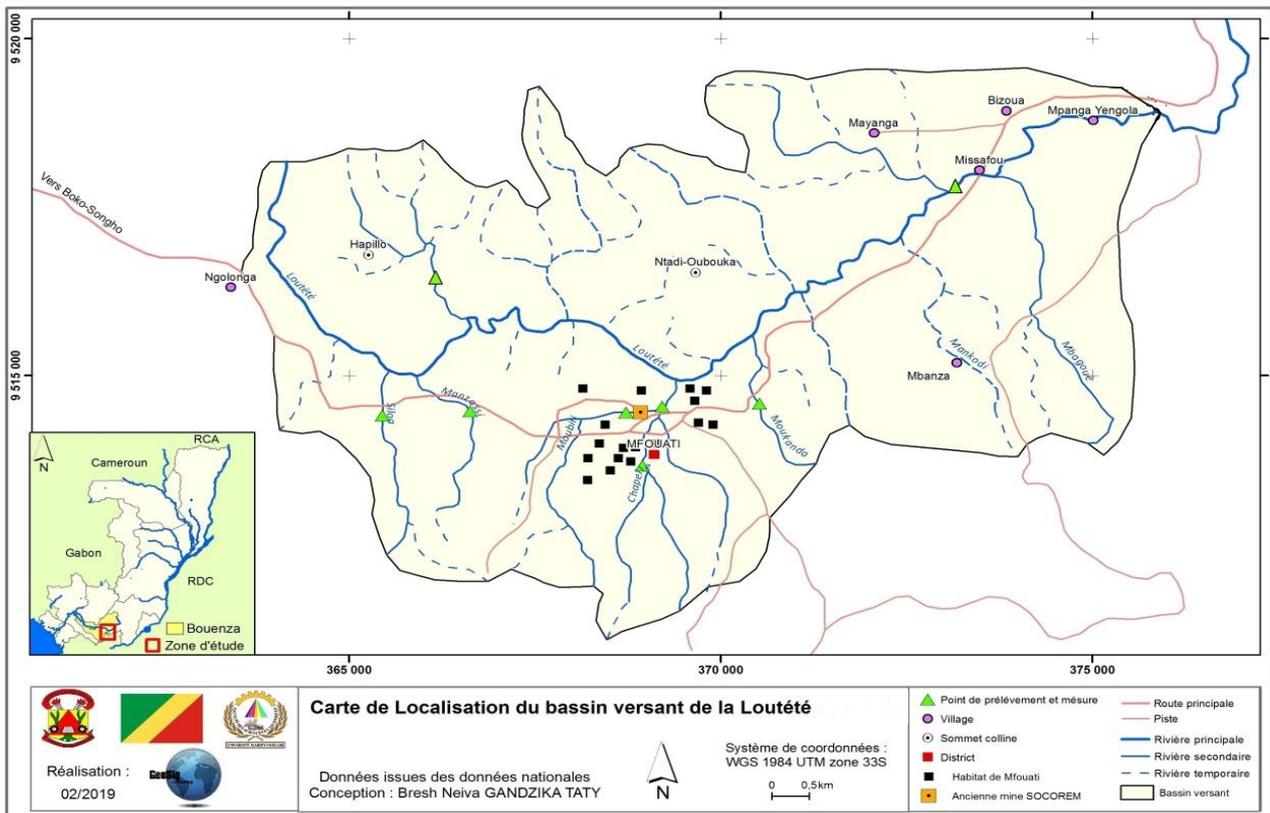


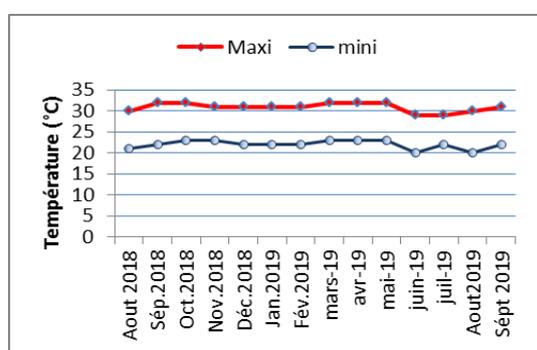
Figure 1 : Carte de délimitation du bassin versant et points des mesures (Source : GéoScience Consulting)

Du point de vue géologique, il est sur des formations sédimentaires Précambriennes anciennes qui ne sont autres que les formations Schisto-calcaires et schisto-gréseuses [3-5].

Ses cours d'eau coulent sur trois types de sols : Sols Calco-Magnésimorphes, Sols Ferrallitiques, et les Sols hydromorphes [6].

La végétation couvrant le bassin versant est pareille que celle de la vallée du Niari ; faite essentiellement de savane arbustive [7].

Du point de vue climatique, Selon Samba-Kimbata [8], la zone du bassin versant s'aligne dans l'ensemble de la partie Sud du pays au climat tropical, caractérisé par un rythme de précipitations réduit à deux saisons fortement contrastées : une saison de pluies d'Octobre à Mai, avec un fléchissement en Janvier ou Février, et une saison sèche presque totalement dépourvue de pluies le reste de l'année qui peut s'étaler jusqu'à 5 mois, de mi-Mai à mi-October. Les précipitations interannuelles sont relativement faibles, comprises entre 800 et 1800 mm. Leur variabilité est ici la plus forte (15 à 40 %) avec un



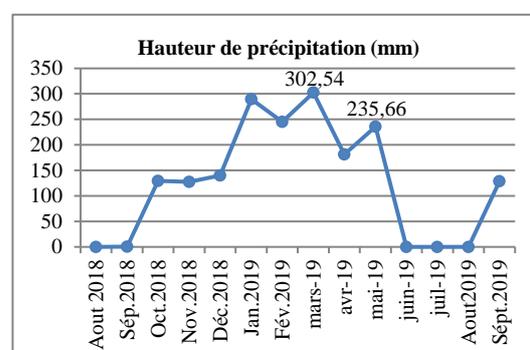
(a)

Figures 2a : Evolution des températures moyennes Mensuelles (période d'étude)

La température de l'air présente de faibles variations tout au long de la saison de pluies, par contre les fortes variations sont observées entre les deux saisons. Les valeurs annuelles oscillent entre un minimum de 20 °C en saison sèche contre 29 °C en saison de pluie. La température moyenne maximale est de 32 °C en saison de pluie et 23 °C en saison sèche, avec une variation annuelle de 9 °C.

Du point de vue hydrographique, la zone de Mfouati est arrosée par la rivière Loutété qui constitue le cours d'eau principal. Plusieurs petits cours d'eau (Moukanda, Chapelle, Moubidi, Mandzassi, Silowa, Malouénda), se jettent dans la Loutété, constituant ainsi un réseau hydrographique assez dense (figure 3) de 68,403 Km². Malgré sa forme dense, les cours d'eau rencontrés sont en majorités temporels à cause du relief accidenté avec des altitudes allant de 700 à 820 m [1]. Les vallées se situent dans les altitudes basses entre 300 et 200 m.

maximum dans la dépression du Niari (figure 2a). pendant notre période d'étude, l'implantation d'un pluviomètre a permis de bien suivre les variations mensuelles des précipitations au sein du bassin (figure 2b). Les données montrent un cumul annuel de précipitation de 1.780,32 mm entre Aout 2018 et Septembre 2019. Durant cet intervalle, le mois de Mars s'est avéré le plus pluvieux par rapport au reste des mois. La saison sèche de 2018 était plus aride par rapport à celle de 2019. L'humidité relative est élevée puisqu'elle avoisine les 80 à 99 %.



(b)

Figures 2b : Evolution des précipitations moyennes Mensuelles (période d'étude)

2.2. Équipement de terrain

Pour entreprendre ce travail, nous nous sommes équipés d'un GPS, un double décimètre, une corde, deux chronomètres, une échelle limnigraphe, un marteau, une machette, un flotteur artificiel (bouteille plastique), des ordinateurs et logiciel approprié, des pinceaux et bien d'autres instruments.

2.3. Méthode

La première étape était de localiser la zone et de bien identifier le site le plus représentatif du bassin, un peu comme le ferait un biologiste, qui à chaque fois qu'il souhaite affiner ses recherches, augmente le grossissement de son microscope [9].

Ainsi, suite à la forte représentation des cours d'eau temporels, seul sept (7) cours d'eau ont fait l'objet de notre étude (tableau 1).

Tableau 1
Coordonnées géographiques des cours d'eau étudiés

coordonnées géographiques des stations des mesures			
-	Latitudes	Longitudes	Altitudes
Loutété	04°22'95"S	013°49'95"E	209 m
Moukanda	04°23'31"S	013°49'50"E	268 m
Confluences	04°23'41"S	013°49'11"E	317 m
Moubidi	04°23'42"S	013°49'05"E	322 m
Chapelle	04°24'03"S	013°49'04"E	332 m
Mazansi	04°23'03"S	013°47'31"E	376 m
Siloa	04°23'36"S	013°47'08"E	388 m

Les sites d'étude ont été sélectionnés suivant plusieurs paramètres [9] :

- Accessibilité au site,
- Taille du cours d'eau,
- Stabilité du lit et des berges,
- Longueur du tronçon de jaugeage bien rectiligne,
- Composition du lit de la section de jaugeage (un lit non rocailleux) et à faible turbidité.

Avec la machette, les sections de jaugeage ont fait l'objet d'un aménagement en débarrassant tout élément susceptible de freiner l'avancement du flotteur. Car la méthode utilisée pour la mesure des vitesses est celle de jaugeage au flotteur testé. Les sites aménagés (tronçon d'ouvrages) possédants des échelles n'ont par contre plus subit de retouche.

La méthode de jaugeage au flotteur est choisie à cause de la nature des cours d'eau (faible vitesse et faible profondeur). L'utilisation des moulinets serait presque inadaptée voire impossible. De plus la méthode adoptée est rapide, prix de revient du matériel minime, mais aussi donne de bons résultats [10,11]. Comme le mentionne Laborde [12], que de ne rien faire, il est toujours

préférable d'utiliser la méthode adaptable. La méthode de détermination des vitesses au moyen de flotteurs s'appuie sur la mesure du trajet "S" parcouru par le flotteur pendant le temps "t" entre la section OO' et AA' (figure 2). Ceci permet d'en déterminer la vitesse d'écoulement en surface (Vs) dans le temps "t" le long de la trajectoire "S" [10], d'en déduire la vitesse moyenne et le débit d'eau écoulé au niveau du tronçon.

Cependant avant de mesurer les vitesses, débits, temps et profondeurs d'eau, nous avons d'abord procédé par l'installation des échelles limnigraphes dans toutes les stations.

Les mesures ont été menées, hebdomadairement, et cela à cause des faibles variations journalières.

Par manque de station pluviométrique, nous avons installé un pluviomètre monté dans un atelier. L'installation de ce pluviomètre s'est faite en tenant compte des normes telles que décrites par Nouvelot [9] et Cumps [10],

Les paramètres étudiés soit mesurés soit calculés sont :

- La surface moyenne : Etant le produit de la longueur et la largeur d'une section donnée. Tous les espaces délimités au niveau des sites d'études sont rectangulaires avec des sections OO'AA', avec OO' parallèle à AA' qui représente les largeurs et OA et O'A' variables et les longueurs du tronçon qui ne varie pas, mais variable d'un site à l'autre selon le tronçon aménagé (figure 3 et tableau 2). OO' = AA' = 1 (largeur), la flèche (S) représente le sens du déplacement du flotteur mais aussi la longueur du tronçon. A chaque station de jaugeage, nous avons veillé à ce que le tronçon choisi reste bien délimité et rectiligne tout au long de la période de notre étude.

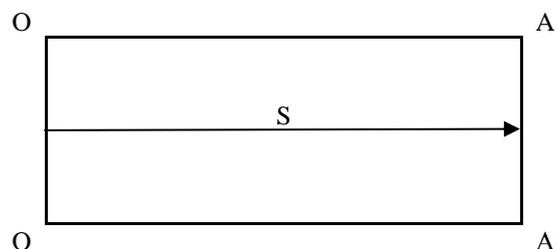


Figure 3 : Schéma du site expérimental

Tableau 2
Longueur de tronçons des sites d'études

Stations	Loutété	Moukanda	Confluences	Moubidi	Chapelle	Mazansi	Siloa
Longueurs(m)	34,8	45	35	40	26,85	25,8	26,7

La surface du rectangle étant le produit de la longueur (L) par la largeur (l), elle se calcule par la formule :

$$S_m \text{ (m}^2\text{)} = L \text{ (m)} \times l \text{ (m)} \quad (1)$$

S_m étant la surface moyenne, nous avons :

- La vitesse d'écoulement de surface : est le rapport entre la longueur du tronçon parcouru par le flotteur par rapport au temps 't'. Elle se traduit par la formule $V_s = \frac{S}{t}$, avec S la longueur du tronçon en mètre (m), V_s la vitesse d'écoulement de surface en (m.s⁻¹) et t le temps parcouru par le flotteur le long du trajet S de la section OO'AA' en (s)

Les vitesses de surfaces étant différentes des vitesses moyennes (V_{ms}) sur la profondeur, pour déterminer la vitesse moyenne (V_{ms}) il faudra leur appliquer un coefficient de conversion égale au rapport entre (U/V_{ms}).

La valeur du rapport $\frac{U}{V_{ms}}$ croit avec la profondeur moyenne, mais surtout liée à l'état de la turbulence de la rivière [13].

Dans notre cas, les cours d'eau ayant un régime fluvial à vitesse faible (inférieure à 1 m.s⁻¹), la valeur du rapport $\frac{U}{V_{ms}}$, fixée pour les calculs de la vitesse moyenne, est de 0,80. La vitesse moyenne est alors déduite de la manière suivante :

$$V_{ms} = V_s \times 0,80 \quad (2)$$

- Débit moyen : d'après la théorie de jaugeage aux flotteurs, le débit Q d'une rivière est égal au produit de la

surface moyenne (S_m) par la vitesse moyenne d'écoulement V_{ms} dans la section :

$$Q = V_{ms} \times S_m \quad (3)$$

Le débit Q s'exprime en m³s⁻¹ V_{ms} en m.s⁻¹ et S_m en m².

Le temps t a été déterminé avec un chronomètre. Pour cela il a fallu qu'un opérateur lance le flotteur placé au niveau de la section OO' un autre avec le chronomètre à la section AA'. L'opérateur se trouvant à la section OO' lâche le flotteur au signal de l'opérateur déclencheur du chronomètre, et dès l'arrivée du flotteur dans la section AA' l'opérateur arrête le chronomètre et note le temps. Pour plus de fiabilité des résultats, l'opération est répétée trois fois et le temps obtenu n'est autre que la moyenne des trois essais.

3. Résultats et discussion

Les résultats des paramètres calculés ou mesurés de chaque mois et chaque station sont représentés sous forme de courbes.

Nous avons représenté d'une part les variations des paramètres au cours du temps (période hydrologique) et les variations des paramètres en fonction des hauteurs des pluies d'autre part. Les courbes paramètres hydrologiques en fonction des hauteurs de pluies sont représentées dans l'objectif de suivre l'influence des pluies sur la dynamique des cours d'eau du bassin versant.

Station : Moukanda

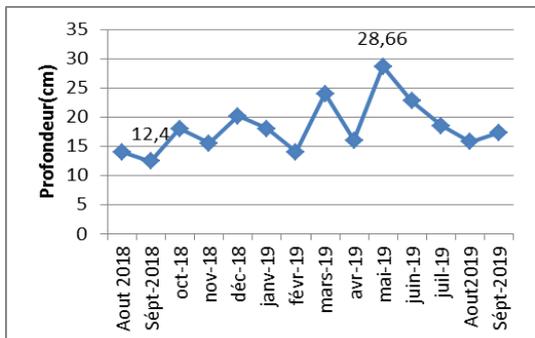


Figure 4a : variation de la profondeur au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

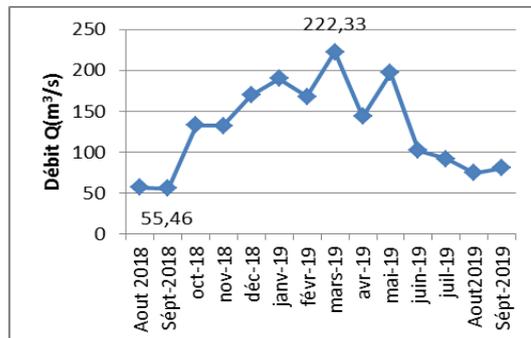


Figure 4b : variation du débit au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

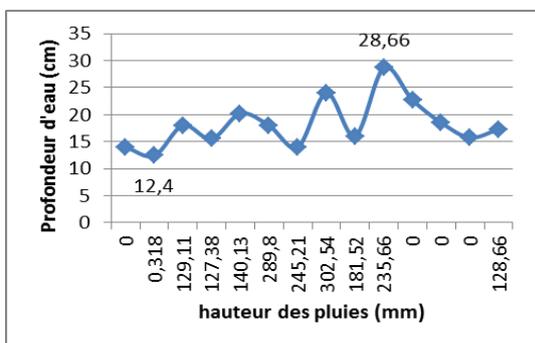


Figure 4c : variation de la profondeur en fonction de la pluviométrie (Aout 2018 septembre 2019)

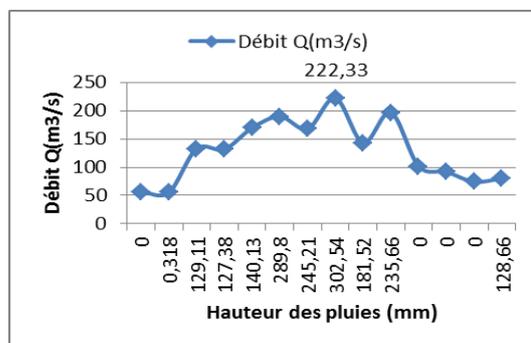


Figure 4d : variation du débit en fonction de la pluviométrie (Aout 2018-septembre 2019)

Station : Confluence

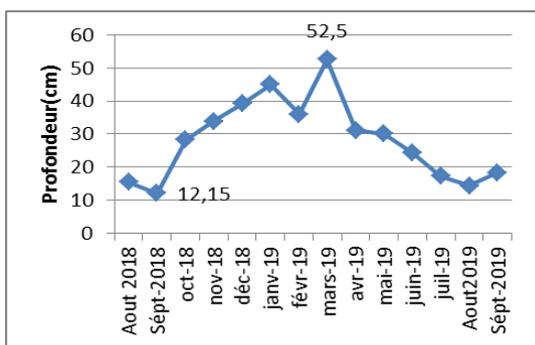


Figure 5a : variation de la profondeur au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

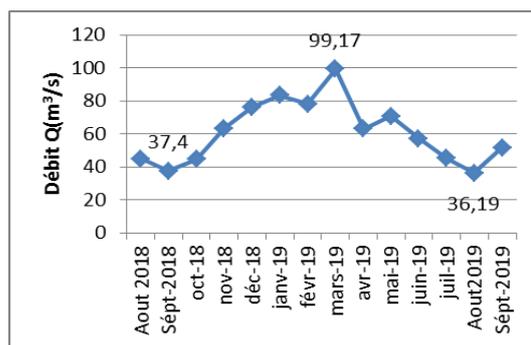


Figure 5b : variation du débit au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

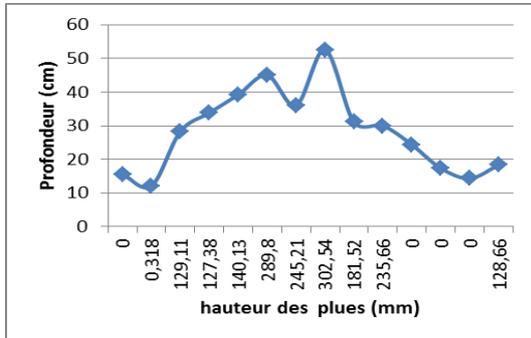


Figure 5c : variation de la profondeur en fonction de la pluviométrie (Aout 2018 septembre 2019).

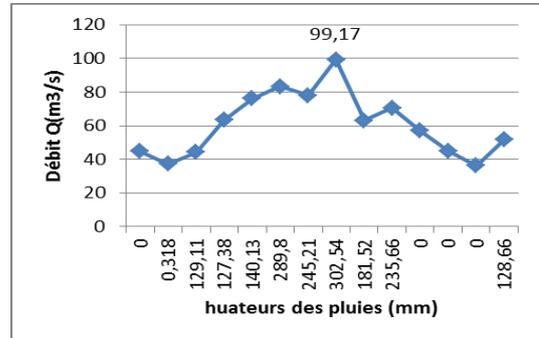


Figure 5d : variation du débit en fonction de la pluviométrie (Aout 2018-septembre 2019)

Station : Moubidi

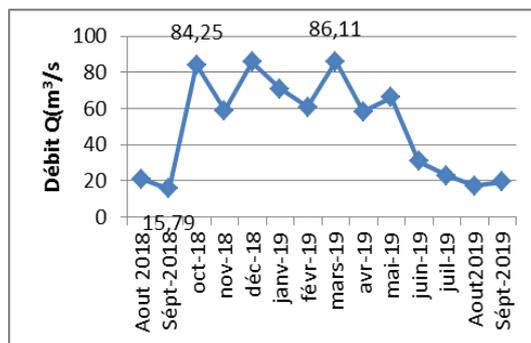


Figure 6b : variation du débit au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

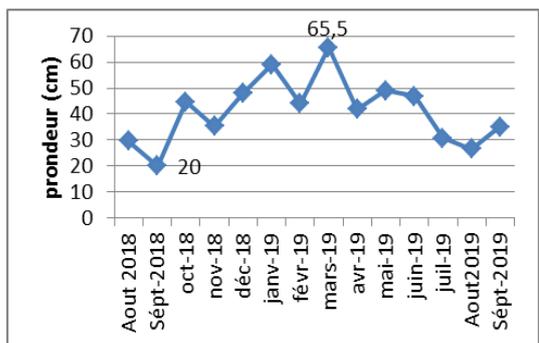


Figure 6a : variation de la profondeur au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre)

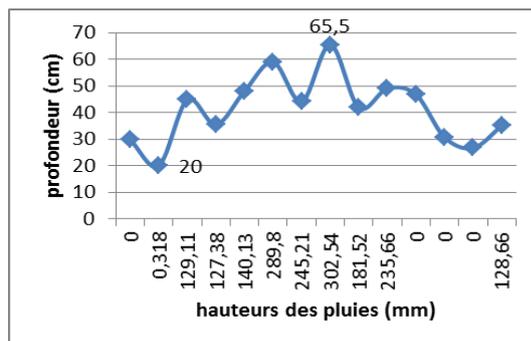


Figure 6c : variation de la profondeur en fonction de la pluviométrie (Aout 2018 septembre 2019)

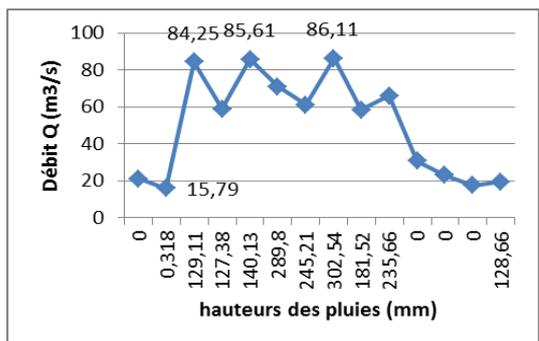


Figure 6d : variation du débit en fonction de la pluviométrie (Aout 2018-septembre 2019)

Station : Chapelle

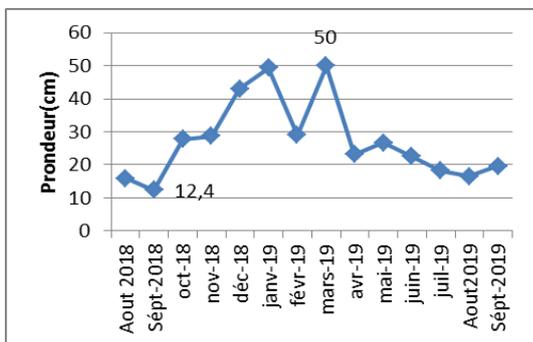


Figure 7a : variation de la profondeur au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

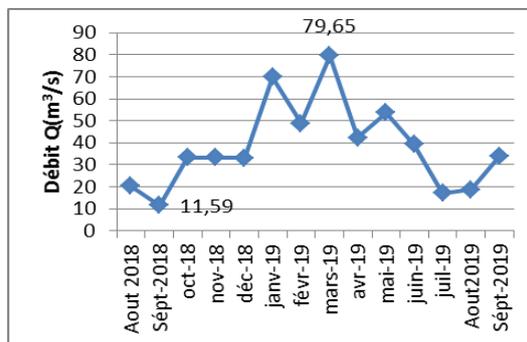


Figure 7b : variation du débit au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

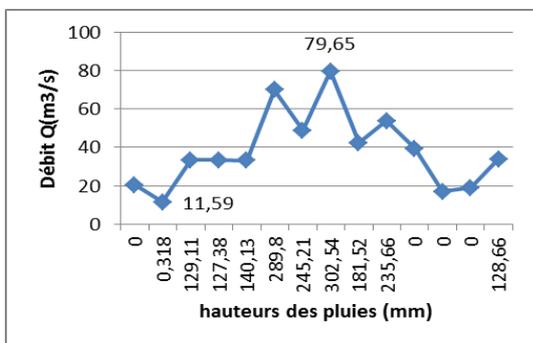


Figure 7d : variation du débit en fonction de la pluviométrie (Aout 2018-septembre 2019)

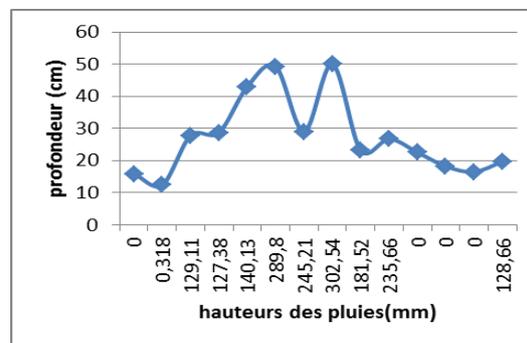


Figure 7c : variation de la profondeur en fonction de la pluviométrie (Aout 2018-septembre 2019)

Station Mazansi

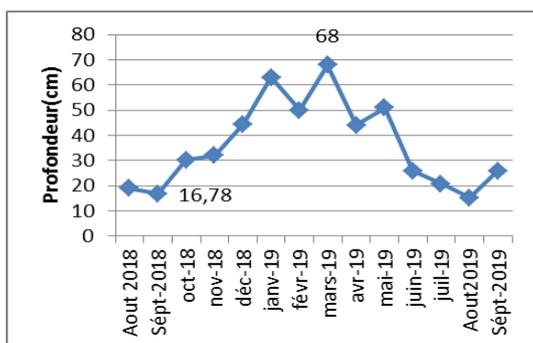


Figure 8a : variation de la profondeur au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

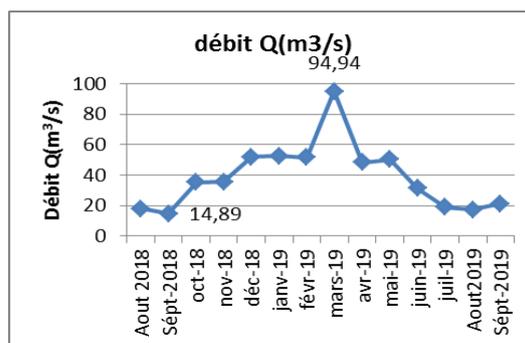


Figure 8b : variation du débit au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

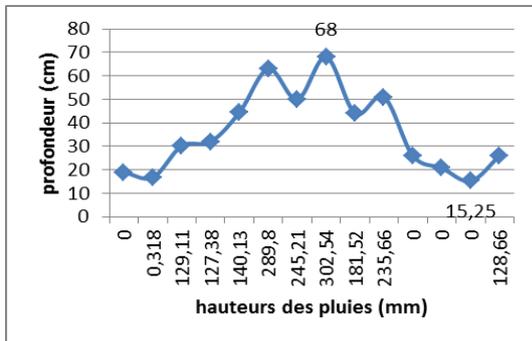


Figure 8c : variation de la profondeur en fonction de la pluviométrie (Aout 2018 septembre 2019)

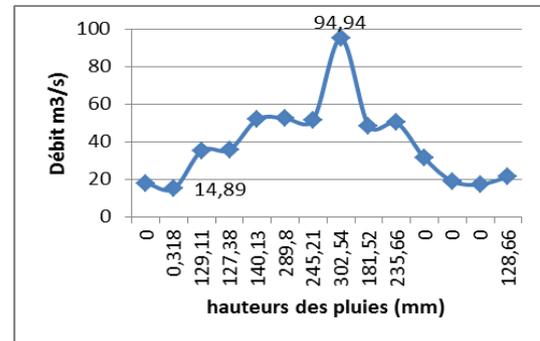


Figure 8d : variation du débit en fonction de la pluviométrie (Aout 2018-septembre 2019)

Station : Siloa

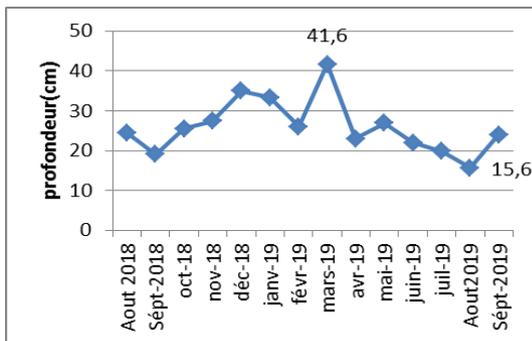


Figure 9a : variation de la profondeur au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

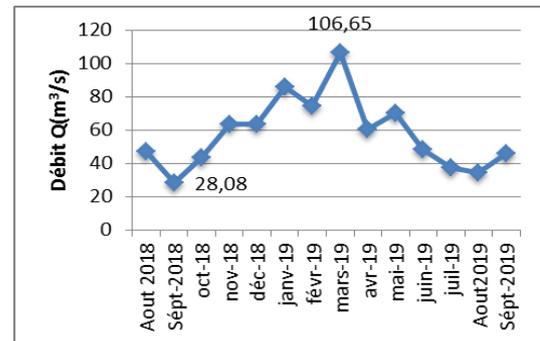


Figure 9b : variation du débit au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

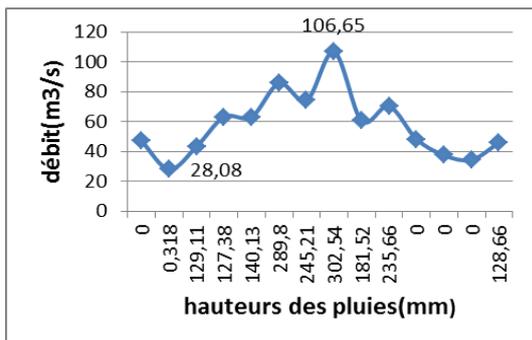


Figure 9c : variation de la profondeur en fonction de la pluviométrie (Aout 2018 septembre 2019)

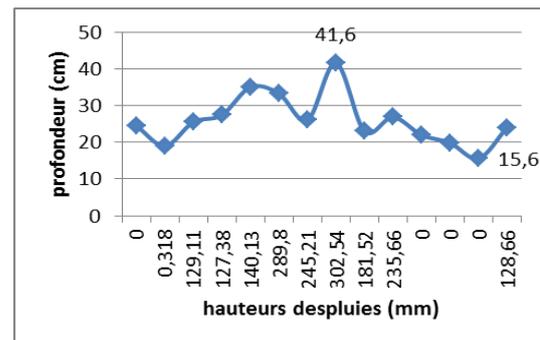


Figure 9d : variation du débit en fonction de la pluviométrie (Aout 2018-septembre 2019)

Station : Loutété

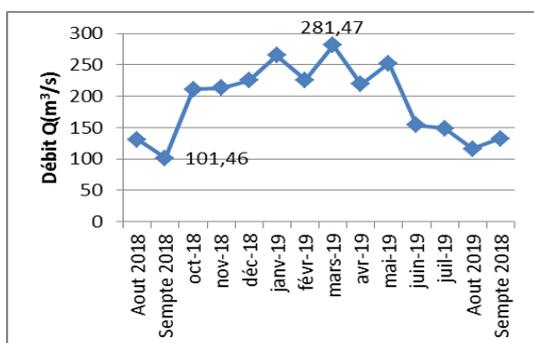


Figure 10a : variation de la profondeur au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

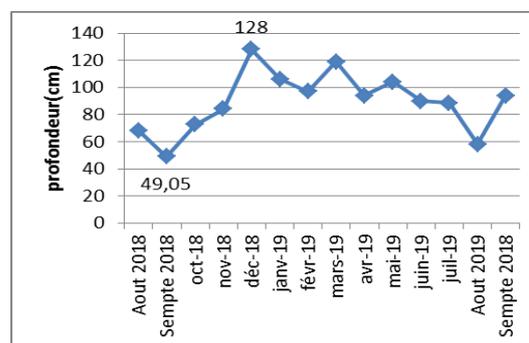


Figure 10b : variation du débit au cours de la période d'étude (Aout 2018-septembre 2019)

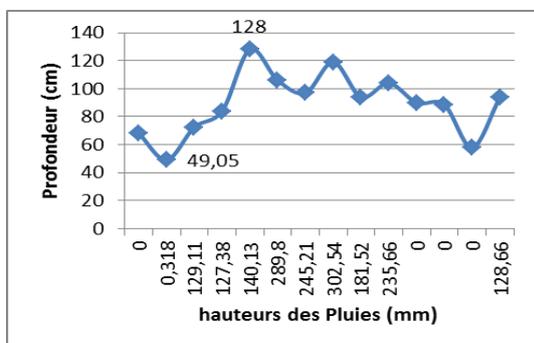


Figure 10c : variation de la profondeur en fonction de la pluviométrie (Aout 2018)

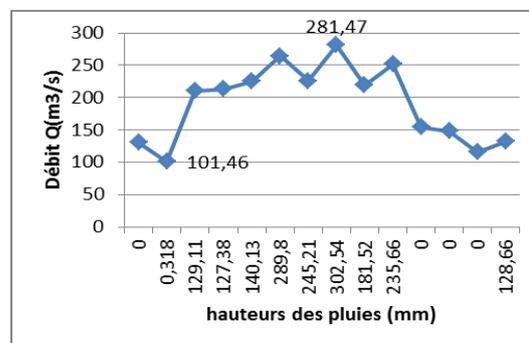


Figure 10d : variation du débit en fonction de la pluviométrie (Aout 2018-septembre 2019)

Tableau 3
Ecart type des paramètres du collecteur principal (la Loutété)

	Largeur	Prof. (cm)	Surface (m ²)	Vms (m/s)	Débit Q (m ³ .s ⁻¹)
Maxi	13,8	128	480,24	0,58	281,47
Mini	11,8	49,05	410,64	0,25	101,46
Moyenne	12,61	89,44	438,94	0,42	191,07
Écart-type	0,62	22,07	21,83	0,11	59,03

Les différents paramètres calculés montrent que chaque cours d'eau a sa propre évolution en fonction du temps, mais toujours dépendant du régime pluviométrique.

Au rythme du régime pluviométrique, les cours d'eau présentent un régime à deux phases :

- Une phase des basses eaux qui couvre la période de saison sèche,
- Une phase des hautes eaux ; phase couvrant toute la saison de pluies.

Pendant la période d'étude, les courbes de variation des débits mensuels calculés au niveau des différentes

stations montrent des variations considérables entre les différentes stations.

La rivière Moukanda montre un débit minimal de $55,8 \pm 0,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au mois de Septembre 2018 avec une profondeur de $12,4 \pm 0,3 \text{ cm}$ et un débit maximal de $222,33 \pm 0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour une profondeur de $28,66 \pm 0,2 \text{ cm}$ (figures 4a, 4b).

A la station de la confluence, le débit minimal de $36,19 \pm 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ est obtenu au mois d'Aout 2019, pour une profondeur minimale de $12,15 \pm 1 \text{ cm}$ (figures 5a,b) et le débit maximal est de $99,17 \pm 2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ avec une profondeur maximale de $52,5 \pm 0,2 \text{ cm}$.

La station de chapelle montre le débit le plus bas avec un minimal de $11,59 \pm 1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ce débit est calculé en Septembre 2018 et une profondeur de $12,4 \pm 0,9 \text{ cm}$. Son débit maximal est de $79,65 \pm 0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au mois de Mars 2019, pour une profondeur maximale de $50 \pm 0,2 \text{ cm}$ (figures 7a,b) ;

Quant à la station de Moubidi, le débit minimal de $15,79 \pm 2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ est évalué au mois de Septembre 2018 avec une profondeur minimale de $20 \pm 0,6 \text{ cm}$, le débit maximal étant de $86 \pm 0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et la profondeur maximale $65,5 \pm 0,3 \text{ cm}$ évalués au mois de Mars 2019 (figures 6a, b).

La station Mazansi est comparable à la station de la chapelle, son débit minimal évalué au mois d'Aout 2018 est de $14,89 \pm 1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour une profondeur minimale de $15,25 \pm 1,0 \text{ cm}$, et le débit maximal de $94,94 \pm 0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour une profondeur de $68 \pm 0,29 \text{ cm}$ ont été évalués comme le reste des stations au mois de Mars (figures 8a,b). Les deux autres stations, à savoir la station Siloa et Loutété (le collecteur principal du bassin), se trouvent respectivement en amont et en aval du bassin. La Siloa se trouve à l'altitude la plus haute, avec un débit minimal de $28,08 \pm 0,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ calculé au mois d'Aout 2018 pour une profondeur minimale de $15,5 \pm 0,4 \text{ cm}$ comme le reste des stations le débit maximal de $106,65 \pm 0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ avec une profondeur de $41,6 \pm 0,1 \text{ cm}$ sont calculés et mesurés au mois de Mars. La station de la Loutété qui est le principal collecteur du bassin à un débit minimal et maximal les plus élevés respectivement à $101,46 \pm 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au mois de Septembre 2018 et $281,47 \pm 0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ évalué en Mars 2019 ; pour les mêmes périodes les profondeurs mesurées sont respectivement $49,05 \pm 0,4 \text{ cm}$ et $128 \pm 0,1 \text{ cm}$ (figures 10a,b). La somme totale des débits minimaux des affluents de la Loutété est de $106,54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et pour la Loutété collecteur principal est de $101,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ces résultats montrent la fiabilité de la méthode jaugeage à flotteur utilisée au cours l'étude.

Les résultats des débits calculés pendant cette période d'étude montrent que la variation du débit est fonction du rythme d'évolution de la pluviométrie. Dans toutes les stations, le coefficient de corrélation entre débit et pluviométrie est très élevé variant entre 0,78 à 0,91 suivant les stations. Les courbes débit-pluie illustrent bien la parfaite corrélation entre les deux paramètres au niveau du bassin versant. Sans doute, la variation des débits dans le bassin versant est marquée par la quantité

des pluies tombées dans le bassin versant comme l'a également constaté Mbilou Urbain *et al.* [11], au niveau de la rivière N'djili à Djambala dans le plateau Batéké.

La quantité de pluies tombée dans le bassin versant influence nettement la variation du débit dans le bassin.

Les courbes profondeur-pluviométrie montrent une parfaite corrélation entre les deux paramètres d'après leurs valeurs, avec un coefficient de corrélation qui varie suivant les rivières de 0,38 à 0,95. Ainsi, les profondeurs des rivières du bassin versant de la Loutété sont proportionnelles à la quantité de pluies qui tombe dans ce bassin.

Les valeurs des profondeurs sont mesurées directement à partir du limnigraphe. Par contre les valeurs des débits ont été obtenues par calculs. Ces résultats des débits et profondeurs font remarquer deux phases : une phase de croissance de débits et profondeurs témoignent bien les périodes des pluies [13]. De ce fait, en rapport avec les pluies, il est à noter dans la zone d'étude, une période de forte augmentation des débits dans tout le bassin, période allant d'Octobre à mi-Mai avec un fléchissement entre Janvier-Février. Fléchissement qui correspond parfaitement à la petite saison sèche. La seconde phase est celle de décroissance des débits et profondeurs qu'on peut appeler période de décrues ou d'étiages ou de basses eaux [1,15]. Au cours de cette période, qui va de mi-Mai à fin Septembre, les débits et les profondeurs varient considérablement comme le montre les Ecart types du tableau 3 des paramètres. Ce qui caractérise cette période d'étiage est la décroissance continue et progressive des débits et profondeurs.

Cependant, vers la fin du mois de Septembre on note un semblant de stabilité qui serait tributaire à la remontée de la nappe [1]. C'est pour autant dire que le niveau d'eau peut facilement arriver à un niveau inférieur lorsque la nappe s'évide. Le débit de base est pour ainsi dire fourni en cette période par le tarissement de la nappe des plateaux batéké [15], car pour la Bouenza une partie de son bassin est comprise dans les plateaux Batéké.

La comparaison des résultats vont en parfaite harmonie avec ceux obtenus par Hiez *et al.* [1] sur les cours d'eau du bassin du Niari, sauf que les débits obtenus dans le bassin de la Loutété sont plus faibles par rapport aux débits des cours d'eau étudiés par les mêmes auteurs. Les profondeurs varient entre 11 cm à 1,5 m

suivant les rivières sauf sur la Loutété où les profondeurs atteignent des fois 3 à 5 m en périodes de fortes crues.

D'autre part, lorsqu'on compare l'évolution des paramètres étudiés par rapport aux observations menées par Olivry [15] et Mbilou Urbain [11], sur les plateaux Batéké, nous pouvons remarquer que le régime de fonctionnement des rivières du bassin hydrologique de la Loutété est très irrégulier malgré les analogies constatées au niveau des débits qui sont faibles de part et d'autre. Quant aux rivières des plateaux Batéké, le régime des rivières sont réguliers et cela est tributaire à l'homogénéité du sol [15], sol issu de sable. Par contre les sols du bassin versant de la Loutété sont des sols issus de formations du schisto-calcaire. Les formations sont très hétérogènes avec une faible perméabilité. Selon Hiez *et al.* [1] et Moukolo [16], dans les formations des Schisto-calcaires la circulation observée est karstique.

De plus, le fait marquant au cours de l'étude est le rythme de tarissement des cours d'eau dans le bassin de la Loutété. Les cours d'eau Siloa et Mandzassi montrent une dynamique qui semble se distinguer des autres cours d'eau. Le débit présente un pic bien marqué mais surtout la vitesse de tarissement est rapide. La chute rapide tant du débit que de la profondeur est occasionnée par les pentes qui sont plus élevées par rapport à d'autres zones, mais aussi à l'influence retardatrice de la végétation sur le ruissellement.

Les largeurs des rivières du bassin versant de la Loutété évoluent en fonction de la quantité de pluies tombée dans la zone. De toutes les rivières, seules la Loutété a une largeur variante entre 11 et 13 m. La Loutété en période des fortes crues atteint souvent une largeur de 40 m. Les autres rivières ont une largeur faible variant entre 1 et 6 m. La variation de largeur dans le bassin versant de la Loutété n'est pas totalement linéaire comme le montre les résultats.

Dans l'ensemble du bassin, les paramètres hydrologiques montrent d'importantes variations mensuelles, mais aussi saisonnières. Nous pouvons dire que les résultats obtenus montrent bien que l'absence des pluies pendant de longues périodes entrainerait un tarissement des rivières du bassin.

Cependant, la garantie dans cette zone est la régularité des pluies qui conduit à l'écoulement permanent dans le bassin.

4. Conclusion

De par son relief accidenté et le type des formations géologiques de nature carbonatée, les études directes à base des forages au niveau du bassin de la Loutété sont quasiment absentes. Il manque des structures de distributions d'eau potable dans la zone d'étude. Par conséquent, pour des besoins d'activités domestique et agropastorale, l'eau est directement captée brute sur les cours d'eau.

Au cours de la période d'étude, nous avons pu noter les variations des paramètres hydrologiques des rivières du bassin versant de la Loutété qui subissent une influence climatique considérable. Les variations observées au cours de la période d'étude sont : les variations de débit, de largeur, de profondeur, mais aussi celle des précipitations. Les plus influents des paramètres sont les variations des précipitations qui entraînent les variations des débits. Cependant dans tout le bassin, le constat est que les variations des précipitations influencent directement les débits, profondeurs et largeurs chaque mois.

Les résultats obtenus pourrait permettre aux décideurs publics voire privés en charge de la question de l'eau de prendre des mesures concrètes afin que le bassin hydrologique de la Loutété soit vraiment l'unité d'alimentation en eau pour les populations, en outre, dans une zone dont les données sur l'hydrologie du bassin sont presque inexistantes, ces résultats contribueront à la bonne connaissance du fonctionnement du bassin versant de la Loutété.

Références

- [1] Hiez G., billon B., Touchebeauf P. et Chaupeeron P., (1965). Quinze ans de travaux et recherches dans le pays du Niari Hydrologie du bassin supérieur du Niari (en amont de Loudima). ORSTOM section hydrologie. 167p. Disponible en ligne. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-11/10557.pdf (accédé le 12/04/2021)
- [2] Ministère de l'économie, du plan, de l'aménagement du territoire et de l'intégration du Congo, 2010 : Recensement général de la population et de l'habitat de 2007. Centre national de statistique et des études économiques. 23p.
- [3] Cosson J., (1955). Notice explicative sur les feuilles de Pointe-Noire et Brazzaville. Carte géologique de reconnaissance au 1/500,000, Dir. Min. Géol. AEF, 56p.
- [4] Dadet P., (1969). Notice explicative de la carte géologique de la république du Congo Brazzaville au 1/500000. Mémoire BRGM n° 70, Congo Brazzaville, 103 p.
- [5] Alvarz P., Marn J-C. et Vcat J-C., Formation de l'Inkisi (super groupe ouest-Congolien) en Afrique centrale Congo et bas-Zaïre : un delta d'âge paléozoïque comblant au bassin en extension, 20

- (2) (1995) : 119-131. [https://doi.org/10.1016/0899-5362\(95\)00038-U](https://doi.org/10.1016/0899-5362(95)00038-U)
- [6] Denis B., Rieffeer J.M., Notice explicative n°60 : Carte pédologique de Madingou du Congo, République Populaire de Congo, à 1/200.000. Éditions ORSTOM, 1975. ISBN 2-709910380-6. Disponible en ligne. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/notexp/07646.pdf (accédé le 13/05/2021)
- [7] Schwartz D., Les podzols tropicaux sur les sables Batékés en R.P. du Congo : description, caractérisation, genèse. ORSTOM, Pointe-Noire (Congo). pp 25-36. Partie d'ouvrage : Podzols et podzolisation, Righi D. (éd.) (1987). Disponible en ligne. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_18-19/24998.pdf (accédé le 10/03/2021)
- [8] Samba-Kimbata M.J., (1991). « *Précipitation et bilan de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges* ». Thèse d'Etat université de Bourgogne, Centre de Recherches de Climatologie, Dijon, France, 241p
- [9] Nouvelot J-F., (1993). Guide des pratiques Hydrologiques sur les petits bassins versants Ruraux en Afrique Tropicale et Équatoriale CIEH, Doc. ORSTOM. 547p.
- [10] Cumps F. (FHR). Hydrométrie, mesure de débits liquides et solides. Borgerhout. (2008), 87p.
- [11] Mbilou Urbain G., Masdingam A. et Nganga D., Variation spatio-temporelle des paramètres hydrodynamiques de la rivière N'djili à Djambala (République du Congo), Vol 3, n°007, (2016) 17p
- [12] Laborde J.P. (2009). Éléments d'hydrologie de surface. École polytechnique de l'université de Nice - Sophia Antipolis, France, p192.
- [13] Roche M., (1963), Hydrologie de surface, Gauthier-Villars Éditeur, Paris, 431p. Disponible en ligne. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-11/02081.pdf (accédé le 11/05/2021)
- [14] Rodier J. (1964), Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'ouest du Congo, Doc ORSTOM, Paris, 163p. Disponible en ligne. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_2/memoires/11079.pdf (accédé le 13/05/2021)
- [15] Olivry J-C., (1967). Régimes hydrogéologiques des rivières des plateaux Batéké (Léfini, Nkéni, Alima), Rapport ORSTOM Brazzaville-ORSTOM. Annales hydrogéologiques. p65. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers12-08/33157.pdf (accédé le 28/05/2021)
- [16] Moukolo N., (2000). « *Le bassin du fleuve Congo. Modalité des écoulements de surface et souterrains. Approche des échanges hydrodynamique surface/souterrain en milieu continu (Hydrologie-Hydrogéologie-Hydrochimie)* ». Thèse de doctorat, Univ. Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 208p.



Évaluation de la stabilité oxydative de l'huile de tournesol aromatisée par l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* Asso

BOUZIDI Nebia* et BOUAHADI Djilali,

Laboratoire de recherche sur le géo-environnement et le développement des espaces. Université de Mascara- BP. 763, Sidi Saïd, 29000, Algérie.

Résumé

L'objectif de cette étude était d'évaluer la stabilité oxydative de l'huile de tournesol en présence de l'huile essentielle de l'armoise blanche « *Artemisia herba alba* ». L'huile essentielle des parties aériennes de l'armoise blanche a été isolée par la méthode d'hydrodistillation. Différentes doses de cette huile ont été ajoutées à l'huile de tournesol. La stabilité de l'huile à l'oxydation a été évaluée après un traitement thermique à 180 °C/heure et pendant 15 jours de stockage à température ambiante en analysant l'indice de peroxyde, les diènes conjugués et les triènes conjugués. Les résultats obtenus ont montré que l'huile essentielle étudiée inhibe la formation de produits d'oxydation après le traitement thermique et pendant le stockage de l'huile de tournesol. Donc, d'après les résultats de cette recherche, l'huile essentielle de l'armoise blanche peut être utilisée pour augmenter la stabilité oxydative des huiles végétales.

Mots-clés : *Artemisia herba alba* ; Huile essentielle ; Huile de tournesol ; Oxydation ; Stabilité oxydative

Evaluation of the oxidative stability of sunflower oil flavored with essential oil of Artemisia herba alba Asso

Abstract

The objective of this study was to evaluate the oxidative stability of sunflower oil in the presence of the essential oil of the white wormwood « *Artemisia herba alba* ». The essential oil of the aerial parts of the white wormwood was isolated by the hydrodistillation method. Different doses of the essential oil were added to the sunflower oil. The oxidative stability of the oil was evaluated after heat treatment at 180°C/hour and during 15 days of storage at room temperature by analyzing the peroxide value, conjugated dienes and conjugated trienes. The results obtained showed that the studied essential oil inhibits the formation of oxidation products after heat treatment and during storage of sunflower oil. According to the results of this research, the essential oil of white Mugwort can be used to increase the oxidative stability of vegetable oils.

Keywords: *Artemisia herba alba*; Essential oil; Sunflower oil; Oxidation; Oxidative stability

1. Introduction

La dégradation oxydative des lipides est l'un des principaux facteurs limitant la durée de conservation des produits alimentaires. La maîtrise de l'oxydation est indispensable pour gérer l'évolution des aliments dont la dégradation peut avoir des conséquences indésirables en sécurité alimentaire. Parmi les diverses solutions technologiques possibles, l'addition d'agents antioxydants aux huiles et aux aliments riches en lipides qui est pratiquée depuis forts longtemps. Toutefois, les antioxydants synthétiques comme le Butylhydroxytoluène (BHT) et le Butylhydroxyanisole (BHA) ont des effets négatifs sur la santé humaine et sont

facilement volatiles à haute température. L'ampleur de ce problème a fait que les antioxydants naturels sont de plus en plus recommandés pour remplacer les antioxydants synthétiques [1]. Outre leur utilisation comme additifs aromatiques dans les aliments, les huiles essentielles (HE) de plantes aromatiques ont montré qu'elles pouvaient être utilisées en petites quantités dans les systèmes alimentaires contenant des graisses pour prévenir ou retarder certains types de détérioration chimique [2], et de minimiser ou d'éviter l'utilisation d'additifs alimentaires synthétiques [3-6].

Les huiles essentielles, qui sont les métabolites secondaires produits dans les différents tissus des plantes médicinales, sont des mélanges complexes de composés



volatils tels que les terpènes (principalement des monoterpènes et des sesquiterpènes), des phénols et les alcools [7]. Grâce à leur composition chimique, les huiles essentielles possèdent de nombreuses activités biologiques (antioxydante, anti-inflammatoire, antimicrobienne, insecticides ... etc.) d'un grand intérêt pour les industries alimentaires et cosmétiques, ainsi que dans le domaine de la santé humaine [8-10]. En général, les huiles essentielles sont extraites de diverses plantes médicinales et aromatiques.

Les *Asteraceae* (*Compositae*) sont la plus vaste famille de phanérogames, avec 950 genres et plus de 20.000 espèces [11]. Le genre *Artemisia* comprend des plantes médicinales importantes qui font actuellement l'objet d'une attention phytochimique en raison de leur diversité biologique et chimique [12]. Plus d'une dizaine d'espèces d'armoise « *Artemisia* » ont été déterminées en Algérie ; certaines sont rares et disséminées en hautes montagnes, ou cantonnées dans certaines limites ; d'autres sont au contraire particulièrement abondantes et répandues sur de grandes étendues, par exemple : *Artemisia herba alba* (Chih), espèce typique du paysage steppique et saharien [13]. Au cours des dernières décennies, l'huile essentielle de l'armoise blanche a été soigneusement étudiée [14-23]. L'objectif de ce travail était d'évaluer l'effet de différentes doses de l'huile essentielle de l'armoise blanche sur la stabilité oxydative de l'huile de tournesol.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériels utilisés

2.1.1. Matériel végétal

La partie aérienne (feuilles et sommités fleuries) de l'armoise blanche a été récoltée de la station de sidi Ahmed (Wilaya de Saida) à l'interface Tell-Steppe au Nord-Ouest de l'Algérie (34°33'00" Nord, 0°15'35" Est).

2.1.2. Extraction de l'huile de tournesol

L'huile de tournesol est extraite des graines d'*Helianthus annuus* par hydrodistillation (100 g de matière végétale) pendant 4 heures. L'huile recueillie a été séchée sur du sulfate de sodium anhydre et maintenue à l'obscurité à 4 °C jusqu'à son utilisation [24]. Après

l'extraction, l'huile obtenue est d'une couleur jaune pâle avec un aspect liquide et une odeur forte et agréable.

L'huile de tournesol est la quatrième huile par ordre d'importance dans le monde [25]. Elle est utilisée dans la cuisson, la friture et la fabrication de margarine [26]. Toutefois, sa forte teneur en acides gras insaturés (AG) renforce sa sensibilité à l'oxydation [26, 27].

3. Évaluation de la stabilité thermique de l'huile de tournesol

3.1. Préparation des échantillons de l'huile de tournesol

Plusieurs méthodes ont été proposées pour évaluer la qualité des huiles comestibles. La plupart de ces méthodes soumettent un échantillon à des conditions qui accélèrent le processus normal d'oxydation [28]. Différentes doses de l'huile essentielle (5 µL ; 10 µL ; 15 µL et 20 µL) ont été additionnées à 100 mL d'huile de tournesol. Le choix de ces doses a été effectué de telle façon qu'elles n'altèrent pas les caractéristiques organoleptiques (couleur, odeur) de l'huile de tournesol. Les échantillons ainsi préparés ont subi un traitement thermique à 180 °C pendant 1 heure. Ce traitement thermique permet d'accélérer la vitesse de l'oxydation de l'huile de tournesol. Nous avons procédé à une comparaison avec un antioxydant usuel le α -tocophérol. Le suivi de l'état oxydatif de l'huile de tournesol a été réalisé par la mesure de l'indice de peroxyde et la détermination de l'absorbance spécifique en rayonnement ultra-violet.

3.2. Détermination de l'indice de peroxyde

L'indice de peroxyde d'un corps gras est le nombre de microgrammes actif du peroxyde contenu dans un gramme de produit et oxydant l'iodure de potassium avec libération d'iode dans les conditions de la méthode décrite [29]. Une prise d'essai de 2 g a été ajoutée à 10 mL de chloroforme, 15 mL d'acide acétique pure et 1 mL de solution d'iodure de potassium saturée. Le flacon a été bouché, agité et laissé à l'abri de la lumière pendant 5 mn. Il s'ensuit une libération d'iode par action de peroxyde sur l'iodure de potassium. 75 mL d'eau distillée ont été ajoutés avec quelques gouttes d'empois d'amidon puis le mélange a été titré avec une solution de

thiosulfate de sodium 0,01N. Parallèlement et simultanément, un essai à blanc a été préparé sans l'utilisation de corps gras.

L'indice de peroxyde (Ip) est exprimé en milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme de corps gras selon la formule suivante :

$$Ip = [(V \times T) / E] \times 1000 \quad (1)$$

où V est le volume de la solution de thiosulfate de sodium utilisée pour l'essai, corrigé compte tenu de l'essai à blanc, exprimé en millilitres de solution et E la masse, en grammes, de la prise d'essai [29].

3.3. Détermination de l'absorbance spécifique en rayonnement ultra-violet

Dans une fiole jaugée de 25 mL, une quantité de l'échantillon pour essai (0,05 à 0,25 g) a été dissoute avec quelques millilitres de cyclohexane, puis le mélange a été complété jusqu'au trait repère avec le même solvant. Enfin, l'absorbance de la solution a été mesurée, dans une cuve en quartz, par rapport à celle du solvant, à l'aide du spectrophotomètre à des longueurs d'onde comprises entre 225 et 320 nm. L'absorbance spécifique d'une solution à la concentration de 1 % mesurée en utilisant un parcours optique de 1 cm à une longueur d'onde λ est donnée par la formule [29] :

$$E_{1\text{ cm}}^{1\%}(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{c \cdot d} \quad (2)$$

où $A(\lambda)$ est l'absorbance à la longueur d'onde λ ; C la concentration de la solution en gramme pour 100 mL et D le Chemin optique (1 cm)

3.4. Analyse statistique

Toutes les expériences ont été réalisées en triplicate et les résultats sont présentés sous formes de valeur moyennes \pm écart-type. L'analyse statistique des données a été effectuée par analyse de variance (ANOVA) et le test de PPDS de Scheff¹.

4. Résultats

4.1. Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde est une mesure largement utilisée pour mesurer la quantité des peroxydes formés dans les graisses et les huiles lors de l'oxydation [30]. Les valeurs de l'indice de peroxyde des différents échantillons de l'huile de tournesol en présence de différentes doses de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* et de l' α -Tocophérol sont reportés sur les figures 1 et 2.

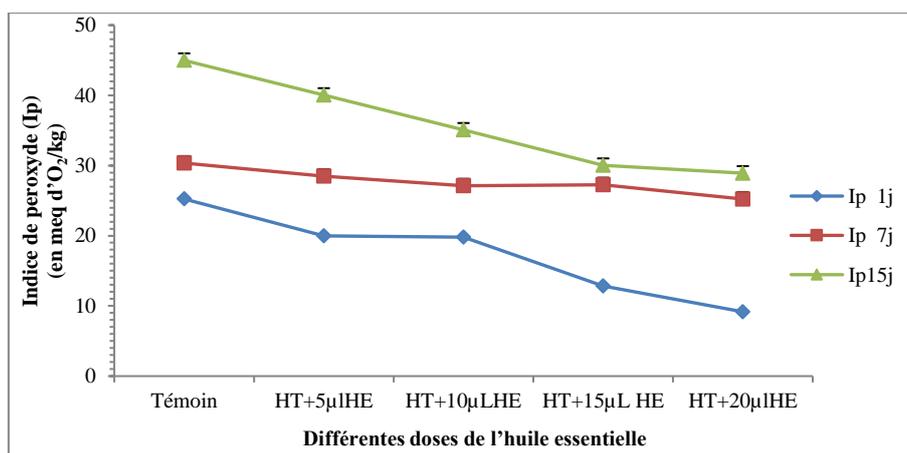


Figure 1 : Évolution de l'indice de peroxyde (Ip) (en meq d'O₂.kg⁻¹) dans l'huile de tournesol chauffée en présence de différentes doses de l'huile essentielle

¹ PPDS : La Plus Petite Différence Significative. Ce test permet de comparer la différence entre 2 moyennes par rapport à une valeur seuil.

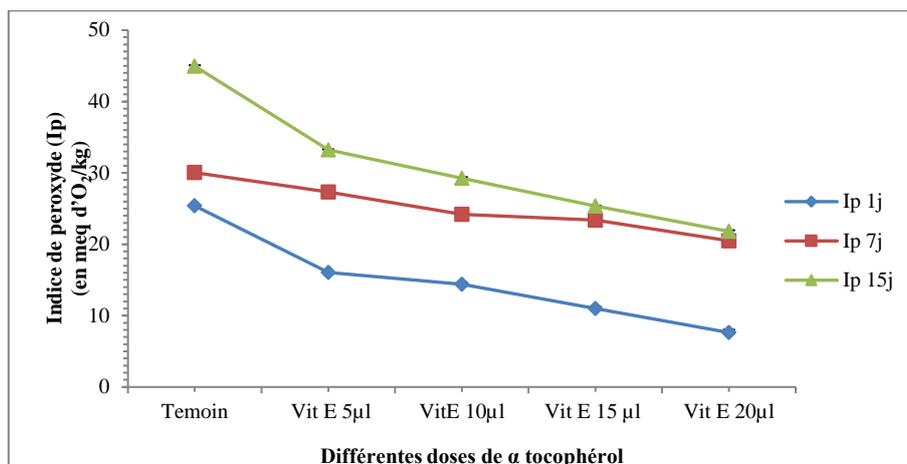


Figure 2 : Variation de l'indice de peroxyde (Ip) (en meq d'O₂.kg⁻¹) dans l'huile de tournesol chauffée en présence de différentes doses de α tocophérol

L'indice de peroxyde augmente après le traitement thermique dans tous les échantillons. L'augmentation est considérablement plus élevée dans l'huile témoin ($24,5 \pm 0,305$ meq d'O₂.kg⁻¹) par rapport aux échantillons dans laquelle différentes doses de l'huile essentielle de l'armoise ($19,98 \pm 0,121$ meq d'O₂.kg⁻¹ à $9,16 \pm 0,65$ meq d'O₂.kg⁻¹) et de l' α -Tocophérol ($16,04 \pm 0,052$ meq d'O₂.kg⁻¹ à $7,63 \pm 0,16$ meq d'O₂.kg⁻¹) sont incorporées. Une diminution se produit dans l'indice de peroxyde après le 7^{ème} et le 15^{ème} jour de stockage.

4.2. Absorbance spécifique en rayonnement ultra-violet

L'analyse des diènes et des triènes conjugués est une méthode rapide réalisée par mesure spectro-

photométrique sur l'extrait lipidique dans l'hexane, le cyclohexane ou des alcools. La détermination de l'absorbance E1 cm(λ) 1 % à 225 nm ou au voisinage de 320 nm permet la détection du dosage des acides gras conjugués et, éventuellement, des produits d'oxydation conjugués présents dans les corps gras [29].

Les figures 3 et 4 illustrent l'évolution des diènes et des triènes conjugués dans l'huile de tournesol en présence de différentes doses de l'HE et de l' α tocophérol.

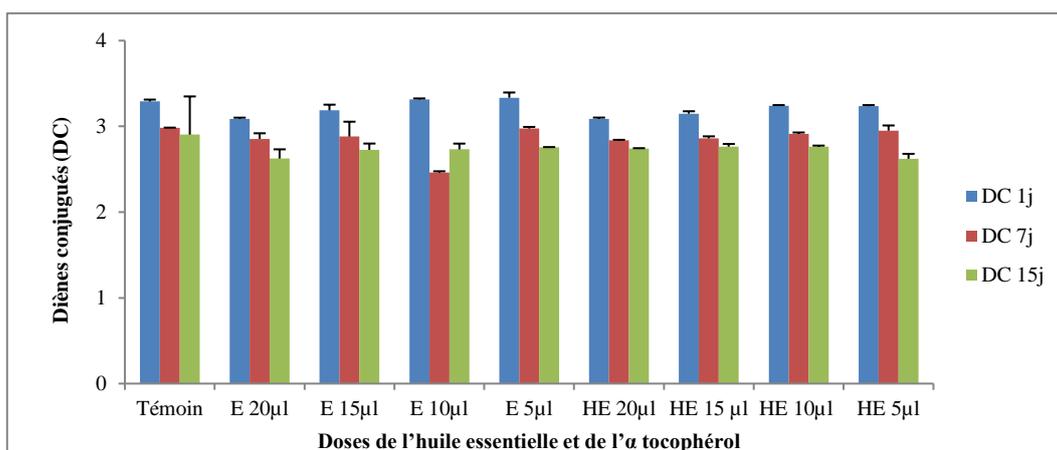


Figure 3 : Évolution des diènes conjugués (DC) dans les échantillons de l'huile de tournesol additionnés de différentes doses de l'huile essentielle et de l' α tocophérol

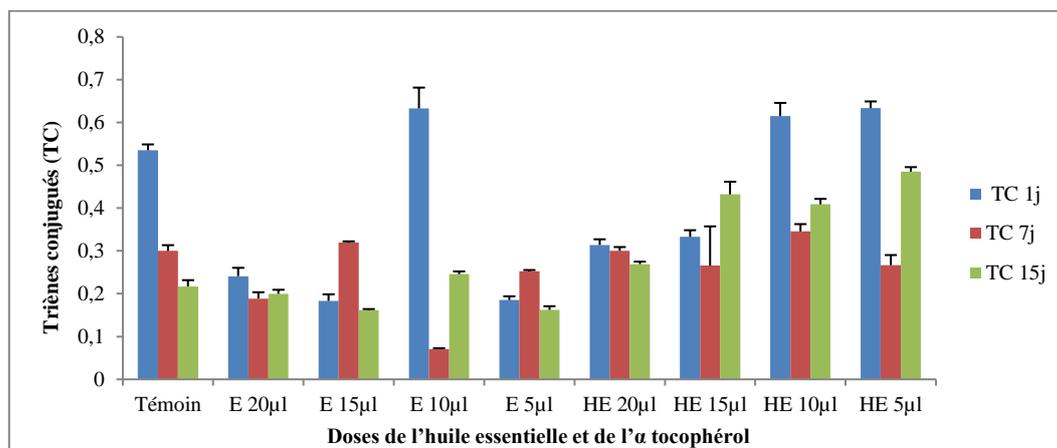


Figure 4 : Évolution des triènes conjugués (TC) dans les échantillons de l'huile de tournesol additionnés de différentes doses de l'huile essentielle et de l' α tocophérol

Les résultats trouvés montrent une augmentation des teneurs en diènes et en triènes conjugués dans tous les échantillons après le traitement thermique. Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées dans le témoin $3,29 \pm 0,021$ et $0,30 \pm 0,013$ pour les diènes et les triènes conjugués respectivement. Le taux de formation des diènes et des triènes conjugués était plus élevé le 1^{er} jour et diminuait pendant le stockage.

5. Discussion

L'évaluation de la stabilité thermique des corps gras peut répondre à plusieurs objectifs tels que l'évaluation de l'efficacité des antioxydants, la résistance d'une matière grasse à l'oxydation et la détermination de la durabilité d'un corps gras [31]. La possibilité d'utilisation des huiles essentielles, en tant qu'antioxydants, dépend de la facilité de leur incorporation dans la matrice alimentaire et de leur efficacité à faibles doses. Elles ne doivent pas être toxiques, ni entraîner coloration, odeur, ou des saveurs indésirables. Elles doivent être résistantes aux processus technologiques et stables dans le produit fini [32].

Dans cette recherche, l'activité antioxydante de l'huile essentielle de l'armoise blanche à différentes doses a été évaluée dans l'huile de tournesol.

5.1. Indice de peroxyde

Une augmentation remarquable de l'indice de peroxyde a été enregistrée dans l'huile de tournesol

témoin sous l'effet du traitement thermique. L'huile de tournesol témoin, avant le traitement thermique, possédait un indice de peroxyde de $6 \pm 0,064$ meq d' $O_2.kg^{-1}$. Cette valeur passait à $24,5 \pm 0,305$ meq d' $O_2.kg^{-1}$ après le traitement thermique à 180 °C. Il semble qu'il y a eu un début d'oxydation très fort après ce traitement. Donc, l'huile de tournesol devenait très fragile et ne peut supporter le traitement thermique.

En comparaison avec le témoin, les autres échantillons additionnés de l'huile essentielle représentaient un indice de peroxyde plus réduit au 1^{er} jour après le traitement thermique (Figure 1). Il semble donc qu'ils sont mieux protégés que le témoin contre l'oxydation. Lorsqu'elle était utilisée à des doses de 15 μ L et 20 μ L, l'huile essentielle réduisait de manière significative ($p < 0,05$) l'indice de peroxyde. Par comparaison, 5 μ L de l'huile essentielle était moins efficace pour réduire l'indice de peroxyde après le traitement thermique. L'oxydation est le principal mécanisme de dégradation des huiles entre 60 et 130 °C en raison du contact plus intense avec l'oxygène et la présence de catalyseurs [33].

Durant la période de stockage, une augmentation de l'indice de peroxyde a été constatée dans tous les échantillons. Cependant, les valeurs de l'indice de peroxyde des échantillons additionnés de différentes doses de l'H.E. d'*Artemisia herba alba* restaient toujours inférieures à celles du témoin stocké dans les mêmes conditions.

Les valeurs de l'indice de peroxyde étaient comprises entre $24,5 \pm 0,305$ meq d'O₂.kg⁻¹ (1^{er} jour) et $44,98 \pm 0,081$ meq d'O₂.kg⁻¹ (15^{ème} jours) dans le témoin.

Concernant l'huile de tournesol additionnée de différentes doses de l'huile essentielle testée, les valeurs de l'indice de peroxyde variaient de $19,98 \pm 0,121$ meq d'O₂.kg⁻¹ à $9,16 \pm 0,65$ meq d'O₂.kg⁻¹ (1^{er} jour) et $40,02 \pm 0,08$ meq d'O₂.kg⁻¹ à $28,91 \pm 0,065$ meq d'O₂.kg⁻¹ (15^{ème} jours).

Il est aussi très intéressant de remarquer un phénomène très particulier concernant la période de stockage. Plus la dose de l'huile essentielle augmente, plus la différence entre les valeurs du 7^{ème} et 15^{ème} jour diminuait, donnant ainsi l'impression d'une certaine stabilité à long terme contre l'oxydation. De manière générale, l'oxydation plus marquée dans le cas du témoin par rapport aux autres échantillons expliquerait l'effet stabilisateur de l'H.E. d'*A. herba alba*.

De nombreuses études ont démontré les propriétés antioxydantes des huiles essentielles [34-36]. Le potentiel antioxydant d'une huile essentielle dépend de sa composition, car, il est bien établi que les phénols et les métabolites secondaires ayant des doubles liaisons conjuguées présentaient généralement des propriétés antioxydantes substantielles [9].

L'analyse qualitative par CG/SM² de l'huile essentielle de l'armoise blanche testée a permis d'identifier 31 composés correspondant à 99,61 % de la surface des pics totaux. Les résultats obtenus montrent que cette huile est formée principalement du camphre (29,8 %), 1,3-Cyclopentadiène, 1,2,5,5-tetraméthyl- (15,6 %), Chrysanthène (8,2 %) et Eucalyptol (6,5 %). Selon la base de données NIST ([National Institute of Standards and Technology](https://www.nist.gov/))³ utilisée dans l'analyse CG/SM, le composant majeur de cette huile testée est un monoterpène oxygéné [18].

Les huiles essentielles ayant une importante capacité de piégeage des radicaux libres peuvent jouer un rôle important dans la prévention de certaines maladies, telles que le dysfonctionnement du cerveau, le cancer, les maladies cardiaques et le déclin du système immunitaire, qui peuvent résulter de dommages cellulaires causés par les radicaux libres [9].

Il est clair que l'H.E. d'*A. herba alba* a un effet sur l'oxydation par la capacité antiradicalaire et réductrice que possède les terpènes oxygénés qu'elle contient [18, 26] et c'est pourquoi qu'une réduction de l'indice de peroxyde des échantillons auxquels elle a été incorporée se produisait.

Par comparaison avec l'antioxydant de référence, qui est le tocophérol, l'effet antioxydant de l'huile essentielle ressemblait à celui de l'antioxydant de synthèse. Une diminution de peroxydes en 1^{er} jour après traitements thermiques signifierait une protection contre les chocs thermiques, et une réduction des valeurs entre le 7^{ème} et le 15^{ème} jour signifierait une stabilité à long terme. Mais l'effet de l' α -tocophérol était beaucoup plus remarquable avec un indice de peroxyde à la fin de la durée de conservation égale à $21,80 \pm 0,393$ meq d'O₂.kg⁻¹ pour la dose de 20 μ L. Les tocophérols ont pour rôle principale de piéger les radicaux alkoxy et d'inhiber la décomposition des hydroperoxydes, ce qui diminue la formation des aldéhydes [1, 37]. Dans une étude par Himed et Barkat, il a été démontré que l'indice de peroxyde résultant de l'ajout d'huile essentielle d'écorce de citron à l'huile de tournesol était similaire à l'ajout de BHT [36].

Tehseen *et al.* démontraient que les valeurs de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile témoins étaient plus élevées que celles des échantillons d'huile contenant du BHT, du BHA et de l'extrait d'épinard [38]. Cette constatation étant en accord avec nos résultats.

En comparaison avec l'antioxydant standard (α -tocophérol), l'huile essentielle testée semblait à premier regard moins active. Mais avec une réflexion attentive et prudente, Il est intéressant de noter que le α -tocophérol soit une substance chimique pure, alors que l'huile essentielle d'*A. herba alba* utilisée se compose de plusieurs substances naturellement actives et dont l'une ou quelques-unes d'entre elles doivent posséder ce pouvoir antioxydant. Ceci peut nous inviter à penser que si la substance antioxydante contenue dans l'huile essentielle de l'*A. herba alba* sera extraite et purifiée, devrait avoir une efficacité extraordinaire à très faibles doses.

Le traitement statistique des résultats obtenus par l'analyse de la variance montre une différence hautement significative entre les échantillons car le F calculé qui est

² CG/GM : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

³ <https://www.nist.gov/>

de 12,27 est supérieur au F théorique 3,88 à un risque de 1 %. En se référant à l'analyse statistique, on peut suggérer que l'H.E. d'A. *herba alba* exerce une influence très significative sur la teneur en peroxyde de l'huile de tournesol.

En définitive, nous pouvons dire que l'indice de peroxyde représente un des paramètres de qualité des huiles, mais ne peut être un indicateur seul de la stabilité oxydative de l'huile végétale. D'autres paramètres d'oxydations, à savoir les valeurs de diènes conjugués et de triènes conjugués, ont également été mesurés

5.2. Absorbance spécifique en rayonnement ultra-violet

L'analyse spectroscopique est devenue une technique qui fournit des données analytiques sur la dégradation des huiles végétales [39]. L'absorbance spécifique nous renseigne sur les diènes conjugués et les triènes conjugués qui représentent une bonne mesure de l'état d'oxydation des huiles [40]. Les diènes conjugués, produits primaires de l'oxydation des lipides, se forment par réarrangement des doubles liaisons du radical lipoyde des acides gras polyinsaturés [41].

L'analyse des résultats obtenus montrait une évolution des diènes conjugués dans tous les échantillons traités ainsi que dans celui du témoin durant toute la période de stockage.

La dégradation la plus importante a été observée dans le témoin. La forte présence des diènes conjugués traduisait une forte oxydation de cette huile. Ces résultats confirment ceux obtenus par la détermination de l'indice de peroxyde.

Les échantillons additionnés de 20 μ L de l'huile essentielle et de l' α tocophérol présentaient une quantité de diènes conjugués de l'ordre de $3,087 \pm 0,015$ et $3,089 \pm 0,012$ respectivement), qui était inférieure à celle du témoin, indiquant ainsi et certainement une protection de l'huile de tournesol par ces additifs.

L'absorbance à 225 nm diminuait avec la durée de stockage dans tous les échantillons montrant que les diènes conjugués sont utilisés dans les réactions d'arrêts. Il faut rappeler que les diènes conjugués sont des substances intermédiaires, de passage. Leur diminution signifie leur continuation vers les réactions d'arrêt si l'huile n'est pas protégée.

Nous remarquons aussi d'après l'étude statistique que la variation des quantités de diènes conjugués était significative ($p < 0,05$) dans tous les échantillons.

L'évolution des triènes conjugués dans tous les échantillons par la mesure de l'absorbance à 320 nm connaissait la même tendance que celle des diènes conjugués (Figure 4). En effet, les valeurs des triènes conjugués se concordaient d'une manière générale avec celles de l'indice de peroxyde et les diènes conjugués. Les valeurs les plus faibles étaient enregistrées dans l'huile de tournesol chauffée en présence de 20 μ L de l'huile essentielle ($0,314 \pm 0,013$) et de l' α -tocophérol ($0,241 \pm 0,02$). Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Ben Ali *et al.* [42]

L'effet antioxydant des extraits de plantes est aussi remarqué dans d'autres travaux qui ont rapporté que l'absorbance de l'échantillon d'huile témoin était significativement supérieure à celle des échantillons contenant ces extraits [28, 43, 44].

6. Conclusion

Le suivi de l'état oxydatif de l'huile de tournesol chauffée en présence de l'huile essentielle de l'armoise blanche comme additif, a été évalué par l'analyse de quelques paramètres de qualité dont l'indice de peroxyde et l'absorbance spécifique en rayonnement ultra-violet à 225 nm et 320 nm.

D'après les résultats obtenus, des changements considérables ont été observés dans l'huile de tournesol témoin après le traitement thermique et pendant le stockage. L'augmentation de l'indice de peroxyde, de diènes conjugués et de triènes conjugués était considérablement plus élevée dans l'huile sans antioxydant par rapport aux échantillons additionnés de différentes doses de l'huile essentielle de l'armoise blanche et l' α -tocophérol.

Ces résultats nous encouragent à donner plus d'importance aux substances naturelles dans le domaine des additifs alimentaires qui peuvent être l'une des solutions les plus efficaces pour la stabilité des huiles végétales.

Références

- [1] Kahouli I., Effet antioxydant d'extraits de plantes (*Laurus nobilis* L., *Rosmarinus officinalis*, *Origanum majorana*, *Oléa europea*)

- L.) dans l'huile de canola chauffée, Mémoire grade de maître ès sciences (2010). Université Laval Québec. Disponible en ligne : <https://www.collectionscanada.gc.ca/obj/thesescanada/vol2/QQLA/TC-QQLA-26891.pdf> (accédé le 30/02/2021)
- [2] Viudo-Martors M., Navajas Y.R., Zapata E.S., Lepoz J.F., Pérez Alvarez J.A., Antioxidant activity of essential oils of five spice plants widely used in a Mediterranean diet, *Flavour Frag. J.*, 25(1) (2009): 13-19. <https://doi.org/10.1002/ffj.1951>
- [3] Ayadi M.A., Grati Kamoun N., Attia H., Physico-chemical change and heat stability of extra virgin olive oils flavoured by selected Tunisian aromatic plants, *Food chem. Toxicol.*, 47 (10) (2009): 2613-2619. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.07.024>
- [4] Chammema N., Saoudi S., Sifaoui L., Sific S., De Persond M., Abderraba M., Moussa F., Hamdi M., Improvement of vegetable oils quality in frying conditions by adding rosemary extract, *Ind. Crops Prod.*, 74 (2015): 592-599. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.054>
- [5] Taghvaei M. & Jafari S.M., Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives, *J. food Sci. Technol.*, 53 (3) (2015): 1272-1282. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1080-1>
- [6] Chamdran J., Nayana N., Roshini N., Nicha P., Oxidative stability thermal stability and acceptability of coconut oil flavored with essential oils from black pepper and ginger, *J. Food Sci. Tech.*, 54 (1) (2017): 144-152. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2446-y>
- [7] Rezvanpanah S., Rezaei K., Golmakani M.T., Razavi S., Antibacterial properties and chemical characterization of the essential oils from summer savory extracted by microwave-assisted hydrodistillation, *Braz. J. Microbiol.*, 42 (2011): 1453-1462. <https://doi.org/10.1590/S1517-838220110004000031>
- [8] Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M., Biological effects of essential oils: A review, *Food Chem. Toxicol.*, 46 (2) (2008): 446 - 475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- [9] Dhifi W., Bellili S., Jazi S., Bahloul N., mnif W., Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: a critical review, *Medicines*, 3 (4) (2016): 25. <https://doi.org/10.3390/medicines3040025>
- [10] Ríos J.L., Essential oils: what they are and how the terms are used and defined in Essential oil in food preservation flavor and safety, Ed. by Victor R. Preedy pp., (2016): 3-10. ISBN: 9780124166417
- [11] Rahman A.H.M.M., Alam M.S., Khan S.K., Ahmed A., Rafiul Islam A.K.M., Matiur Rahman M., Taxonomic Studies on the Family Asteraceae (Compositae) of the Rajshahi Division., *Res. J. Agric. & Biol. Sci.*, 4 (2) (2008): 134-140. Disponible en ligne. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1047.7713&rep=rep1&type=pdf> (accédé le 16/01/2021)
- [12] Ribanicky D.M., Poulev A., Oneal J., Wnorowski G., Malek D.E., Jager R., Raskin I., Toxicological evaluation of the ethanolic extract of *A. dracunculul* L. for use as a dietary supplement and in functional foods, *Food Chem. Toxicol.*, 42 (4) (2004): 585-598. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2003.11.002>
- [13] Baba Aïssa F., Encyclopédie des plantes utiles. Flore d'Algérie et du Maghreb, Substances végétales d'Afrique d'Orient et d'Occident, Edition librairie moderne (2000), Rouïba.
- [14] Tastekin D., Atasever M., Adiguzel G., Keles M., Tastekin A., Hypoglycaemic effect of *Artemisia herba alba* in experimental hyperglucaemic rats, *Bull. Vet. Ins. Pulawy*, 50 (2006): 235-238. Corpus ID: 74186119
- [15] Mohamed A.H., El-Sayed M.A., Mohamed N.S., Chemical constituents and biological activities of *Artemisia herba alba*, *Rec. Nat. Prod.*, 4 (2010): 1-25., Disponible en ligne. https://acgpubs.org/RNP/2010/Volume%204/Issue%201/1_RNP-0906-111.pdf (accédé le 27/11/2021)
- [16] Sharifian I., Hashemis M., Aghael M., Alizadeh M., Insecticidal activity of essential oil of *Artemisia herba alba* Asso against three stores product beetles, *Biharean biol.*, 6 (2) (2012): 90-93. Disponible en ligne. <http://www.biozoojournals.ro/bihbiol/cont/v6n2/bb.121113.Sharifian.pdf> (accédé le 22/05/2021)
- [17] Zaim A., El Ghadraoui L., Farah A., Effets des huiles essentielles d'*Artemisia herba alba* sur la survie des criquets adultes d'*Euchorthippus albolineatus* (Lucas 1849), *Bull. Inst. Sci.*, 34 (2) (2012): 127-133. http://srv1-israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2015/01/17-Zaim_BIS_SV34_2_127.pdf (accédé le 17/03/2021)
- [18] Bouzidi N., Mederbel K., Bachir Raho G., Antioxidant activity of essential oil of *Artemisia herba alba*, *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 6 (5) (2016): 59-65. Disponible en ligne. https://www.textroad.com/JAEBS-May_%202016.html (accédé le 01/03/2021)
- [19] Rafiq R., Hayek S.A., Anyanwu U., Hardy B.I., Giddings V.L., Ibrahim S.A., Tahergorabi R., Kang H.W., Antibacterial and antioxidant activities of essential oils from *Artemisia herba-alba* Asso., *Pelargonium capitatum* x radens and *Laurus nobilis* L., *Foods*, 5 (2) (2016) : 28. <https://doi.org/10.3390/foods5020028>
- [20] Ezzoubi Y., Lairini S., Farah A., Taghzouti K., El Ouali Lalami A., Antioxidant and antibacterial activities of *Artemisia herba alba* Asso essential oil from Middle Atlas Morocco, *Phytothérapie*, 16 (1) (2018): 48-54. Disponible en ligne. <https://doi.org/10.3166/phyto-2018-0057> (accédé le 08/12/2021)
- [21] Amor G., Caputo L., La Storia A., De Feo V., Mauriello G., Fechtali T., Chemical composition and antimicrobial activity of *Artemisia herba-alba* and *Origanum Majorana* essential oils from Morocco, *Molecules*, 24 (22) (2019): 4021. <https://doi.org/10.3390/molecules24224021>
- [22] Naser Al-wahaibi L.H., Mahmood A., Khan M., Alkathlan H.Z., Comparative study on the essential oils of *Artemisia Judaica* and *A. herba-alba* from Saudi Arabia, *Arab. J. Chem.*, 13 (1) (2020): 2053-2065. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.03.004>
- [23] Asdadi A., Hamdouch A., Gharby S., Idrissi Hassani L.M., Chemical characterization of essential oil of *Artemisia herba-alba* Asso and his possible potential against covid-19, *JASAB*, 2 (2) (2020): 67-72. <https://doi.org/10.48402/IMIST.PRSM/jasab-v2i2.21589>
- [24] Ismaili K. A., EL Arouji S., Abdellaoui A., El Kamani F., Rais Z., Baba M.F., Taleb M., Emran K.M., Zarrouk A., Aouniti A., Hammouti B., Electrochemical and gravimetric studies of the corrosion inhibition of mild steel in HCl medium by *Cymbopogon Nardus* essential oil, *Der Pharma Chem.* 7(10) (2015): 34 - 44. www.derpharmachemica.com
- [25] Codex Alimentarius, Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires, Comité du codex sur les graisses et les huiles., 23 Session (2013)., Malaisie
- [26] Sadoudi R., Ammouche A., Ali Ahmed D., Thermal oxidative alteration of sunflower oil, *Afr. J. Food Sci.*, 8 (3) (2014): 116-121. <https://doi.org/10.5897/AJFS12.112>
- [27] Apfel Baum M., Romon M., Dubus M., Diététique et nutrition, 7^e éd., Edition Masson pp., 326-330 (2009), ISBN : 9782294705663
- [28] Gouveia de Souza A., Oliveira Santos J.C., Conceição M.M., Dantas Silva M.C., Prasad S., A thermoanalytic and kinetic study of sunflower oil, *Braz. J. Chem. Eng.*, 21 (2) (2004): 265 - 273. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322004000200017>
- [29] AFNOR, Huiles essentielles. Recueil de normes françaises. 2e Ed. Tec. & Doc. (1986), Lavoisier. ISBN: 2121775218 9782121775210
- [30] Ozkan G., Simsek B., and Kuleasan H., Antioxidant activities of *Satureja Cilicica* essential oil in butter and in vitro, *J. Food Eng.*, 79 (4) (2007): 1391-1396. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.020>
- [31] Rahmani M., Méthodes d'évaluation de la stabilité oxydative des lipides, Les techniques de laboratoires 2 (2007). Disponible en ligne. <https://revues.imist.ma/index.php/technolab/article/view/326> (accédé le 03/04/2021)

-
- [32] Himed L., Barkat M., Élaboration d'une nouvelle margarine additionnée des huiles essentielles de Citrus limon, OCL, 21 (1) (2014) : A102. <https://doi.org/10.1051/ocl/2013050>
- [33] Gertz C. et Stier R., Deep-frying-Errors and Myths of industrial a catering frying, 6th International symposium (2011), Hagen Germany.
- [34] Turan S., Effects of Some Plant Extracts on the Oxidative Stability of Canola Oil and Its Purified Triacylglycerols, J. Food Qual., 37 (2014): 247–258. <https://doi.org/10.1111/jfq.12086>
- [35] Naseem A., Tariq A.R., Imran M., Begum I., Rehman S., Kanwal F., Stabilization studies of sunflower oil with antioxidants extracted from green and black cardamom., Park., J., Pharm., Sci., 30 (4) (2017) : 1317-1320. Disponible en ligne. <http://www.pjps.pk/wp-content/uploads/pdfs/30/4/Paper-18.pdf> (accédé le 31/03/2021)
- [36] Okhli S., Mirzaei H., Hosseini S.E., Activité antioxydante de l'huile essentielle et de l'extrait d'écorce de cédrat (*Citrus Medica L.*) sur la stabilisation de l'huile de tournesol, OCL, 27 (2020) : 32. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020022>
- [37] Ohshima T., Quel avenir pour les antioxydants naturel ? Lipides et corps gras alimentaires, Ed. Tec et Doc., Paris pp., 379-391 (2003), ISBN 2-7430-0594-7
- [38] Tehseen M., Hina S., Nisa A., Ahmad A., Oxidative stabilization of corn oil with spinach extract., Bangladesh J. Sci. Ind. Res., 54 (4) (2019): 375-382. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v54i4.44572>
- [39] Araújo A.P.C., Do Monte A.F.G., Batista F.R.X., Evaluation of the temperature effect on vegetable oils by chemical analysis and ultraviolet-visible spectroscopy, Biosci. J., Uberlândia, 34 (1) (2018): 28-36. <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n6a2018-39934>
- [40] Raza S.A., Rehman A., Adnan A., Qureshi F., Comparison of antioxidant activity of essential oil of *Centella Asiatica* and butylated hydroxyanisol in sunflower oil at ambient conditions, Bahrain Biol., 3 (1) (2009): 71-75. Disponible en ligne. <http://biozoojournals.ro/bihbiol/cont/v3n1/bb.031111.Raza.pdf> (accédé le 31/03/2021)
- [41] Eymard S., Mise en évidence et suivi de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (*Trachurus trachurus*) : choix des procédés, Thèse de Doctorat., Ecole polytechnique de l'université de Nantes., 64-66 (2003). Disponible en ligne. <https://archimer.ifremer.fr/doc/2003/these-2.pdf> (accédé le 12/02/2021)
- [42] Ben Ali M., Dhoub K., Damk M., Allouche N., Stabilisation of sunflower oil during accelerated storage use of basil extract as a potential alternative to synthetic antioxidants, International Journal of Food Properties, 17 (2014): 1547-1559. Disponible en ligne : <https://www.tandfonline.com/loi/ljfp20>
- [43] Jaswir I., Che Man Y.B., Kitts D.D., Optimization of physicochemical changes of palm olein with phytochemical antioxidants during deep-fat frying, J. Am. Oil Chem. Soc., 77 (2000): 1161–1168. <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0182-6>
- [44] Seleim M.A.A., Rashwan M.R.A., El-Sharkawy A.A., Romany R.S., Beshara R.R.S., Effect of storage periods on the stability of sunflower oil treated with natural antioxidants, Assiut J. of Agric. Sci., 39 (1) (2008): (53-66). Disponible en ligne. http://www.aun.edu.eg/journal_files/222_J_6441.pdf (accédé le 10/02/2021)
-



La flore levurienne du compost et son effet sur le haricot *Phaseolus vulgaris*

Meriem Amina REZKI* et Abdelkader BEKKI

Laboratoire de Biotechnologie des Rhizobia et Amélioration des Plantes, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Oran 1, Algérie

Résumé

Les levures qui font partie des microorganismes, du compost utilisé dans la fertilisation du sol, ont attiré notre attention. Leur isolement, leur dénombrement et l'étude de leurs caractères culturels et morphologiques ont révélé leur diversité et leur nombre élevé au niveau de ce produit. Les isolats sélectionnés CHI4, CPI3 et CEI2 ont montré une tolérance très importante aux trois types de stress étudiés en particulier la levure CEI2 qui résiste à un pH très acide (2,5), à une température élevée (42 °C) et à une concentration en NaCl de 600 mM. Les cultures du haricot sur différents supports contenant ou non des levures issues de compost nous a permis de mettre en évidence leur effet positif sur le poids sec de la plante étudiée (*Phaseolus vulgaris*) par une augmentation de 700 %, 500 % et 400 %, par rapport au sol, avec CEI2, CPI3 et CHI4 respectivement. Cette augmentation dépasse de 1,5 fois le compost de l'été à partir duquel on a isolé la levure CEI2, de 1,4 fois le compost du printemps à partir duquel on a isolé la levure CPI3 et de 2,7 fois le compost de l'hiver à partir duquel on a isolé la levure CHI4. Ces trois levures et en particulier la CEI2 sont donc intéressantes pour une éventuelle utilisation dans la Biofertilisation des sols et l'augmentation du rendement de cette légumineuse. Mais si le sol est très acide avec une température très élevée dépassant les 40°C, la levure CEI2 sera une bonne candidate par rapport aux deux autres.

Mots-clés : Levures ; Compost ; Biofertilisation ; Haricot *Phaseolus vulgaris* ; Inoculation.

Yeast flora in compost and its effect on Phaseolus vulgaris bean

Abstract

Yeasts, which are part of the micro-organisms in compost used for soil fertilization, caught our attention. Isolation, enumeration, and analysis of their cultural and morphological characteristics revealed their diversity and abundance in this environment. The selected isolates CHI4, CPI3 and CEI2 showed a very high tolerance to the three stress types investigated, in particular the yeast CEI2, which resisted a highly acidic pH (2.5), a high temperature (42°C) and a NaCl concentration of 600 mM. The culture of the bean on different media containing or not yeasts from the compost allowed us to highlight their positive effect on the dry weight of the studied plant (*Phaseolus vulgaris*) by an increase of 700 %, 500 % and 400 % compared to the soil with respectively CEI2, CPI3 and CHI4. This increase exceeds the summer compost from which CEI2 was isolated by 1.5-fold, the spring compost from which CPI3 was isolated by 1.4-fold and the winter compost from which CHI4 was isolated by 2.7-fold. These three yeasts, and in particular the IEC2, are therefore interesting for possible use in the biofertilization of soils and the increase in the productivity of this legume. But if the soil is very acidic with a very high temperature exceeding 40°C, the CEI2 yeast will be a good candidate compared to the other two.

Keywords: Yeasts; Compost; Biofertilization; *Phaseolus vulgaris* bean; Inoculation.

1. Introduction

La production agricole a jusqu'à présent été améliorée par l'utilisation des engrais chimiques qui sont toxiques pour les consommateurs et fragilisent l'équilibre de notre environnement en polluant les sols et les nappes phréatiques alors qu'il existe une solution plus propre et saine en utilisant des engrais naturels comme le

compost. Ceci en plus des bio-engrais dont l'étude et l'utilisation ont donné des résultats très prometteurs. Parmi ces derniers, les microorganismes fixateurs d'azote comme les rhizobia qui fixent l'azote atmosphérique et le rendent assimilable par les plantes en favorisant ainsi cette alimentation azotée [1], les mycorhizes qui améliorent la nutrition hydrique et minérale des plantes en particulier en phosphore et leur



offrent une protection contre différents stress biotiques et abiotiques [2-4] et les PGPR¹ qui possèdent plusieurs effets comme la solubilisation du P et la production des acides indole acétique (AIA) [5-6]. Mais il existe d'autres microorganismes dans la nature, y compris dans le compost [7], qui n'ont pas été étudiés comme les levures. Elles représentent pourtant le groupe le plus exploité par l'homme et qui a connu une utilisation très large dans d'autres domaines comme l'agroalimentaire, pharmaceutique, cosmétique et chimique, ...*etc.*

Dans ce sens et vu l'absence de toute étude portant sur ces microorganismes au niveau de notre pays que s'intègre notre travail.

En effet, l'objectif de cette étude est de déterminer la flore levurienne du compost, son abondance par rapport aux saisons et son effet sur une plante économiquement importante. Le choix du compost, qui constitue un biotope particulier, vise d'une part à participer à la diminution de la pollution de la nature qui progresse d'une manière anarchique dans notre pays en récupérant les déchets organiques et végétales au lieu de les détruire en pure perte et d'autres part à y isoler des inoculums biologiques, à faibles coûts, afin de réduire l'utilisation des engrais chimiques très néfastes et/ou de les concurrencer en termes de rendement.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel biologique

- Le compost : l'échantillonnage a été effectué chaque saison au niveau d'une unité de compostage au centre d'enfouissement technique (CET) situé dans la région de Hassi Bounif à 19 km d'Oran, au nord-ouest de l'Algérie. Il s'agit d'un projet de l'organisation de la R20 MED² pour la valorisation des déchets, particulièrement les déchets organiques (fruits et légumes) et les déchets verts.
- Le sol : le choix a porté sur un sol en jachère pendant deux ans, récupéré de la région d'Es-Senia à Oran.
- Matériel végétal : le matériel végétal choisi est le haricot *Phaseolus vulgaris* L, un génotype local « Djadida » le plus cultivé en Algérie dont la

production et surtout le rendement reste faible au niveau de notre pays.

- Matériel microbien : le matériel microbien est représenté par les levures qui ont été isolées à partir des différents échantillons de compost cités ci-dessus.

2.2. Isolement et dénombrement d'isolats de levures

Un gramme de chaque échantillon de compost suspendu dans 10 mL d'eau physiologique stérile puis homogénéisé pendant 2 min. À partir de ces solutions mères, des dilutions décimales sont préparées et 0,2 mL de chaque suspension est ensuite étalée sur un milieu PDA additionné à deux antibiotiques, le chloramphénicol (0,5 mg.mL⁻¹) et l'ampicilline (0,5 mg.mL⁻¹) pour l'élimination des bactéries [8-9].

L'incubation est effectuée à 28 °C pendant 72 h avec une lecture quotidienne. Les isolats de levures ont été vérifiés par un examen microscopique et comptés afin de déterminer la saison au cours de laquelle le compost est riche en flore levurienne.

Les isolats purifiés par technique d'épuisement sont conservés à 4 °C sur milieu YPD (2 % de D-glucose, 2 % de peptone et 1 % d'extrait de levure) en gélose inclinée et à -80 °C dans le même milieu dilué à 60 % avec une solution stérile de glycérol.

2.3. Caractères culturels et morphologiques

Les caractères culturels sont définis après ensemencement des isolats de levures sur YPD solide. Les caractères morphologiques tels que la morphologie des cellules ainsi que leur mode de reproduction végétative sont déterminés sur YPD liquide [10].

2.4. Effet de quelques stress sur la croissance des levures

2.4.1. La température

Afin de mettre en évidence l'effet du stress thermique sur ces isolats, ces derniers sont ensemencés sur milieu YPD solide puis placés dans l'étuve à différentes températures (25 ; 30 ; 37 ; 40 et 42 °C).

¹ PGPR : Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (en français : Rhizobactéries favorisant la croissance des plantes)

² Pôle méditerranéen de l'ONG « Regions of Climate Action » fondée en 2010 avec le soutien des Nations Unies.
<https://r20med.regions20.org/qui-sommes-nous/>

2.4.2. Le pH

Le milieu YPD solide a été préparé à différents pH (2,5 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 et 7). L'agar est ajouté aux milieux à pH 5 ; 6 et 7 avant autoclavage contrairement aux milieux à pH 2,5 ; 3 et 4 où il est rajouté après autoclavage.

2.4.3. La salinité

Le stress salin est réalisé par l'ajout de NaCl, à trois concentrations (100, 300 et 600 mM), au milieu YPD solide. Pour ces tests, l'incubation a été effectuée à 28 °C avec une lecture quotidienne pendant 3 jours.

2.5. Effet des levures sur le haricot

2.5.1. Germination de la graine et mise en pot de la plante

Les graines du haricot sont triées et désinfectées par un lavage à l'hypochlorite de sodium (7°) pendant 10 min (scarification chimique). Elles sont ensuite rincées abondamment à l'eau distillée stérile en laissant une dizaine de minutes au cours du dernier rinçage afin d'éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium.

Les graines stériles ont été mises à germer dans du papier filtre imbibé d'eau distillée stérile, pendant 48h. Après germination, ces dernières sont placées dans des pots contenant uniquement le sol à raison de trois graines germées et trois pots par isolat de levure. Deux témoins sont considérés, un témoin contenant que le sol sans aucune inoculation et un autre contenant un mélange de sol (2/3) et de compost (1/3) sans inoculation. Il est important de noter que les composts utilisés sont ceux de l'hiver, du printemps et de l'été vu que les isolats retenus ont été isolés à partir de ces derniers. Les plantes ont été cultivées dans une serre, arrosée deux fois par semaine avec de l'eau distillée stérile.

2.5.2. Inoculations

Une inoculation est réalisée avec des cultures de levures jeunes de chacun des isolats, récupérées en pleine phase exponentielle sur milieu YNB (YNB Yeast Nitrogen Base) liquide sous agitation à 28 °C à une concentration de 10^7 cellules.mL⁻¹ [11]. Le comptage des levures est réalisé avec la cellule de Malassez.

2.5.3. Estimation de l'effet des levures

Lors de la récolte qui a eu lieu six semaines après la plantation, le poids sec de chaque plante a été mesuré après les avoir séchées dans une étuve à 60 °C pendant 3 jours. Les différents poids secs ainsi obtenus sont représentés graphiquement afin d'apprécier l'effet du compost et des différentes levures étudiées sur la croissance de la plante.

3. Résultats et discussion

3.1. Isolement et dénombrement des levures

À partir des isolats obtenus des différents échantillons de compost, trois ont été sélectionnés en se basant sur les caractères cultureux et morphologiques. En effet, la présence des levures dans le compost a été déjà déterminé par plusieurs études [12, 13]. Cette présence des levures au niveau des échantillons de composts étudiés et produits à partir des déchets verts et organiques peut être expliquée par l'aspect ubiquitaire de ces microorganismes et leur omniprésence sur les fruits, les légumes et les différentes plantes. Cependant, l'abondance de ces levures au niveau du compost étudié peut être appréciée au niveau de la figure 1 où est représenté le résultat du comptage du nombre d'isolats de levures en fonction des saisons. Ce dernier reflète que la flore fongique est plus riche en levure pendant le printemps et l'été par rapport aux deux autres saisons. Ce qui paraît logique vu la disponibilité de la matière végétale ainsi que l'abondance et la variabilité des fruits et légumes pendant cette période.

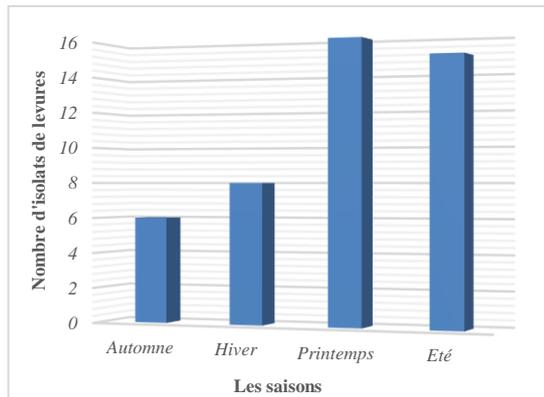


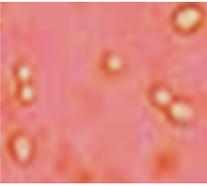
Figure 1 : Représentation du nombre d'isolats de levures des différents échantillons de compost en fonction des saisons

3.2. Caractères cultureux et morphologiques des levures

Les caractères cultureux et morphologiques des trois isolats de levures qui ont été sélectionnés sont représentés au niveau du tableau 1.

Les colonies des trois isolats sont sphériques avec une couleur blanchâtre et des aspects différents, velouté pour CHI4 et CEI2 et lisse pour CPI3. On note, cependant, une diversité au niveau des caractères morphologiques et du mode de bourgeonnement. En effet, CHI4 se présente sous forme de petites cellules sphériques où le bourgeonnement est unipolaire, CPI3 sont des cellules ovoïdes avec un bourgeonnement bipolaire et CEI2 de grosses cellules sphériques et le bourgeonnement est multipolaire.

Tableau 1
Caractères cultureux et morphologiques des isolats de levures retenus pour cette étude

	CHI4	CPI3	CEI2
Les colonies de levures Vues à l'œil nu			
Levures vues au microscope (×400)			
Caractères morphologiques	Petites cellules sphériques	Cellules ovoïdes	Grosses cellules sphériques
Mode de reproduction végétative (Bourgeonnement)	Unipolaire	Bipolaire	Multipolaire

3.3. Effet des stress sur la croissance des levures

Les stress étudiés représentent ceux que peuvent rencontrer les levures isolées dans le biotope au cours de

leur inoculation. Ces stress sont le pH, le stress thermique et salin. Les résultats obtenus sont regroupés au niveau du tableau 2.

Tableau 2
Effet des différents stress sur les isolats des levures étudiées

Isolats de levures	Températures (°C)						pH					NaCl (mM)		
	25	30	37	40	42	2,5	3	4	5	6	7	100	300	600
CHI4	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
CPI3	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
CEI2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

(+ Résistant - Sensible)

Les résultats obtenus montrent bien la résistance de CPI3 et CEI2 à 40 °C contrairement à CHI4. Cette résistance dépasse les 40 °C pour atteindre les 42 °C avec la levure CEI2. En effet, beaucoup d'études ont souligné la résistance d'un grand nombre de levures à des températures élevées comme 40 °C [8,14] et 42 °C [8,15] voir plus à 50 °C tel est le cas de *Candida Slooffii*, *Saccharomyces telluris* et *Torulopsis bovina* [16,17].

Les isolats de levures étudiés ont montré qu'ils peuvent facilement croître à un pH de 3 mais CEI2 se distingue des autres avec une résistance à 2,5. C'est un résultat très intéressant puisque les levures poussent rarement à des pH très acides inférieurs à 3 et préfèrent une gamme allant de 4,5 à 6,5 [18]. En effet, les levures peuvent pousser sur une très large gamme de pH variant d'un pH alcalin [19] aux pH acides [18] même s'ils ont une préférence pour ces derniers et les résultats obtenus le confirment.

Les concentrations en NaCl utilisées ne semblent pas posées problème à ces isolats de levures puisqu'ils arrivent à résister à des concentrations allant de 100 à 600 mM. Cette halotolérance est sans doute liée à leur milieu d'origine puisque le compost est connu pour son

taux élevé en sel. Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par [20] qui ont utilisé les mêmes concentrations avec d'autres isolats. Il semble donc que les levures résistent bien à la salinité et il serait intéressant de tester d'autres concentrations plus élevées en NaCl.

4. Effet des levures sur la croissance de la plante

Les résultats obtenus représentés au niveau des figures 2 et 3 sont très intéressants. Ils révèlent une augmentation de la croissance de la plante, exprimée par la biomasse sèche, de 4 fois quand le sol est mélangé au compost de l'été et de 3,5 quand il est mélangé avec celui du printemps. Cependant le rendement le plus faible est obtenu avec le compost de l'hiver qui reste quand même plus important que le témoin. Ce dernier comporte un sol laissé en jachère pendant deux ans où l'activité microbienne est au ralenti ce qui explique ce rendement faible qui a été amélioré par la matière organique du compost ainsi que son activité microbienne y compris celle des levures.

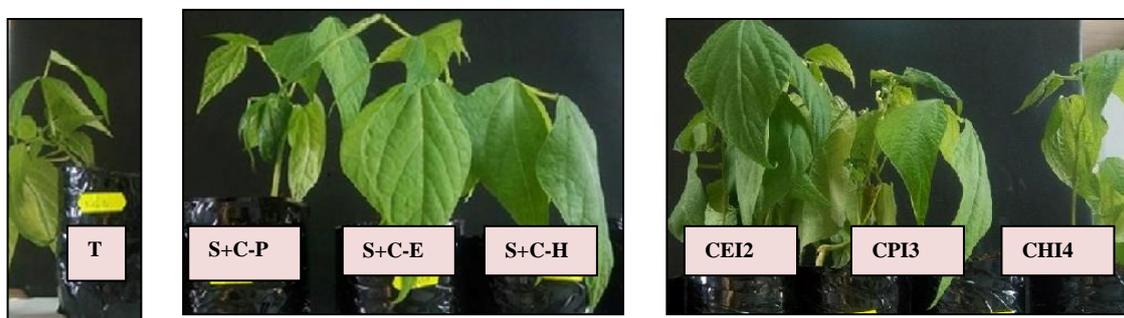
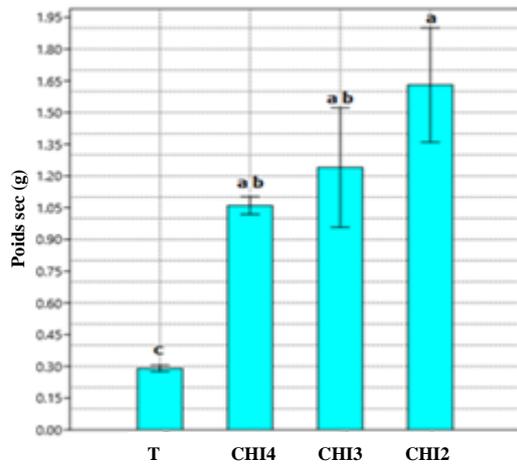


Figure 2 : Résultats des différentes cultures du haricot (*Phaseolus vulgaris*)

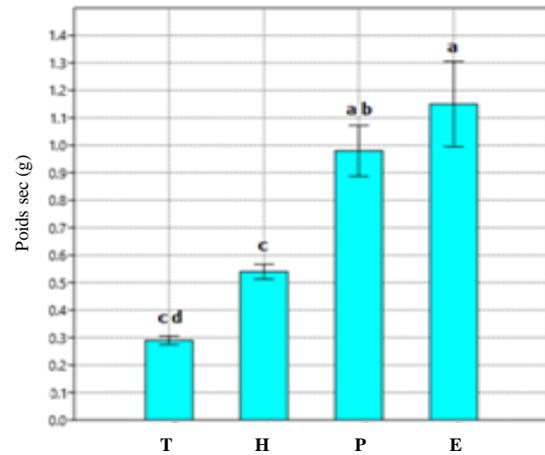
T (Témoin) : culture de la plante sur le sol ; S+C-P : Culture de la plante sur du sol + compost du printemps (2v:1v) ; S+C-E : Culture de la plante sur du sol + compost de l'été (2v:1v) ; S+C-H : Culture de la plante sur du sol + compost de l'hiver (2v:1v) ; CEI2 : Plante inoculée avec l'isolat CEI2 ; CPI3 : Plante inoculée avec l'isolat CPI3 ; CHI4 : Plante inoculée avec l'isolat CHI4

Les levures qui ont été sélectionnées pour cette étude ont été isolées à partir de ces trois échantillons de compost, à savoir celui de l'hiver (H), du printemps (P) et de l'été (E) et ont servi à l'inoculation d'une légumineuse le haricot. Les résultats obtenus montrent que le rendement avec l'inoculation des levures est beaucoup plus important que celui obtenu avec le compost (figure 3). Ceci peut être expliqué par quelques effets négatifs du compost comme son taux élevé en sels qui peut conduire à une diminution de la croissance des

plantes comme il a été rapporté par certains auteurs [21] qui confirment que les autres avantages du compost l'emportent sur l'influence négative possible de la salinité. L'autre explication repose sur la quantité des microorganismes présents dans le compost. En effet, le dénombrement de la flore levurienne au niveau de chaque échantillon de compost a révélé un nombre inférieur de 300 à 600 fois au nombre utilisé pour l'inoculation.



Culture avec inoculation levurienne.
 T : PS de la culture sur sol ;
 CHI4 : PS de la plante inoculée par CHI4 ;
 CPI3 : PS de la plante inoculée par CPI3 ;
 CEI2 : PS de la plante inoculée par CEI2.



Culture avec compost.
 T : PS de la culture sur sol ;
 H : PS de la culture sur sol + Compost de l'hiver ;
 P : PS de la culture sur sol + Compost du printemps ;
 E : PS de la culture sur sol + Compost de l'été.

a : Hautement significatif ; b : Très significatif ; c : Pas très significatif
 Figures 3 : Le poids secs des différentes cultures du haricot *Phaseolus vulgaris*

L'analyse statistique démontre que l'introduction du compost ainsi que l'inoculation avec les différentes levures ont un effet statistiquement hautement significatif sur le poids sec de *Phaseolus vulgaris* ($p < 0,01$). Selon Tukey³, l'analyse de comparaison deux à deux et en comparaison avec les valeurs du poids sec de la plante enregistrées pour le témoin, démontre que l'incorporation du compost d'été au niveau des différentes cultures a donné le meilleur rendement (effet hautement significatif "a"), suivi par le compost du printemps (très significatif "ab"), alors que le compost d'hiver n'a pas d'effet significatif ("c").

De la même manière et selon le même type d'analyse, Tukey confirme l'effet de l'inoculation avec CEI2 qui donne le meilleur rendement sur le poids sec de la plante (hautement significatif "a"), suivi de CPI3 (très significatif "ab") contrairement à CHI4, isolée à partir du compost de l'hiver.

La comparaison des deux résultats nous amène à conclure que les levures peuvent influencer positivement la croissance des plantes en améliorant considérablement leur biomasse sèche, estimés à 400 % pour la levure CHI4, à 500 % pour la levure CPI3 et à 700 % pour la

levure CEI2. Cette dernière peut donc être élue comme la meilleure candidate à l'inoculation, même si les deux autres sont aussi intéressantes, puisqu'elle donne le meilleur rendement et se distingue des deux autres levures par sa résistance au pH très acide et au stress thermique qui atteint les 42 °C. Ceci a été souligné par plusieurs auteurs en mettant en avant l'importance de ces microorganismes dans l'amélioration de la croissance des plantes [22, 23] comme celle du riz [24].

Cette influence peut se faire d'une manière indirecte par le biais de ses productions que ce soit les métabolites primaires ou secondaires comme les cytokinines, les acides aminés et les vitamines qui peuvent stimuler les échanges entre les différents partenaires du sol et entre la plante et les micro-symbiotes [25] qui eux aussi peuvent être utilisés comme bio-engrais. Elle peut se faire aussi d'une manière directe par la cellule de la levure. Un travail est sur le point d'être finalisé pour mettre au point cet effet PGPR ainsi que les autres effets de la levure.

³ Test de Tukey : Méthode statistique généralement utilisé en conjonction avec une ANOVA pour déterminer quelles moyennes sont significativement différentes les unes des autres.

5. Conclusion

Ce travail a déterminé la richesse du compost en flore levurienne surtout lorsqu'il est produit durant la disponibilité de la matière végétale et organique. Les levures isolées à partir de ce produit ont montré une résistance importante aux différents stress tels que le pH où CEI2 a résisté à un pH de 2,5 ; le stress thermique où la même levure a pu pousser jusqu'à une température de 42 °C et le stress salin jusqu'à 600 mM de NaCl.

Le plus important est que ces microorganismes ont révélé une action positive sur le rendement de la plante utilisée "le haricot" évalué à 400 % (CHI4), 500 % (CPI3) et 700 % (CEI2) qui est nettement supérieure à celle du compost de 1,4 à 2,7 fois. Ce qui peut certainement inciter à leur utilisation comme biofertilisant, en particulier la CEI2, afin d'augmenter la production du haricot qui pose problème dans notre pays. D'autres plantes économiquement importantes pourront également être testées pour la fertilisation par le biais de ces levures pour améliorer leur rendement et maintenir une agriculture durable, saine et biologique en Algérie. Il serait très intéressant de déterminer le mode d'action de ces levures pour choisir la méthode de leur formulation comme biofertilisant écologique.

Références

- [1] Hansen A.P., Choudhary D.K., Agrawal P.K. and Varma A., *Rhizobium Biology and Biotechnology*, (2017) Springer. ISBN: 978-3-319-64982-5. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-64982-5>
- [2] Smith S. E., Read D. J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd edition, London: Academic Press, (2008) pp 13-41. eBook ISBN: 9780080559346
- [3] Brundrett M.C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding global diversity of hostplants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis, *Plant Soil*, 320 (2009): 37–77. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-008-9877-9>
- [4] Gianinazzi S., Gollotte A., Binet M.N., Van Tuinen D., Redecker D. and Wipf D., Agroecology the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services, *Mycorrhiza*, 20 (2010): 519–530. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0333-3>
- [5] Battini F., Cristani C., Giovannetti M., Agnolucci M. Multifunctionality and diversity of culturable bacterial communities strictly associated with spores of the plant beneficial symbiont *Rhizophagus intraradices*, *Microb. Res.*, 83 (2016) 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.012>
- [6] Lenoir I., Fontaine J. and Sahraoui A.L.H., Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: a review, *Phytochemistry*, 123 (2016): 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.002>
- [7] Gobat J.M., Aragno M., and Matthey W., *Le sol vivant : Bases de pédologie, biologie des sols*, 2^{ème} édition, Presse polytechniques et universitaires romandes. (2003) pp568.
- [8] Rezki M.A., Benbadis L., DeBillerbeck G., Benbayer Z. and François J.M., Isolation and physiological characterization of indigenous yeasts from some Algerian agricultural and dairy products, *J. Yeast Fungal Res*, 4 (6) (2013): 75-83. <https://doi.org/10.5897/JYFR2013.0117>
- [9] Rezki M.A., Aouad L. and Bekki A., Production of ethanol and polyethanol by yeasts isolated date (*Phoenix dactylifera L.*) Wastes, *African Journal of Biotechnology*, 16 (50) (2015): 3288-3294. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.14979>
- [10] Bourgeois C.M. et Leveau J.Y., Les levures : Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Tome 3. In « Bourgeois C.M. et Leveau J.Y. Edition, Le contrôle microbiologique », Tec et Doc Lavoisier, Paris, (1980) 130p."
- [11] Fracchia S., Godeas A., Scervino J. M., Sampedro I., Ocampo J. A. and Garcia-Romera I., Interaction between the soil yeast *Rhodotorula mucilaginosa* and the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae* and *Gigasporarosea*, *Soil Biol. Biochem.*, 35 (5) (2003): 701–707. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00086-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00086-5)
- [12] Siyoum N.A., SurrIDGE K., van der Linde E.J. and Korsten L., Microbial succession in white button mushroom production systems from compost and casing to a marketable packed product, *Ann. Microbiol.*, 66(1) (2016) :151–164. <https://doi.org/10.1007/s13213-015-10914>.
- [13] Yan, Y., Zheng, X., Apaliya M. T., Yang H. and Zhang H., Transcriptome characterization and expression profile of defense-related genes in pear induced by *Meyerozyma guilliermondii*, *Postharvest Biology and Technology*, 141 (2018): 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.011>
- [14] Chaparro M.L., Cespedes E., Cruz M., Castillo-Saldarriaga C.R., Gomez-Alvarez M.I., Fluidized bed drying of a granulated prototype based on a potential probiotic yeast *Meyerozyma guilliermondii*: selection of process parameters and drying protectant, *Rev. Mex. Ing. Quim.*, 16 (2) (2017) : 347-357. Disponible en ligne. https://www.researchgate.net/publication/319478942_Fluidized_bed_drying_of_a_granulated_prototype_based_on_a_potential_probiotic_yeast_Meyerozyma_guilliermondii_Selection_of_process_parameters_and_drying_protectant (accédé le 29/09/2021)
- [15] Da Silveira F.A., Fernandes T.A.R., Bragança C.R.S., Balbino T.R., Diniz R.H.S., Passos F.M.L., Da Silveira W.B., 2019. Isolation of xylose assimilating yeasts and optimization of xylitol production by a new *Meyerozyma guilliermondii* strain, *Int. Microbiol.*, <https://doi.org/10.1007/s10123-019-00105-0>.
- [16] Bourgeois C.M., Mesle J.F. et Zucca J., *Microbiologie alimentaire*, Tome 1. Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaires. Ed. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, 8 (1988) : 161-171. ISBN : 2852064510 9782852064515. Numéro OCLC : 461945037
- [17] Leveau J.Y. et Bouix M., Étude des conditions extrêmes de croissance des levures osmophiles, *Ind. Alim. Agric.*, 11 (1993): 1147-1151. ISSN : 0019-9311.
- [18] Reddy L.V.A. and Reddy O.V.S., Effect of fermentation conditions on yeast growth and volatile composition of wine produced from mango (*Mangifera indica L.*) fruit juice. *Food Bioprod. Process*, 89 (2011): 487-491. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.007>
- [19] Sanchez N.S., Calahorra M., Ramirez J. and Peña A. 2018. Salinity and high pH affect energy pathways and growth in *Debaryomyces hansenii*, *Fungal Biol.*, 122 (10) (2018): 977-990. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.07.002>
- [20] Bellinger Y. and Larher F., A ¹³C comparative nuclear magnetic resonance study of organic solute production and excretion by the yeasts *Hansenula anomala* and *Saccharomyces cerevisiae* in saline media, *Can. J. Microbiol.*, 34 (1988): 605-612. <https://doi.org/10.1139/m88-100>
- [21] Epstein E., Genetic potentials for solving problems of soil mineral stress: adaptation of crops to salinity. In: *Proceeding of*

- Workshop on Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils (1976: Beltsville, Md.). Ithaca, New York: Cornell University Agricultural Experiment Station, (1977): 73-123.
- [22] Fu S.F., Chen H.W., Wei J.Y., Lee Y.I. and Chou J.Y., Yeast-produced IAA is not only involved in the competition among yeasts but also promotes plant growth and development, *Nova Hedwigia*, 105(1-2) (2016) :135-150.
https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2016/0382
- [23] Alvarez M., Tuca F., Quispe E., Meza V., Incidence of the inoculation of beneficial microorganisms in the strawberry (*Fragaria sp.*) crop, *Scientia Agropecuaria* 9 (1) (2018): 33-42. Disponible en ligne.
<http://dev.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n1/a04v9n1.pdf> (accédé le 15/10/2021)
- [24] Teama E.A., El-Nagar G.R., Ali E.A. and Ahmed T.A.A., Effect of yeast rates and potassium fertilization on yield and quality of some sugar beet varieties, *Assiut J. Agric. Sci.*, 49 (1) (2018): 10-26. <https://dx.doi.org/10.21608/ajas.2018.8046>
- [25] Bahr A.A. and Gomaa A.M., The integrated system of bio-and organic fertilizers for improving growth and yield of triticale, *Egypt. J. Appl. Sci.*, 17 (10) (2002): 512-523.
-

Soumis le : 20/04/2021

Forme révisée accepté le: 16/01/2022

Auteur Corespondant : mchouial@gmail.com



Revue Nature et Technologie

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

ISSN : 1112-9778 – E-ISSN : 2437-0312

Essai de valorisation de compost d'*Acacia cyanophylla* pour la production de plants de Pin pignon (*Pinus pinea* L.) : Résultats en pépinière et après cinq ans de transplantation

Mebarek CHOUIAL et Samir BENAMIROUCHE

Station Régionale de la Recherche Forestière de Jijel, Kissir El Aouana 18103

Résumé

Le présent travail vise la valorisation de compost d'*Acacia cyanophylla* pour la production de plants de Pin pignon en pépinière et après transplantation en parcelle expérimentale. Neufs substrats de croissance à base de compost pur ou mélangé à d'autres matériaux disponibles localement et un substrat témoin à base d'humus forestier ont été évalués dans cet essai. À la fin du cycle d'élevage, les plants ont été transplantés en parcelle expérimentale et ont été suivis pendant cinq années pour confirmer les résultats de la phase pépinière. Les résultats obtenus montrent que les substrats d'élevage à base de compost ont offert de meilleures conditions de croissance aux plants de Pin pignon et ont permis de réaliser des gains significatifs de croissance allant de 28 à 38 % en hauteur et de 25 à 44 % en diamètre et de 48 à 62 % en biomasse sèche, en plus une meilleure capacité de régénération racinaire par rapport aux plants du témoin. D'après les résultats obtenus de l'essai de plantation en parcelle expérimentale, il apparaît que l'effet de la nature du substrat utilisé en pépinière sur la reprise, la survie et la croissance des plants après transplantation persiste même après une période de croissance relativement longue de 5 ans.

Mots-clés : Compost ; Substrat ; Croissance des plants ; Capacité de régénération racinaire ; Transplantation ; *Pinus pinea*.

Evaluation of Acacia cyanophylla compost for Stone pine (Pinus pinea L.) seedling production: Results in the nursery and after five years of transplantation

Abstract

The present study aims to evaluate the effect of *Acacia cyanophylla* compost on quality and post-planting performance of *Pinus pinea* seedlings. Accordingly, nine composts based growing media and a control made of forest humus were used for seedling production in nursery. At the end of the nursery phase, seedling samples representing each growing media were transplanted to the field and monitored for five years to confirm the results of the nursery phase. The results obtained showed that the compost-based substrates provided better growing conditions for *Pinus pinea* seedlings and resulted in significant growth gains of 28 to 38% in height and 25 to 44% in diameter, 48 to 62% in total seedling dry weight and a better root regeneration capacity compared to those of the control substrate. Furthermore, the results obtained from the field growth, it appears that the nature and the composition of substrates used in the nursery phase may continue to have a prolonged effect on seeding growth, field recovery and survival for at least five years after out planting.

Keywords: Compost; Substrate; Seedlings growth; Root -growth potential; Transplanting; *Pinus pinea*

1. Introduction

Dans le cadre des préoccupations de la filière pépinière en matière de support d'élevage, la valorisation des différents constituants de la biomasse végétale ligneuse verte renouvelable s'avère une alternative prometteuse aux matériaux d'usage courant dans nos pépinières. Ainsi, au lieu d'incinérer la biomasse végétale ligneuse verte issue des différentes

interventions sylvicoles en forêt, de taille d'arbres d'alignement et des déchets de jardin publics, cette dernière peut être récupérée, compostée et valorisée dans la confection des substrats de culture en pépinière forestière. Toutefois, l'utilisation de la biomasse végétale à l'état frais présente des inconvénients liés à leur richesse en polyphénols et en pathogènes et leur instabilité. Le recours à leur compostage constitue donc



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

un moyen efficace permettant la décomposition biologique, la stabilisation de ces résidus organiques et l'exemption d'agents pathogènes [1-3]. Le compostage constitue ainsi un mode de gestion des déchets organiques plus respectueux de l'environnement.

Plusieurs travaux ont démontré l'efficacité de l'utilisation du compost comme substrat de croissance pour la production de plants de qualité de diverses espèces en pépinière [4-14]. Les substrats d'élevage à base de compost ont substitué les substrats à base d'humus forestier qui présentent des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques médiocres [15,16]. La substitution de ce type de substrat issu de la décomposition de litière sous les peuplements forestiers par le compost vise, en outre, la protection de l'environnement par l'élimination des perturbations causées par son extraction. Parmi les espèces pouvant offrir une source renouvelable de matière verte à composter, l'*Acacia cyanophylla* offre de réelles potentialités en raison notamment de sa croissance rapide permettant une exploitation à courte rotation et de sa disponibilité eue égard aux superficies plantées ces dernières années.

Dans cette perspective et dans l'objectif global d'améliorer les taux de réussite des plantations forestières par l'utilisation des plants de qualité capables de s'installer, de survivre et de croître facilement une fois mis en terre, le présent travail vient de compléter nos travaux antérieurs [17,18] ayant porté sur la production de compost à base de broyat de branchage d'*Acacia cyanophylla* Lindl, l'évaluation de son degré de maturation et son rendement, sa caractérisation physique et chimique et son utilisation dans la confection de substrats pour l'élevage de plants de chêne liège en pépinière. Les objectifs assignés à cette étude sont : *i*) évaluation de la croissance et de la qualité des plants de Pin pignon (*Pinus pinea* L.) produits dans ces substrats en pépinière, *ii*) évaluation de la performance et du comportement après transplantation en parcelle expérimentale de jeunes plants de Pin pignon élevés sur des substrats à base de compost en comparaison avec les plants produits dans un substrat témoin sans compost.

2. Matériels et méthode

2.1. Site d'expérimentation

Cette expérimentation a été menée en pépinière expérimentale et en parcelle expérimentale de la station régionale de recherche forestière de Jijel sise à environ 12 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Jijel sur le littoral-est Algérien, sous un bioclimat humide, pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été-

2.2. Substrats d'élevage des plants

Les substrats utilisés dans cette étude sont les mêmes substrats que ceux utilisés dans nos travaux antérieurs et ayant concerné le chêne liège [17]. L'objectif de cette phase était d'évaluer l'effet du compost d'*Acacia cyanophylla* sur la croissance et la qualité des plants de Pin pignon en pépinière. Il s'agit de neuf mélanges à base de compost d'*Acacia cyanophylla* Lindl comparés avec un témoin composé de proportions égales d'humus forestier et de granulés de liège, couramment utilisé en pépinière (tableau 1). Les principales propriétés physico-chimiques des substrats avant l'ensemencement en pépinière étaient, dans l'ensemble, en faveur des substrats renfermant du compost par rapport au témoin sans compost et répondant ainsi aux normes cités par [19-22]. Les valeurs de pH ont varié entre 6,91 et 7,33 indiquant des pH neutres à légèrement alcalins, alors que leurs conductivités électriques ont été légèrement variables avec des valeurs qui oscillent entre 0,01 mS.cm⁻¹ pour les substrats témoin et le substrat T9 à 0,44 mS.cm⁻¹ pour le substrat T2. Une importante richesse en matière organique (31,4-96,4 %) a été déterminée dans les substrats à base de composts par rapport au témoin ayant affiché une teneur de 8,6 %. Les densités des substrats ont varié avec les proportions de compost et que les substrats à base de 100 % de compost étaient les plus faibles (0,23 et 0,33 g.cm⁻³), alors que celle du substrat témoin était la plus élevée (0,93 g/cm³). Les substrats à base de compost ont plus de capacité de réserve en eau que le témoin avec des valeurs oscillent entre 48,13 à 66,80 % contre 32,66 % pour le témoin.

Tableau 1
Composition et nature des substrats d'élevage testés en pépinière

Substrat	Nature du substrat
T0*	50 % Humus forestier + 50 % de granulés de liège
T1	100 % Compost pur
T2	100 % Compost + Urée
T3	100 % Compost + fumier de volailles
T4	80 % Compost pur + 10 % Granulés de liège + 10 % Sable
T5	80 % de compost + urée + 10 % Granulés de liège + 10 % Sable
T6	80 % Compost + fumier de volailles + 10 % Granulés de liège + 10 % Sable
T7	60 % Compost pur + 20 % Granulés de liège + 20 % Sable
T8	60 % Compost + urée + 20 % Granulés de liège + 20 % Sable
T9	60 % Compost + fumier de volailles + 20 % Granulés de liège + 20 % Sable

* Témoin

2.3. Conduite de l'essai

L'étude en pépinière a été conduite selon un dispositif en blocs aléatoires complets de 10 mélanges en trois répétitions. Chaque mélange a été composé de deux caissettes contenant chacune 40 conteneurs et déposées aléatoirement au sein du bloc. Le nombre total de plants de Pin pignon utilisé dans cette expérimentation a été de 2400 plants soit 240 plants par mélange. L'élevage a été conduit sur châssis surélevés à 40 cm du sol et sous une ombrière laissant passer environ 50 à 60 % d'ensoleillement. Après l'ensemencement, les soins courants de désherbage et d'arrosage ont été assurés au besoin durant tout le cycle d'élevage.

2.4. Mesures et observations

Les mesures ont concerné tout le long de l'expérimentation les paramètres suivants :

- Hauteurs des tiges et diamètres au collet : La hauteur (cm) des tiges des plants a été mesurée par une règle graduée depuis le collet jusqu'au bourgeon apical et le diamètre (mm) au collet des plants a été mesuré en même temps à l'aide à affichage digitale d'une précision 1/100 mm. Il faut noter que, pour minimiser les risques d'erreurs d'un pied à coulisse et arriver à une grande fiabilité dans les tests statistiques, nous avons opté pour un échantillonnage optimal et réalisable de 25 % de l'effectif total, ce qui représentait un total de 600 plants mesurés à intervalle de temps fixé à deux mois de croissance. Les plants mesurés ont été choisis

aléatoirement au sein des caissettes et des blocs. Ces mêmes plants ont été suivis tout au long de l'expérimentation.

- Détermination des biomasses sèches : À la fin du cycle d'élevage, la biomasse sèche des parties aériennes et racinaires a été déterminée après séparation des deux parties puis leur pesée à l'aide d'une balance de précision au millimètre près après étuvage à 80 °C pendant 24 heures.

2.5. Étude de la capacité de régénération racinaire

Afin d'évaluer la capacité de régénération racinaire des plants de Pin pignon élevés dans les dix substrats testés, cinq plants de chaque substrat ont été aléatoirement choisis et transférés avec leurs mottes intactes dans des conteneurs plus volumineux (sachets en polyéthylène d'un volume de 4000 cm³) remplis du sable d'oued. Après 60 jours de repiquage, la capacité de régénération racinaire a été appréciée en mesurant la longueur, la biomasse et le nombre des nouvelles racines formées à l'extérieur de la motte initiale.

2.6. Comportement de plants après transplantation en parcelle expérimentale

Afin d'évaluer la performance et le comportement en site de plantation des plants de Pin pignon élevés en pépinière, un deuxième dispositif expérimental a été installé en parcelle expérimentale sise à proximité de la pépinière. À cet effet, neuf plants de chaque substrat âgés

d'une année ont été aléatoirement choisis et transplantés avec leur motte en trous de plantation de 50 cm × 50 cm × 50 cm d'arête ouverts à la pioche. Le dispositif expérimental adopté était de type bloc aléatoire complet à trois répétitions comptabilisant un total de 90 plants. Les plants produits dans l'humus forestier ont servi comme un témoin. Les plants n'ont pas été fertilisés et n'ont bénéficié d'aucun autre entretien.

Les paramètres de suivi de la plantation sont :

- Taux de reprise : la reprise des plants de chaque mélange a été déterminée après une année de transplantation ;
- Taux de survie : elle a été déterminée chaque année à partir de la deuxième année pendant cinq ans en déduisant le nombre de plants morts du total des plants mis en terre ;
- Hauteur et diamètre au collet : ils ont été pris au moment de la mise en terre des plants une fois par an durant cinq années.

2.7. Analyse des données

Les données relevées au cours de cette expérimentation concernant la croissance et la capacité de régénération racinaire des plants de Pin pignon ont été interprétées statistiquement par une analyse de variance à un seul facteur de variation (substrat). Dans le cas où les différences étaient significatives, le test de Newman-Keuls a été utilisé pour classer les substrats par groupes homogènes au seuil de probabilité de 5 %. Par ailleurs, afin d'évaluer la corrélation entre les taux de reprise et de survie et les paramètres de croissance mesurés après transplantation, nous avons procédé au calcul du coefficient de corrélation de Pearson. Les analyses ont été effectuées par le logiciel XLSTAT.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques dimensionnelles des plants

Les hauteurs et les diamètres au collet mesurés à quatre intervalles de temps (60, 100, 140 et 190 jours) après le semis en pépinière sont représentés dans les figures 1 et 2. L'analyse de variance a révélé des différences significatives dès la première mesure pour les hauteurs alors que pour les diamètres les différences significatives n'apparaissent qu'à partir de la troisième mesure ($P < 0,001$). Les résultats obtenus pour le paramètre hauteur ont montré que les plants des substrats à base du compost étaient visiblement plus grands que les plants du substrat témoin sans compost dès le début de l'expérimentation (photo 1). Entre les trois composts testés, les plants élevés dans les substrats à base de compost + fumiers de volailles ont affiché une meilleure croissance en hauteur avec des valeurs oscillant entre 28,96 et 30,63 cm à la fin du cycle d'élevage. Avec une hauteur de 18,89 cm, les plants élevés dans le mélange témoin ont affiché un retard de croissance par rapport aux plants des substrats à base de compost. Pour ce qui est des diamètres, les plants élevés dans les mélanges à base de compost ont atteint des diamètres en fin cycle d'élevage oscillant entre 4,05 et 5,41 mm alors que les plants du témoin n'ont atteint que 3,03 mm en diamètre.

Les rapports H/D qui nous renseignent sur l'équilibre de croissance en hauteur par rapport à la croissance en diamètre traduisant la vigueur et la stabilité du plant [23,24], n'ont pas montré de grandes différences entre les différents substrats. Les plants produits dans les substrats contenant du compost avaient des rapports oscillant entre 5,65 et 6,79 alors que les plants du témoin ont affiché un rapport de 6,20 (figure 3).

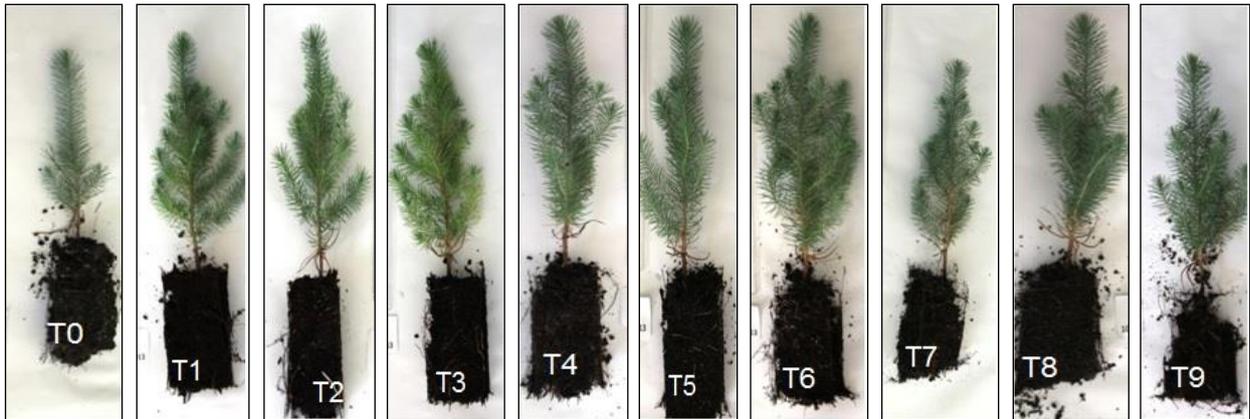


Photo 1 : Plants de Pin pignon en fin du cycle d'élevage en pépinière.

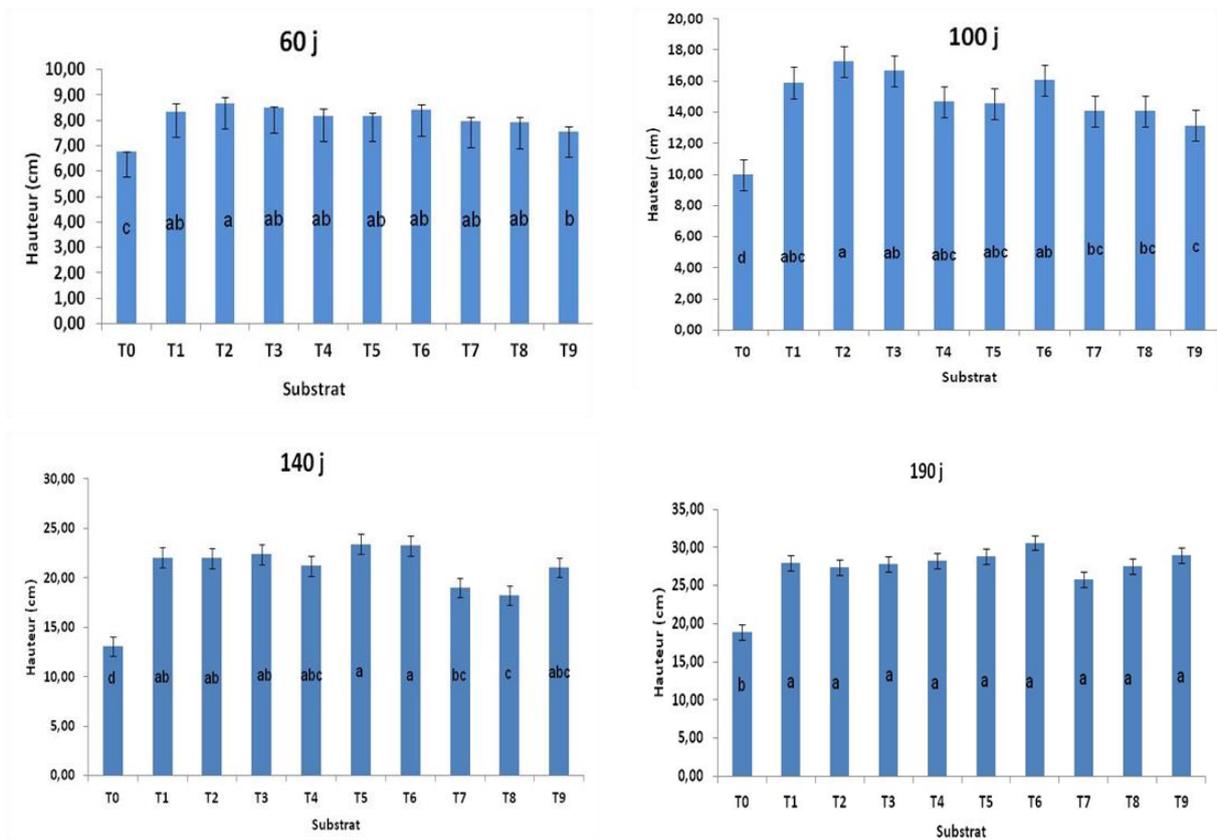


Figure 1 : Évolution de la croissance en hauteur des plants de Pin pignon produits dans différents substrats.

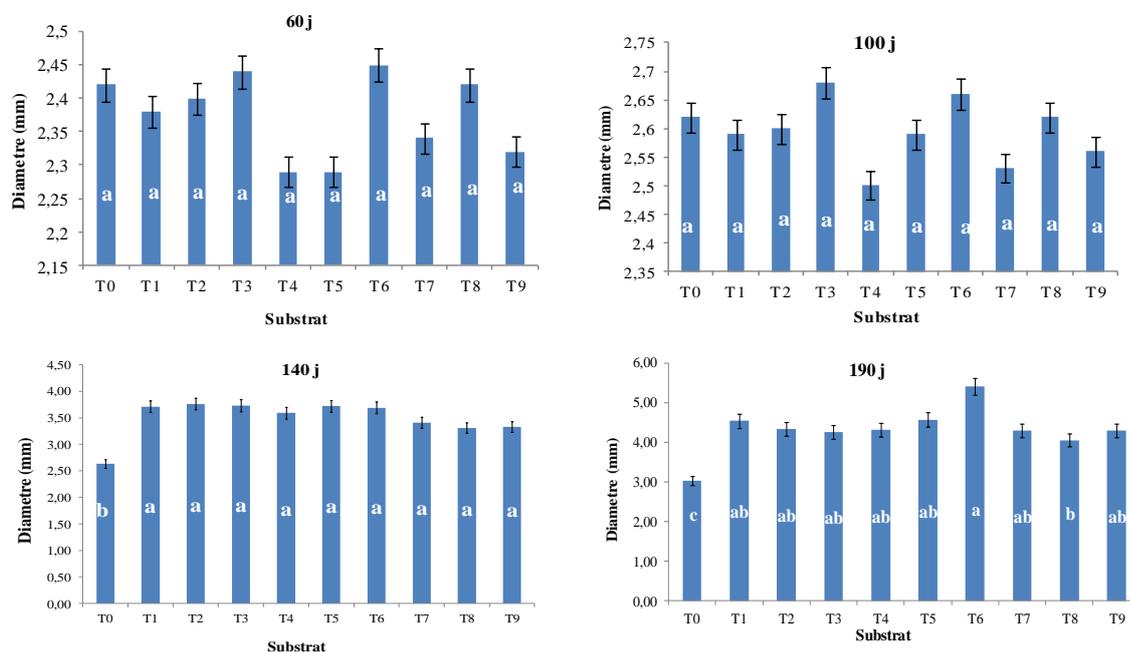


Figure 2 : Évolution de la croissance en diamètre des plants de Pin pignon produits dans différents substrats.

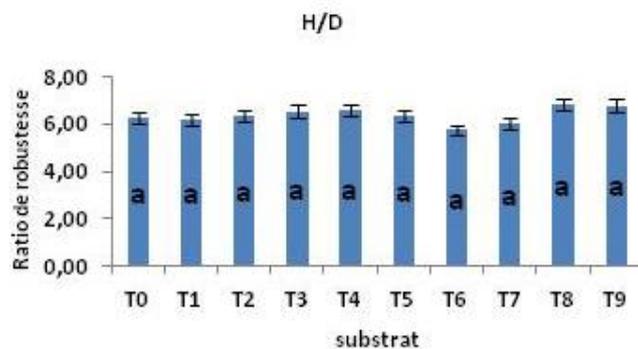


Figure 3 : Ratios de robustesse des plants de Pin pignon en fin du cycle d'élevage.

3.2. Production de biomasse

Les résultats des biomasses aérienne et racinaire exprimés en matière sèche déterminés en fin du cycle d'élevage sont synthétisés dans le tableau 2. Bien que les valeurs mesurées après 190 jours du semis ne fussent pas statistiquement différents, les plants des substrats renfermant du compost ont produit plus de matière sèche aérienne avec des valeurs oscillant entre 3,76 et 5,94

g.MS⁻¹ que le témoin sans compost avec une valeur de 1,93 g.MS⁻¹. Parmi les trois composts produits, le compost Acacia + fumiers a donné les meilleurs résultats par rapport aux deux autres composts. Pour les biomasses racinaires, ce sont les substrats à base de du compost + urée (100, 80 et 60 %) qui ont donné les meilleures productions de matière sèche. Le substrat témoin a enregistré toujours les valeurs les plus faibles.

Tableau 2
Biomasses sèches et ratios des tiges/racines des plants de Pin pignon en fin du cycle d'élevage en pépinière

Mélanges	Biomasse aérienne (g.MS ⁻¹)	Biomasse racinaire (g.MS ⁻¹)	BA/BR
T0	1,93 ± 0,88a	1,82 ± 0,74a	1,06 ± 0,53a
T1	5,19 ± 0,87a	2,39 ± 0,76a	2,13 ± 0,55a
T2	3,76 ± 1,06a	2,83 ± 0,76a	1,32 ± 0,48a
T3	5,08 ± 1,65a	2,11 ± 0,84a	2,40 ± 0,16a
T4	4,84 ± 1,39a	2,43 ± 0,89a	1,99 ± 1,55a
T5	5,15 ± 0,74a	3,13 ± 0,82a	1,64 ± 0,51a
T6	5,94 ± 1,57a	2,95 ± 0,72a	2,01 ± 0,48
T7	4,57 ± 0,99a	3,08 ± 0,47a	1,48 ± 0,15a
T8	4,69 ± 0,75a	4,13 ± 0,60a	1,13 ± 0,12a
T9	4,49 ± 0,92a	3,14 ± 0,72a	1,42 ± 0,09a
F observé	0,926 ^{NS}	0,671 ^{NS}	1,006 ^{NS}

Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman et Keuls à P=0,05. NS : Effet non significatif ; * : Effet significatif à 5 % ; ** : Effet significatif à 1 % ; *** Effet significatif à 1 % ; BA : Biomasse aérienne ; BR : Biomasse racinaire

3.3. Capacité de régénération racinaire

Les résultats relatifs aux émissions de nouvelles racines des plants de Pin pignon issus des 10 substrats testés sont rapportés dans le tableau 3. L'analyse statistique a décelé des différences significatives pour les paramètres élongation et biomasse des nouvelles racinaires émises. En effet, les nouvelles racines des plants élevés dans les substrats contenant du compost ont affiché de meilleurs allongements avec des moyennes variant de 20,53 à 37,28 cm par rapport au témoin avec

un allongement moyen de 20,18 cm. De même, le nombre de nouvelles racines émises par les racines des plants des substrats à base de compost a varié entre 9 et 16 contre 9 pour le témoin. Les plants élevés dans les substrats à 100 % compost ont développé plus de biomasse racinaire par rapport aux autres substrats à base de compost avec des valeurs oscillant entre 1,42 et 4,05 g. Entre les trois composts étudiés, le nombre le plus élevé de nouvelles racines a été enregistré dans les substrats à base de compost avec fumiers de volailles (photo 2).

Tableau 3
Capacité de régénération racinaire des plants de Pin pignon.

Mélanges	Nombre de nouvelles racines	Longueur moyenne (cm)	Biomasse totale (g.MS ⁻¹)
T0	09 ± 2, 60a	20, 18 ± 3, 60b	0, 31 ± 0, 08bc
T1	10 ± 1, 29a	37, 28 ± 2, 97a	4, 05 ± 0, 68a
T2	13 ± 1, 28a	30, 8 ± 1, 17ab	1, 72 ± 0, 49b
T3	15 ± 0, 80a	29, 68 ± 2, 97ab	1, 42 ± 0, 25bc
T4	09 ± 1, 44a	25, 4 ± 3, 61b	0, 70 ± 0, 36bc
T5	15 ± 2, 48a	26, 5 ± 1, 95b	0, 69 ± 0, 10bc
T6	16 ± 3, 12 a	20, 53 ± 2, 31b	0, 54 ± 0, 10bc
T7	13 ± 1, 89a	25, 33 ± 2, 01b	0, 34 ± 0, 04bc
T8	09 ± 0, 97a	24, 29 ± 2, 22b	0, 42 ± 0, 05bc
T9	14 ± 1, 19a	26, 28 ± 2, 04b	0, 27 ± 0, 04c
F observé	2, 18 NS 6 NS	4, 02** NS	14, 18*** NS

Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman et Keuls à P=0,05
NS : Effet non significatif ; * : Effet significatif à 5 % ; ** : Effet significatif à 1 % ; *** : Effet significatif à 1 %

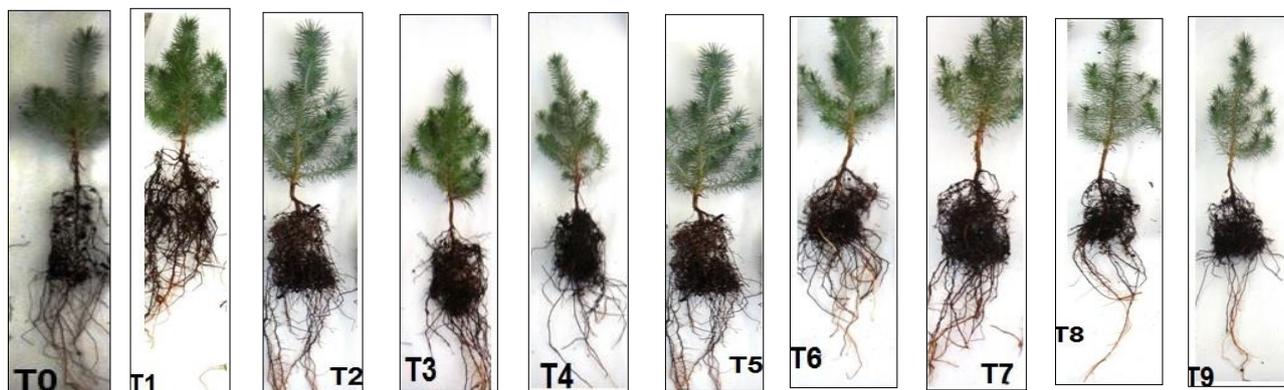


Photo 2 : Régénération de nouvelles racines de plants de Pin pignon après 60 jours le repiquage dans le sable

3.4. Comportement des plants après transplantation

3.4.1. Taux de reprise

La figure 4 présente les taux de reprise obtenus après une année de transplantation de jeunes plants de Pin pignon élevés dans les différents substrats. Les taux de reprise enregistrés ont varié de 66,66 à 100 % chez les plants élevés dans les substrats à base de compost et de 77,77 % chez les plants élevés dans le témoin à base d'humus forestier.

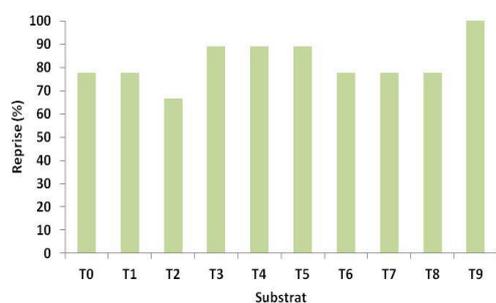


Figure 4 : Taux de reprise des plants de Pin pignon après une année de transplantation.

3.4.2. Taux de survie

La figure 5 présente les taux de survie sur le terrain évalués après 2, 3, 4 et 5 années de croissance de jeunes plants de Pin pignon élevés dans les dix différents substrats. Dans l'ensemble, les taux moyens de survie enregistrés sont très satisfaisants et dépassant les 90 %. En effet, après 2 années croissance, le taux moyen de survie enregistré chez les plants des substrats à base de compost a été de l'ordre de 97,36 % contre 100 % pour les plants élevés dans le témoin. Après 3 années de transplantation, la survie était nettement supérieure chez les plants élevés en compost (96,05 %) que chez les plants du témoin (85,71 %). Après 4 et 5 années de croissance sur le terrain, les taux de survie ont atteint 94,73 % pour les plants élevés dans les substrats à base de compost et de 85,71 % pour les plants du témoin. En plus, le test de corrélation a montré que la survie des plants est positivement corrélée avec les attributs diamètre au collet ($r = 0,57$) et capacité de régénération racinaire exprimée en nombre des racines néoformées ($r = 0,71$) mesurés en pépinière.

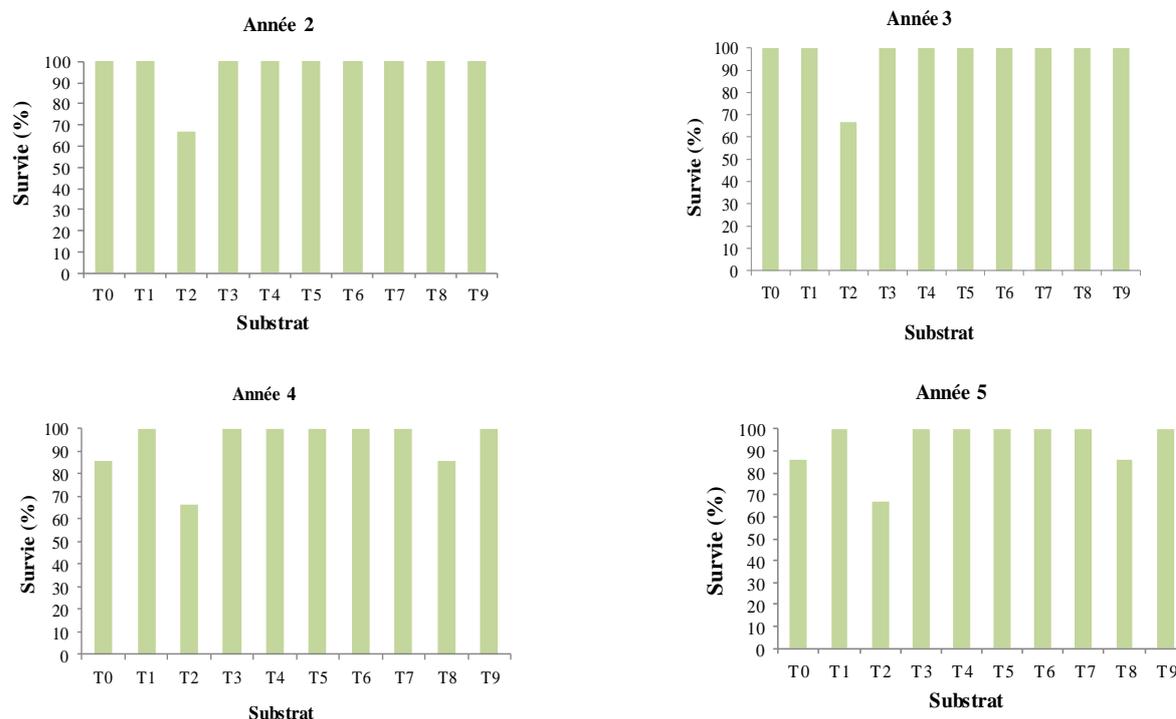


Figure 5 : Taux de survie des plants de Pin pignon produits dans différents substrats après transplantation.

3.4.3. Croissance en hauteur

Les résultats analysés statistiquement de la hauteur moyenne des jeunes plants de Pin pignon mesurée chaque année depuis la transplantation sont résumés dans le tableau 4.

Une année après transplantation, les différences significatives des hauteurs enregistrées à la sortie de la pépinière se sont maintenues. Les plants du substrat témoin T0 ont affiché une hauteur moyenne de 33,17 cm contre 37,20 cm pour les plants des substrats à base de compost.

À partir de la deuxième année, les différences de hauteur enregistrées se sont maintenues mais à des seuils non significatifs. Les plants du substrat témoin T0 ont accusé un retard de croissance par rapport aux plants des

substrats à base de compost. Entre les trois composts testés, les substrats composés de compost et fumiers de volailles ont donné les meilleures hauteurs des tiges par rapport aux autres composts avec des hauteurs moyennes de 60,44 ; 51,33 et 63,99 cm enregistrées respectivement pour les substrats T3, T6 et T9.

À la troisième année, les plants des substrats à base de 100 % de compost ont enregistré des hauteurs moyennes de l'ordre de 89,94 cm par rapport aux autres substrats ayant donné des hauteurs comprises entre 61 et 91 cm. Cette performance des plants, se confirme à la quatrième et la cinquième année en atteignant des hauteurs moyennes de 113 cm. Les plants élevés dans le substrat témoin ont affiché une hauteur moyenne de 76,27 cm.

Tableau 4

Effet du substrat de culture sur la hauteur moyenne des plants de Pin pignon après plantation.

Substrat	Hauteur moyenne des plants (cm)					
	A la sortie de pépinière (cm)	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
T0	20,66 ± 0,69 ^e	33,17 ± 2,12 ^{bc}	47,05 ± 0,48 ^a	76,27 ± 5,50 ^a	97,27 ± 7,05 ^a	174,41 ± 16,69 ^a
T1	27,55 ± 0,89 ^{cd}	37,37 ± 0,92 ^{abc}	60,44 ± 4,51 ^a	91,33 ± 10,28 ^a	106,10 ± 11,25 ^a	177,03 ± 31,43 ^a
T2	27,00 ± 0,58 ^{cd}	34,53 ± 2,74 ^{abc}	50,50 ± 5,85 ^a	91,00 ± 4,94 ^a	117,00 ± 14,16 ^a	220,33 ± 11,27 ^a
T3	29,94 ± 0,39 ^{abc}	39,11 ± 1,94 ^{ab}	60,44 ± 8,69 ^a	87,50 ± 12,02 ^a	116,05 ± 16,64 ^a	200,08 ± 13,52 ^a
T4	25,84 ± 1,27 ^d	35,87 ± 1,33 ^{abc}	55,33 ± 6,53 ^a	76,55 ± 6,09 ^a	102,66 ± 11,75 ^a	196,83 ± 0,54 ^a
T5	31,05 ± 1,64 ^{ab}	39,12 ± 1,22 ^{ab}	57,22 ± 1,87 ^a	83,83 ± 3,77 ^a	107,27 ± 4,10 ^a	112,16 ± 9,02 ^a
T6	32,49 ± 0,67 ^a	40,05 ± 1,29 ^{ab}	51,33 ± 4,77 ^a	71,16 ± 6,94 ^a	93,83 ± 4,29 ^a	173,71 ± 5,84 ^a
T7	26,72 ± 0,78 ^{cd}	36,11 ± 0,94 ^{abc}	52,08 ± 4,12 ^a	73,22 ± 3,56 ^a	111,72 ± 13,12 ^a	159,55 ± 12,99 ^a
T8	26,55 ± 0,39 ^{cd}	31,287 ± 1,60 ^c	45,50 ± 7,24 ^a	69,16 ± 9,56 ^a	94,50 ± 14,04 ^a	171,16 ± 22,53 ^a
T9	29,05 ± 0,24 ^{abcd}	41,40 ± 1,34 ^a	63,99 ± 3,93 ^a	91,22 ± 2,46 ^a	114,22 ± 7,87 ^a	204,38 ± 13,68 ^a

Pour chaque colonne, les valeurs moyennes par traitement suivies de lettres toutes différentes indiquent une différence significative au seuil de 5 % selon le test de Newman et Keuls

3.4.4. Croissance en diamètre

L'analyse des données du tableau 5 montre que l'évolution des diamètres au collet des plants après transplantation est sensiblement identique à celle des hauteurs. En effet, Après la première année et la deuxième année de croissance sur le terrain, les plants élevés dans les substrats à base de compost ont pris le dessus en atteignant des diamètres significativement supérieurs à ceux des plants du substrat témoin T0. Entre les trois composts, les plants élevés sur le compost +

fumier ont enregistré les meilleurs résultats avec des diamètres moyens de 14 mm après de 2 années de transplantation. Après la troisième année de croissance sur le terrain, les différences se sont maintenues entre les plants des substrats à base du compost et ceux du témoin mais avec des différences non significatives. A la cinquième année de croissance, les plants du substrat T5 ont affiché le diamètre moyen maximal de 63,33 mm, tandis que les plants du substrat témoin ont affiché le diamètre moyen minimal de 47,60 mm.

Tableau 5

Effet du substrat de culture sur le diamètre moyen des plants de Pin pignon après plantation.

Substrat	Diamètre moyen des plants (cm)					
	A la sortie de pépinière (cm)	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
T0	4,45 ± 0,14 ^d	6,31 ± 0,56 ^d	9,14 ± 1,76 ^b	16,84 ± 2,44 ^a	33,613 ± 6,84 ^a	47,60 ± 5,62 ^a
T1	6,86 ± 0,10 ^{ab}	10,06 ± 0,80 ^{ab}	15,84 ± 1,86 ^a	25,20 ± 2,63 ^a	38,930 ± 2,59 ^a	61,52 ± 6,49 ^a
T2	6,17 ± 0,34 ^{bc}	8,25 ± 0,36 ^{bcd}	13,14 ± 1,17 ^{ab}	19,18 ± 3,22 ^a	38,397 ± 6,60 ^a	47,44 ± 9,65 ^a
T3	7,86 ± 0,43 ^a	10,27 ± 0,41 ^{ab}	13,94 ± 0,65 ^{ab}	22,56 ± 0,99 ^a	43,93 ± 3,98 ^a	53,16 ± 5,03 ^a
T4	6,69 ± 0,21 ^{ab}	9,50 ± 0,22 ^{ab}	13,62 ± 0,30 ^{ab}	22,75 ± 0,62 ^a	40,41 ± 4,48 ^a	52,64 ± 2,59 ^a
T5	6,88 ± 0,04 ^{ab}	10,90 ± 0,93 ^a	14,79 ± 0,71 ^{ab}	25,49 ± 1,79 ^a	45,99 ± 6,72 ^a	63,33 ± 8,72 ^a
T6	7,57 ± 0,31 ^{ab}	9,89 ± 0,63 ^{ab}	13,58 ± 1,57 ^{ab}	20,78 ± 1,40 ^a	36,27 ± 5,21 ^a	50,53 ± 6,86 ^a
T7	6,65 ± 0,51 ^{ab}	9,15 ± 0,23 ^{abc}	12,04 ± 0,80 ^{ab}	18,62 ± 2,54 ^a	32,01 ± 3,96 ^a	43,14 ± 5,50 ^a
T8	5,46 ± 0,43 ^c	7,25 ± 0,51 ^{cd}	11,17 ± 0,90 ^{ab}	17,40 ± 1,66 ^a	30,77 ± 3,92 ^a	43,62 ± 6,27 ^a
T9	6,76 ± 0,4 ^{ab}	9,66 ± 0,46 ^{ab}	14,10 ± 0,71 ^{ab}	22,73 ± 0,65 ^a	41,86 ± 4,62 ^a	53,45 ± 2,32 ^a

Pour chaque colonne, les valeurs moyennes par traitement suivies de lettres toutes différentes indiquent une différence significative au seuil de 5 % selon le test de Newman et Keuls.

5. Discussion

Les travaux menés dans le cadre de ce travail ont permis de montrer que l'évaluation des paramètres de croissance des plants Pin pignon révèle que les substrats à base de compost des branches d'*Acacia cyanophylla*, constituent une excellente solution de substitution aux substrats à base d'humus forestiers.

En effet, l'évaluation des caractéristiques dimensionnelles des plants issus des différents substrats testés a permis de montrer une variabilité significative des paramètres mesurés. Les plants cultivés dans le substrat témoin ont affiché une hauteur moyenne la plus faible (18,89 cm) et même inférieure aux normes de qualification des plants [24]. Par contre, les plants cultivés dans les substrats à base de compost ont montré des performances morphologiques remarquables et très proches entre elles. Bien que les plants des substrats à base de compost d'*Acacia* + fumiers de volailles aient affiché une légère supériorité pour ce paramètre. Les plants produits dans le compost ont répondu, dans l'ensemble, aux normes de qualité citées pour cette espèce [24].

De même, les résultats de la croissance en diamètre des plants de Pin pignon vont dans le même sens que la croissance en hauteur. En effet, les substrats à base de compost ont donné les meilleurs diamètres au collet moyens par rapport aux plants du substrat témoin.

Les résultats obtenus pour le ratio de robustesse : hauteur/diamètre ont montré que les plants produits dans les substrats à base de compost ont affiché un H/D correspondant aux normes communément admises pour les pins < 7 [24].

Pour ce qui est de la production de matière sèche, la biomasse aérienne était en moyenne 4,85 g/plant chez les plants issus des substrats à base de compost et 1,93 g/plant pour le témoin. Alors que la biomasse racinaire était en moyenne 2,91 g/plant pour les substrats à base de compost contre 1,82 g/plant pour le substrat témoin. Les meilleurs ratios des biomasses PA/PR ont été obtenu par les substrats à base de compost et fumiers de volailles T3, T6 et T9, les quels étaient très proches à la norme admissible pour la production de plants en conteneurs (2g/g) citée par Lamhamedi *et al.* [8].

Le test de capacité de régénération de nouvelles racines constitue un bon indicateur de performance des plants après transplantation [25]. Les résultats obtenus

ont montré la nette supériorité de substrats à base de compost par rapport au témoin sans compost. En effet, les plants élevés dans les substrats à base de compost ont généré plus de masse racinaire (0,70 g.MS⁻¹ en moyenne) que les plants élevés dans le témoin (0,28 g). Ces résultats de capacité de régénération racinaire corroborent avec ceux obtenus par nos travaux antérieurs sur le chêne liège [17] et celle d'Ammari *et al.* [26].

Le taux de reprise obtenus après une année de transplantation des jeunes plants de Pin pignon élevés dans les différents substrats était satisfaisant dans l'ensemble, il était en moyen de 82,22 % contre 95 % pour le chêne liège [18]. Ce résultat est en concordance avec ceux d'Ammari *et al.* [27], qui ont enregistré un taux de reprise oscillant de 76 à 89 % pour la même espèce après une année de transplantation. La reprise était plus élevée chez les plants élevés en compost (82,71 %) que chez les plants du témoin (77,77 %). Ceci confirme l'effet prolongé de la nature et de la composition des substrats sur la reprise des plants de Pin pignon et consolident les résultats de la capacité de régénération racinaire mesurée en pépinière. En outre, le test de corrélation réalisé a montré que la reprise des plants était faiblement corrélée avec les variables diamètre au collet ($r = 0,35$) et capacité de régénération racinaire exprimée par le nombre de nouvelle racines néoformées ($r = 0,22$). En revanche, ce résultat contrarie celui obtenu pour le chêne liège où le taux de reprise après une année était positivement corrélé avec le diamètre au collet ($r = 0,83$) et le rapport H/D ($r = 0,69$) [17].

La survie des plants élevés dans les substrats à base de compost est estimée à 97,36 % contre 100 % pour les plants élevés dans le substrat témoin avec des différences non significatives. À la fin de la cinquième année, le taux de survie moyen était nettement supérieur pour les plants élevés dans les substrats à base de compost (94,73 %) par rapport aux plants élevés dans le substrat témoin (85,71%).

De plus, le test de corrélation réalisé a montré que la survie des plants était positivement corrélée avec les variables diamètre au collet ($r = 0,57$), rapport H/D ($r = 0,69$) et capacité de régénération racinaire ($r = 0,71$) mesurés en pépinière. Ce résultat confirme l'effet prolongé des substrats utilisés en pépinière sur la survie des plants même à un âge assez avancé de cinq années [27].

Plusieurs travaux ont montré que l'effet de la nature des substrats de culture ne se limite pas à la survie, mais affecte aussi les paramètres de croissance des plants tels que la hauteur et le diamètre au collet [28-30]. L'évolution de ces paramètres de croissance en site de plantation a varié en fonction des substrats de culture. En effet, la croissance des plants de Pin pignon élevés dans les substrats à base de compost était plus importante que celle des plants du substrat témoin avec des différences significatives durant les deux premières années de croissance. Les plants des substrats à base de compost d'Acacia + fumiers de volailles ont affiché une légère supériorité pour les paramètres mesurés, confirmant effectivement la supériorité de régénération racinaire observée en phase pépinière.

En plus, le test de corrélation réalisé a montré que la croissance initiale des plants après une année de plantation était positivement corrélée avec la capacité de régénération racinaire et les paramètres de croissance ; diamètre au collet ($r = 0,64$) et hauteur ($r = 0,77$). Ceci démontre que les substrats à base de compost permettent une meilleure régénération racinaire offrant un meilleur potentiel de croissance et de survie pour les plants dès qu'ils sont mis en contact avec le sol [30, 26]. Aussenc *et al.* [31], notaient que le type de substrat joue un rôle important sur la qualité des plants et leur réussite en site de plantation.

Bien que les paramètres mesurés lors des trois dernières mesures effectuées après la troisième, la quatrième et la cinquième année plantation ne fussent pas statistiquement différentes, les plants des substrats renfermant du compost d'Acacia + fumiers de volailles étaient visiblement plus grands que les plants des autres substrats dès le début de l'essai. Après 5 années de plantation, les plants élevés dans les substrats à base de compost d'Acacia + fumiers ont atteint une hauteur moyenne de 192,72 cm et un diamètre moyen de 52,38 mm alors que les plants du témoin n'ont atteint que 174,71 cm en hauteur et 47,60 mm en diamètre.

De manière générale, on constate que les plants élevés dans les substrats à base de compost d'Acacia + fumiers de volailles étaient plus hauts en pépinière et ils ont conservé cet avantage tout le long de la période d'établissement sur le terrain, cela peut être expliqué par la richesse du fumier de volailles en azote qui joue un rôle nutritif et stimulant de la croissance.

6. Conclusion

Le présent travail constitue une contribution novatrice vers la modernisation progressive des pratiques culturales adoptées de façon empirique dans nos pépinières, notamment en matière des supports d'élevage. À cet effet, l'incorporation du compost dans la confection des substrats d'élevage offre de meilleures conditions de croissance aux plants de Pin pignon par rapport aux plants du témoin. En effet, les substrats à base de compost ont permis de réaliser des gains significatifs de croissance allant de 28 à 38 % en hauteur, de 25 à 44 % en diamètre et de 48 à 62 % en biomasse sèche aérienne par rapport aux plants du témoin. De plus, l'élevage en compost permet de réduire les coûts engendrés par les moyens de lutte contre les agents pathogènes et les mauvaises herbes associés à l'élevage dans l'humus forestier.

En site de transplantation, nos observations ont montré que les substrats de culture à base de compost ont un effet significatif sur la reprise, survie et la croissance initiale des plants de Pin pignon en site de plantation.

D'après les propriétés morphologiques principales, mesurées en plantation expérimentale, les plants de Pin pignon produits dans les substrats à base de compost d'acacia + fumiers de volailles étaient les plus performants, au vu du bilan de cinq ans de survie et de croissance des plants en site de plantation par comparaison à ceux produits dans le substrat témoin. Ce résultat montre l'intérêt de l'utilisation en pépinière des substrats de culture ayant des propriétés chimiques et physiques plus favorables à la croissance en pépinière et permettant une meilleure reprise après plantation que les substrats classiques, ce qui contribuera à minimiser les dépenses engendrées par les opérations de regarnis.

Références

- [1] Mustin M., Le compost, Gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc, Paris, 1987. 954 p.
- [2] Miller J.H., Jones N., Organic and compost-based growing media for tree seedlings nurseries. Washington, DC, USA, World Bank Technical papers, 264, 1995, 75 p
- [3] Benamirouche S., Chouial M., Chouial A., Roula B., Younsi S., Production de compost à base de branches d'Acacia cyanophylla Lindl, La forêt Algérienne, 9 (2014) : 18-25
- [4] Lemaire F., Dartigues A., Rivières L.M., Charpentier S., 1989. Culture en pots et conteneurs. Principes agronomiques et applications. INRA, 181 p. ISBN : 2-7380-1030-X
- [5] Landis T.D., Containers and Growing Media. Chapter 2: Growing Media, In: The Container Tree Nursery Manual. Agricultural

- Handbook, Washington DC, US Department of agriculture, Forest service, 2 (1990): 41-85. Disponible en ligne : <http://www.nurserycropscience.info/management/shipping/other-references/container-tree-nursery-manual-chap-2.pdf/view> (accédé le 01/03/2021)
- [6] Rose R, Haase DL, Boyer D., Organic Matter Management in Forest Nurseries: Theory and Practice. Nursery Technology Cooperative. Oregon State University, Corvallis, OR, 1995. 65 p. Disponible en ligne : <https://rngr.net/publications/omm> (accédé le 01/03/2021)
- [7] Ammari Y. ; Lamhamedi M.S. ; Zine El Abidine A., Akrimi N., Production et croissance des plants résineux dans différents substrats à base de compost dans une pépinière forestière moderne en Tunisie, Rev. For. Fr., 59 (4) (2007) : 339-358. <https://doi.org/10.4267/2042/9858>
- [8] Lamhamedi M.S., Fecteau B., Godin L., Gingras C.H., El Aini R., Gader G.H., Zarrouk M.A., Guide pratique de production hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Projet : ACDI E4936-K061229. Direction Générale des Forêts, Tunisie et Pampev internationale Ltée©, Canada, 2006. 114 p. Disponible en ligne : <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedi-Mohammed/Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf> (accédé le 05/01/2021)
- [9] Aylaj M. et Lhadi E.K., Évaluation de la stabilité et la maturité des composts obtenus par biodégradation aérobie d'un mélange de déchets ménagers et de déchets de poulets. Déchets. Revue francophone d'écologie industrielle, 50 (2) (2008) : 25-32. Disponible en ligne : http://odel.irevues.inist.fr/dechets-sciences-techniques/docannexe/file/1467/5_aylaj.pdf (accédé le 04/03/2021)
- [10] M'Sadak Y., Elouaer M.A., El kamel R., Évaluation des substrats et des plants produits en pépinière forestière, Revue bois et Forêts des tropiques, 313 (3) (2012) : 61-71. <https://doi.org/10.19182/bf2012.313.a20497>
- [11] M'Sadak Y., Elouaer M.A., El Kamel R., Évaluation du comportement chimique des composts, des tamisats et des mélanges élaborés pour la conception des substrats de culture. Revue Nature et Technologie, 8 C (2013a) : 54-60. Disponible en ligne : https://www.univ-chlef.dz/revuenatec/Art_08_C_08.pdf (accédé le 01/03/2021)
- [12] M'Sadak Y., Hamdi W., Zaalani Ch., Production et croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisat de compost dans une pépinière hors sol (Tunisie), Agriculture, 4 (2) (2013b) : 29-34. Disponible en ligne : <http://193.194.91.150:8080/en/article/5922> (accédé le 10/03/2021)
- [13] M'Sadak Y., Elouaer M. A., Caractérisations physique et hydrique des substrats de croissance à base de compost pour pépinières forestières, Agriculture, 11(2016) : 55-68. Disponible en ligne : <https://revue-agro.univ-setif.dz/documents-agri/numero11-2016/MocoSadak-et-Elouaer.pdf> (accédé le 15/03/2021)
- [14] Bembli H., M'Sadak Y., Évaluations directe et indirecte des substrats de culture issus de tourbe en mélange avec compost sylvicole pour la production des plants de Tomate, Revue Agriculture, 8 (1) (2017) : 18 – 30. Disponible en ligne. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/31380> (accédé le 05/02/2021)
- [15] Lamhamedi M.S., Fortin J.A., La qualité des plants forestiers: critères d'évaluation et performances dans les sites de reboisement. In : Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers, Salé, 03/06/1992. Ed. Abourouh M., Centre de Recherche et d'Expérimentation Forestières, Rabat, Maroc : (1994) :35-50. ISBN : 9981824046 9789981824041.
- [16] Lamhamedi M.S., Bertrand S., Fecteau B., 2000, Fondements théoriques et pratiques du compostage des branches et des écorces des essences forestières et leur utilisation dans les pépinières forestières en Tunisie. Projet Fonds Nordique NIB/NDF. Direction générale des forêts, Tunisie. Pampev Internationale, Montréal, Canada, 35 p. Disponible en ligne. <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedi-Mohammed/Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf> (accédé le 05/01/2021)
- [17] Benamirouche S., Chouial M., Essai de production et de valorisation de compost d'Acacia cyanophylla pour la production de plants de chêne liège (*Quercus suber* L.). Résultats en pépinière et après transplantation, Dech. Sci. Tech., 76 (2018) : 21-32. <https://dx.doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3729>
- [18] Chouial M., Benamirouche S., Guerchi W., Production et évaluation du compost d'Acacia cyanophylla Lindl et de broussaille forestière pour la confection des substrats de culture, Agriculture and Forestry Journal, 2 (1) (2018) : 36-47. Disponible en ligne : <https://ojs.univ-tlemcen.dz/index.php/AFJ/article/view/295> (accédé le 02/01/2021)
- [19] Argillier C., Falconnet G., Gruez J., Production de plants forestiers méditerranéens hors-sol, In Guide du forestier méditerranéen français. Chapitre 6, Éditions CEMAGREF (Aix en Provence), 1999. 140 p.
- [20] Foucard J.C., Filière pépinière : de la production à la plantation, Technique et documentation-Lavoisier, 1994. 395 p. ISBN 10 : 2743010940
- [21] Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., Le sol vivant. Bases de la pédologie. Biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires Romandes. Collection Gérer l'environnement, 14, 1998.519 p. <https://doi.org/10.7202/011320ar>
- [22] Cornine B., Dominique C., Les plantations d'alignement le long des routes, chemins, canaux, allées Collection mission du paysage. Institut pour le Développement Forestier IDF, 1988. 416p.
- [23] Lamhamedi M.S., André Fortin J., Ammari Y., Ben Jelloun S., Poirier M., Fecteau B., Bougacha A., Godin L., Évaluation des composts, des substrats et de la qualité des plants (*Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Cupressus sempervirens* et *Quercus suber*) élevés en conteneurs. Projet Bird 3601. Exécution des travaux d'aménagement de trois pépinières pilotes en Tunisie. Direction Générale des Forêts. Tunisie, Pampev Internationale Ltée. 1997. 121p.
- [24] Lamhamedi M.S., Ammari Y., Fecteau B., Fortin J.A., Margolis H.A., Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégies d'orientation, Cahiers Agricultures, 9 (5) (2000b) : 369-380. Disponible en ligne : <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30259> (accédé le 05/01/2021)
- [25] Kaushal P., Aussenac G., Transplanting shock in Corsican pine and cedar of Atlas seedlings: internal water deficit, growth and root regeneration, Forest Ecology and Management, 27 (1989): 29-40. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(89\)90080-7](https://doi.org/10.1016/0378-1127(89)90080-7)
- [26] Ammari Y., Lamhamedi M. S., Akrimi N. et Zine El Abidine A., Influence de divers substrats à base de compost sur le statut nutritionnel et la capacité de croissance racinaire de plants de Pin pignon. Annales de l'INRGREF, Numéro spécial, 9 (2) (2006) : 148-171. ISSN 1737-0515
- [27] Ammari Y., Akrimi N., Lamhamedi M.S., Zine El Abidine A., Influence des substrats d'élevage sur la survie et la croissance de jeunes plants de résineux en site de reboisement, Annales de l'INRGREF, 7 (N°. Spécial) (2005) : 217-228. Disponible en ligne : http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/9858/339_358_AMMARI.pdf?sequence=3 (accédé le 05/01/2021)
- [28] Lemaire F., Dartigues A., Rivière L.M., Properties of substrates with ground pine bark, Acta Hort., 99 (1980) : 67-80. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1980.99.9>

- [29] Guehl J.M, Falconnet G., Gruez J., Caractéristiques physiologiques et survie après plantation de plants de Cedrus atlantica élevés en conteneurs sur différents types de substrats de culture, Ann. Sci. For., 46 (1) (1989) :1-14.
<https://doi.org/10.1051/forest:19890101>
- [30] Ritchie G. A. et Danlap J.R., Root potential, its development and expression in Forest tree seedlings, N. Z. J. For. Sci., 10 (1980): 218-248. Corpus ID: 40182720. Disponible en ligne :
https://www.scionresearch.com/_data/assets/pdf_file/0019/36811/NZJFS1011980RITCHIE218_248.pdf (accédé le 01/04/2021)
- [31] Aussenac G., Guehl J.M., Kaushal P. Granier A., Grieu Ph., Critères physiologiques pour l'évaluation de la qualité des plants forestiers avant plantation, Rev. For. Fr., 40 (N°. spécial) (1988) : 131-139. Disponible en ligne :
http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/25926/RF_F_1988_S_131.pdf;sequence=1 (accédé le 25/03/2021)
-

Soumis le : 10/03/2021

Forme révisée acceptée le : 24/10/021

Auteur correspondant : abidi.sondes@yahoo.fr



Revue
Nature et Technologie

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

ISSN: 1112-9778 – EISSN: 2437-0312

Influence des rejets d'une sucrerie sur la qualité physico-chimique, bactériologique et méiofaunistique de l'Oued Boujaarin (Tunisie)

Sondes ABIDI*, Mustapha BEJAOU, Meryem JEMLI, Moncef BOUMAIZA

Université de Carthage, Faculté des Sciences de Bizerte, Laboratoire de Biosurveillance de l'Environnement LR01ES14, Jarzouna 7021, Bizerte, Tunisie

Résumé

L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'impact des rejets d'eaux de la sucrerie Ben Béchir sur la qualité physico-chimique, bactériologique et méiofaunistique de l'Oued Boujaarin. À cet effet, des échantillons d'eau et de sédiments ont été analysés durant les saisons automnale, hivernale et printanière durant les années 2006 et 2007. Les résultats montrent que sous l'effet de la pollution, ce cours d'eau s'est chargé en coliformes totaux, streptocoques fécaux, chlorures, nitrates, matières organiques dissoutes et sa demande biologique en oxygène a atteint un niveau élevé. Concernant les données méiobenthiques, les trois paramètres de diversité se maintiennent encore malgré la pollution : un nombre relativement élevé d'individus ($N > 266 \text{ ind}/100 \text{ cm}^2$) ; des indices de Shannon et d'équitabilité importants ($H' \geq 0,8$; $J' \geq 0,43$) et ceci grâce à la biodisponibilité en matière organique et la bonne aération qui ont favorisé le maintien de la prolifération des différents maillons du réseau trophique méiobenthique.

Mots-clés : Paramètres physico-chimiques ; Coliformes ; Méiofaune ; Sucrerie ; Oued Boujaarin.

Influence of the wastes of a sugar factory on the Physico-chemical, bacteriological and meiofaunal quality of the Oued Boujaarin (Tunisia)

Abstract

The objective of this study is to assess the impact of water discharges from the Ben Béchir sugar factory on the Physico-chemical, bacteriological and meiofaunal quality of Oued Boujaarin. To this purpose, water and sediment samples were analyzed during the autumn, winter and spring seasons in 2006 and 2007. The results show that under the effect of pollution, this watercourse is loaded with total coliforms, fecal streptococci, chlorides, nitrates, dissolved organic matter and its biological oxygen demand has reached a high level. Concerning the meiobenthic data, the three diversity parameters are still maintained despite the pollution: a relatively high number of individuals ($N > 266 \text{ ind}/100 \text{ cm}^2$); high Shannon and equitability indices ($H' \geq 0.8$; $J' \geq 0.43$) and this is due to the bioavailability of organic matter and the good aeration which favored the maintenance of the proliferation of the different maillons of the meiobenthic trophic chain.

Keywords: Physico-chemical parameters; Coliforms; Meiofauna; Sugar mill; Oued Boujaarin.

1. Introduction

Les industries agroalimentaires accélèrent leur cadence et leur rythme de production en ayant recours à l'utilisation intensive des ressources naturelles et plus particulièrement l'eau et l'énergie [1]. Ce rythme accru de production s'accompagne d'un accroissement du volume des eaux usées qui, face aux exigences normatives et légales qui régissent la protection de

l'environnement, nécessitent une caractérisation en vue d'orienter le choix du système de leur traitement et valorisation [2].

Une étude, réalisée par Errogui *et al.* [3] sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées d'une sucrerie, a révélé qu'ils sont relativement chauds et basiques. Ces effluents liquides ont présenté aussi une forte charge de matière oxydable, organique et particulaire, une forte minéralisation justifiée par une



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

conductivité électrique élevée. Le rapport DCO/DBO¹ a révélé le caractère biodégradable des eaux usées produites, auxquelles un traitement biologique pourrait être recommandé. Donc, les milieux recevant ces rejets industriels de la sucrerie non traités peuvent être soumis à des impacts écologiques et sanitaires importants Errogui *et al.* [3].

La sucrerie Ben Béchir avait été créée à Bou Salem dans les années quatre-vingt avec pour objectif de réduire les importations de sucre. Elle répondait à un modèle économique basé sur la culture de betteraves dans les champs environnants. La superficie exploitée avait atteint 4000 hectares plantés en betteraves à sucre. Cette unité industrielle rejette des effluents liquides directement dans les bassins des rejets, sans traitement interne suffisant [4]. Ainsi, la couleur rouge et la mauvaise odeur de ces deux bassins prouvent la présence : *i*) de matières organiques colorées tel que Bétalaine, pigment qui donne la couleur rouge au Betterave ; *ii*) de substances organiques volatiles ; *iii*) de certains gaz. Ces deux critères sont des précurseurs d'une pollution microbiologique certaine (présence de micro-organismes) et industrielle [5].

À côté de ces bassins, passe un affluent nord de la Medjerda : l'Oued Boujaarin qui est fort probablement

menacé par cette pollution. Il s'agit d'un cours d'eau temporaire qui traverse des terres agricoles et des zones de pâturage, sa largeur est d'environ 2 m. [6]

Le présent travail consiste à réaliser une caractérisation saisonnière des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et méiofaunistiques de ce cours d'eau afin d'évaluer les effets des eaux de rejets de la sucrerie.

Le substrat est grossier, formé de pierres et de gravier. Le couvert végétal est dense, formé par *Mandragora autumnalis*, *Eucalyptus (spp)*, *Tamarix africana*, *Typha angustifolia*, *Juncus maitimus*, *Phragmites communis*, *Ammi visnaga*, *Onopordon espiniae*, *Scolymus grandiflorus*, *Cynodon dactylon* et *Inula graveolens*.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

La station étudiée est située sur l'Oued Boujaarin (36°34'07,30"N ; 8°51'02,13"E), en aval des bassins de rejets de la sucrerie Ben Béchir (figure 1). En plus de l'infiltration des eaux des bassins, cette station est soumise à une pollution agricole.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (Source : Google Earth : 36°34'07.30"N ; 8°51'02.13"E ; 465 m) ([Image © Maxar Technologies](https://www.google.com/maps/@36.5686111,8.8502778,15z))

¹ <http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/hydro/travail-coop/protocoles/analysesPC/dbo5>

2.2. Stratégie d'échantillonnage

Afin d'analyser les paramètres physico-chimiques et les données méiofaunistiques du milieu, des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés à partir de la station prospectée durant les saisons automnale, hivernale et printanière durant les années 2006 et 2007. La disparition totale de l'eau pendant la saison estivale nous a empêchés d'effectuer l'échantillonnage demandé.

2.3. Techniques d'analyse de l'eau

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau telles que la turbidité, la température, le pH, la salinité et l'oxygène dissous, ont été mesurées sur le terrain à l'aide d'appareils de mesure portables de marque [WTW-1.9.7i](https://www.wtw.com)².

Les ions indicateurs de pollution organique tels que les nitrates et les chlorures ont été dosés conformément aux normes AFNOR [7] et aux méthodes préconisées par Rodier en 1999 [8]

La teneur en matières organiques dissoutes a été mesurée par l'oxydabilité au KMnO_4 [8]. La Demande biologique en oxygène (DBO) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques dans un échantillon d'eau sous l'action des micro-organismes qui s'y développent en cinq jours. Elle est mesurée par le changement de pression. Lorsque les micro-organismes transforment l'oxygène en dioxyde de carbone, on n'observe pas ce changement de pression puisque 1 mole d'oxygène et 1 mole de dioxyde de carbone occupent le même volume. Les pastilles de NaOH absorbent le dioxyde de carbone et le transforment en carbonate de sodium (solide dissous) selon la formule : $2 \text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$, et ceci provoque alors une réduction de la pression. Afin d'assurer l'échange entre la pression partielle d'oxygène dans la phase gazeuse et celle dans le liquide de l'échantillon, il est important d'agiter l'échantillon en continu (agitation magnétique) [9].

Concernant l'analyse bactériologique, la numération des coliformes fécaux a été réalisée par la méthode de dénombrement des unités formant des colonies (UFC) qui consiste à filtrer sur une membrane stérile de porosité $0,45 \mu\text{m}$, à l'aide d'un dispositif de filtration lié à une

pompe à vide, l'échantillon d'eau ou des dilutions décimales de celui-ci, de manière à avoir, après incubation, 10 à 100 UFC sur le filtre. La membrane est incubée sur le milieu gélosé sélectif à 37°C pendant 24 h pour la recherche des coliformes fécaux [5,10].

Le comptage des streptocoques fécaux a été entrepris grâce à la méthode de détermination du Nombre le Plus Probable (NPP) dont le principe consiste à ensemencer de nombreuses prises d'essai d'un même échantillon et/ou de dilutions de celui-ci dans des tubes de milieu de culture liquide. Les prises d'essai de l'échantillon ou des dilutions sont donc incorporées dans une première série de tubes de milieu non véritablement sélectif : c'est le test de présomption (croissance ou non). Ce premier test est qualitatif et permet de conclure seulement à la présence ou à l'absence de micro-organismes dans la prise d'essai. On ensemence une deuxième série de tubes de milieu plus sélectif en repiquant les tubes ayant donné un résultat positif dans la première série : c'est le teste confirmation. À partir de ces résultats, on estime la quantité de micro-organismes après détermination du NPP [11]. La loi de Poisson permet de calculer le NPP par unité de volume sur la base du nombre de tubes positifs comptés pour les diverses dilutions [12]. Donc, pour chaque série de trois tubes, on compte le nombre de tubes présentant un trouble microbien souvent accompagné d'un sédiment bleu violacé (positif). Le nombre lu sur la table de Mac Grady correspond au nombre le plus probable NPP de streptocoques fécaux dans 100 mL de l'échantillon à des limites de confiance de 95 % [13].

2.4. Techniques d'étude de la méiofaune

Étant donné que la méiofaune vit dans le sédiment des cours d'eau, on a donc extrait et conservé trois carottes de ces derniers de 10 cm^2 de section et 18 cm de hauteur [14] ; la conservation s'est faite dans du formol à 5 % en vue d'étudier la méiofaune. Le contenu de chaque carotte a été ensuite recueilli dans un bocal et conservé dans du formol à 5 % neutralisé à l'hexaméthylène-tétramine. L'extraction a été faite selon la technique de lévigation-

² Multiparamètre portable Profi Line Multi 197i WTW: Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, Allemagne.

<https://www.xylenalytics.co.uk/media/pdfs/wtw-iq-sensor-net-brochure.pdf?pdf=>

tamissage [15]. Le refus du tamis³ de 40 µm a été coloré pendant 24 heures au rose Bengale puis versé dans une cuve de Dollfus à fond quadrillé. Le comptage sous loupe binoculaire permet d'évaluer les densités moyennes de chaque groupe méiofaunistique.

2.5. Analyses statistiques

À l'aide du logiciel Primer 6 ([Plymouth Routines on Multivariate Ecological Research](http://www.primersoftware.com))⁴ [16], nous avons effectué des analyses multivariées telles que l'arrangement NMDS (non-metric Multi-Dimensional Scaling)⁵, le Cluster⁶ et la procédure SIMPER (Similarity/Distance Percentages)⁷. Un arrangement MDS est une carte des échantillons, généralement à deux ou à trois dimensions, dans laquelle l'emplacement des échantillons représente leur simple localisation géographique qui reflète la similarité entre leurs communautés biologiques.

3. Résultats et discussion

3.1. Étude physico-chimique et bactériologique

Les résultats des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sont présentés dans la figure 2 ci-dessous.

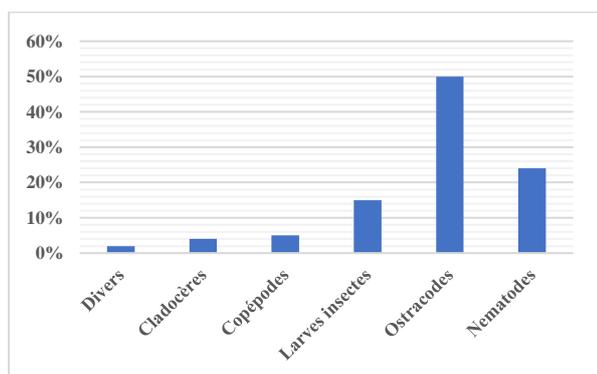


Figure 2 : Abondance des groupes méiofaunistiques récoltés dans la station prospectée de l'Oued Boujaarin (toutes saisons confondues 2006-2007).

La turbidité moyenne de l'Oued Boujaarin enregistrée est de l'ordre de 3,9 NTU. Elle est beaucoup plus faible que celle observée par Abidi *et al.* [17] au niveau de l'Oued Kasseb (400 NTU). Cette valeur faible s'explique par le substrat grossier et le couvert végétal dense de la station prospectée, susceptible d'atténuer la vitesse des vents et l'érosion lors des crues.

Pour la salinité, elle est généralement assez élevée durant les trois saisons oscillantes entre 1,2 et 1,4 psu, ce qui rend cette rivière relativement minéralisée malgré qu'elle fasse partie des affluents nord de la Medjerda. En fait, on s'attend à une salinité plus faible, proche de celle de l'Oued Kasseb (Salinité de l'ordre de 0,6 psu) [17]. Cet état est fort probablement causé par le chlorure puisque on a noté que les eaux de cette station sont très chargées en chlorures durant toutes les saisons, avec une teneur moyenne de 1008,39 mg.L⁻¹. Cette forte concentration est consécutive à l'enrichissement des sols traversés par ce cours d'eau en chlore d'origine industrielle (infiltré à travers les bassins de rejets de la sucrerie) ou agricole (provenant de l'utilisation des pesticides (insecticides, herbicides, fongicides).

La plus forte teneur en matière organique a été enregistrée pendant la saison automnale (38 mg.L⁻¹). En effet, durant l'automne, les conditions environnementales sont naturellement favorables à un enrichissement en matière organique (abondance des litières ; faible débit induisant également un allongement du temps de séjour dans le milieu ; température élevée). De plus, ce cours d'eau est soumis à une pollution industrielle due à une infiltration des eaux des bassins de rejets de la sucrerie de Ben Béchir.

Durant le printemps 2007, une chute de la teneur moyenne en la forme dissoute de la matière organique a été détectée (25 mg.L⁻¹). Une telle situation s'explique par la dilution des matières en suspension, consécutive aux précipitations, puis par leur sédimentation suite à la baisse de la turbidité et l'utilisation des résidus organiques minéralisés dans la production végétale à cette période [18].

Une forte demande biologique en oxygène dissous pendant l'automne a été notée (75 mg.L⁻¹), période

³ Le refus d'un tamis est la quantité de granulats retenus sur la grille du tamis

⁴ <http://www.primersoftware.com>

⁵ Une bonne explication de la méthode est donnée sur :

<https://towardsdatascience.com/multidimensional-scaling-d84c2a998f72>

⁶ Méthode utilisée pour organiser des données brutes en groupements homogènes selon une caractéristique commune.

⁷ Répartition des espèces entre deux groupes à l'aide des dissimilarités de Bray-Curtis

durant laquelle les précipitations sont faibles et la charge des eaux en matière organique est maximale. Pendant l'hiver, la DBO diminue considérablement (25 mg.L^{-1}) sous l'effet de la diminution progressive de la charge organique en suspension ou dissoute, l'enrichissement des eaux en oxygène dissous et la réduction du niveau thermique des eaux.

Paradoxalement, au niveau de la station prospectée de l'Oued Boujaarin, une bonne oxygénation saisonnière (de l'ordre de 8 mg.L^{-1}) s'est notée, malgré la pollution industrielle et agricole qui affecte le cours d'eau. Cette situation peut être expliquée par la forte densité des végétations immergée et bordante qui contribuent respectivement à l'enrichissement des eaux en oxygène dissous (photosynthèse) et à l'atténuation de la température locale (ombrage de la station).

La teneur des eaux en nitrates dans la station d'étude subit un accroissement saisonnier de la saison automnale (150 mg.L^{-1}) à la saison hivernale atteignant son maximum ($451,4 \text{ mg.L}^{-1}$). Puisque les sols sous-jacents de ce cours d'eau ne sont pas favorables à la culture suite à leur surcharge en sel sous l'effet des eaux de rejets, on ne s'attend pas que ces terres soient riches en engrais azotés. Fort probablement, les eaux de rejets de la sucrerie qui sont riches en nitrates [3] constituent la source initiale de cette pollution.

En passant à la saison printanière, une chute brutale des teneurs en nitrates a été notée ($\leq 20 \text{ mg.L}^{-1}$ au printemps 2007). Cette situation est fort probablement consécutive, d'une part, à l'assimilation des nitrates par les végétaux, et d'autre part, à la transformation d'une grande quantité de nitrates en nitrites par les bactéries dénitrifiantes [19].

Les coliformes et les streptocoques fécaux sont de bons indicateurs de la contamination fécale, et leur présence s'associe, dans la majorité des cas, à celle des germes pathogènes. La teneur des eaux en coliformes et en streptocoques dépend, en plus de la source de contamination (ponctuelle ou diffuse), des conditions climatiques et physico-chimiques [12].

Par comparaison à l'Oued Kasseb [16], l'Oued Boujaarin a montré une quantité relativement très faible et stable des coliformes durant toute la période d'étude, avec respectivement $80\,000 \text{ CFU.100 mL}^{-1}$ pour le premier cours d'eau, contre seulement

$1200 \text{ CFU.100 mL}^{-1}$ pour le second. Ceci peut être relié à l'éloignement de la station prospectée des sources ponctuelles de contamination (les STEPs)⁸, à la salinité relativement élevée et à la présence de chlore en quantité suffisante induisant une préalable désinfection du milieu. En effet, Bordalo *et al.* [20] ont montré que les fortes salinités font diminuer le taux des coliformes fécaux dans les eaux. De plus, Mayo [21] a constaté que l'augmentation du pH affecte l'abondance des coliformes. Ces deux dernières constatations ont été confirmées par Chedad et Assobhei [22].

Toutefois, la présence des streptocoques fécaux à des teneurs relativement importantes dans la station d'étude, notamment pendant la saison printanière ($2500 \text{ NPP.100 mL}^{-1}$) revient au caractère de résistance notoire de ces bactéries aux agents désinfectants qui peut être supérieure à celle des autres organismes indicateurs [23-25].

3.2. Étude méiofaunistique

Divers groupes méiofaunistiques ont été récoltés dans le sédiment de l'Oued Boujaarin au cours des trois saisons : automne, hiver et printemps. Le taxon prédominant, tous prélèvements confondus, est celui des ostracodes : abondance relative (AR = 50 %), suivi par celui des nématodes (24 %). Les copépodes et les cladocères sont nettement en retrait occupant la troisième position (AR = 5 %). D'autres groupes méiofaunistiques tels que les turbellariés, les ciliés, les polychètes, les oligochètes, les tardigrades et les formes indéterminées sont groupés sous la rubrique « divers » dont l'abondance relative est de 2 % (figure 3).

Il est intéressant de signaler que, malgré des effectifs relativement faibles ($N < 420 \text{ ind}$), les indices de diversité de Shannon et d'équitabilité sont appréciables ($h' > 0,9$ et $J' > 0,5$). Le milieu d'étude qui se caractérise par une eau relativement salée et assez fortement minéralisée, chargée en matière organique (39 mg.L^{-1}) et une bonne aération du sédiment, avec un substrat grossier autorisant une meilleure circulation des eaux au niveau des interstices) est favorable au maintien et à la prolifération des différents maillons du réseau trophique méio-benthique, en accord avec les observations de Marmonier [26].

⁸ Station d'Épuration des eaux usées

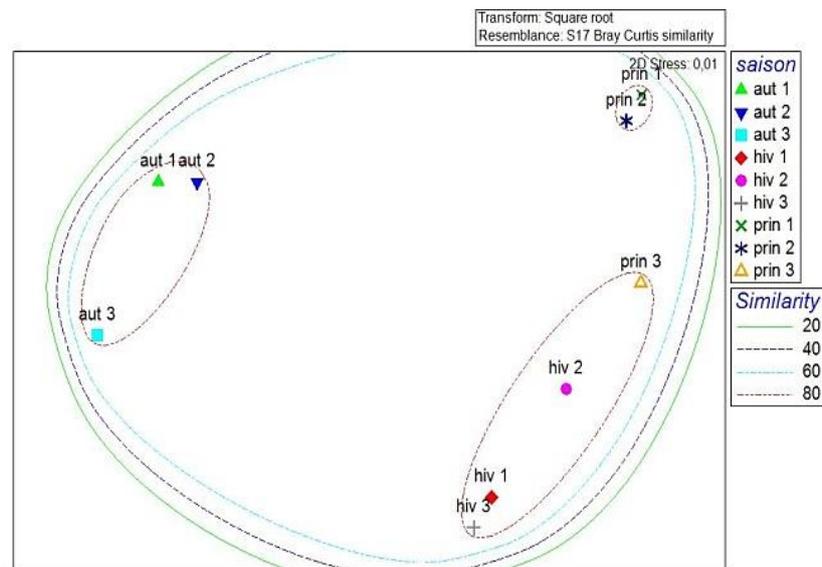


Figure 3 : Arrangement des saisons d'échantillonnage selon la méthode MDS réalisée en considérant les valeurs transformées (racine carrée : *square root*) des abondances de chaque groupe méiofaunistique calculées pour les saisons automnale (aut), hivernale (hiv) et printanière (prin).

Selon la méthode MDS et en tenant compte des effectifs globaux des taxons méiofaunistiques, le classement des saisons d'étude permet de distinguer, dans la station d'échantillonnage prospectée, trois types de peuplements (figure 4) selon une similarité de 80 % :

- Le premier peuplement correspond à la communauté méiofaunistique de la saison automnale ;

- Le deuxième peuplement comprend la communauté méiofaunistique de la saison hivernale ;
- Le troisième peuplement inclut la communauté méiofaunistique de la saison printanière.

Le test statistique de Cluster confirme le regroupement méiofaunistique sus indiqué (figure 4).

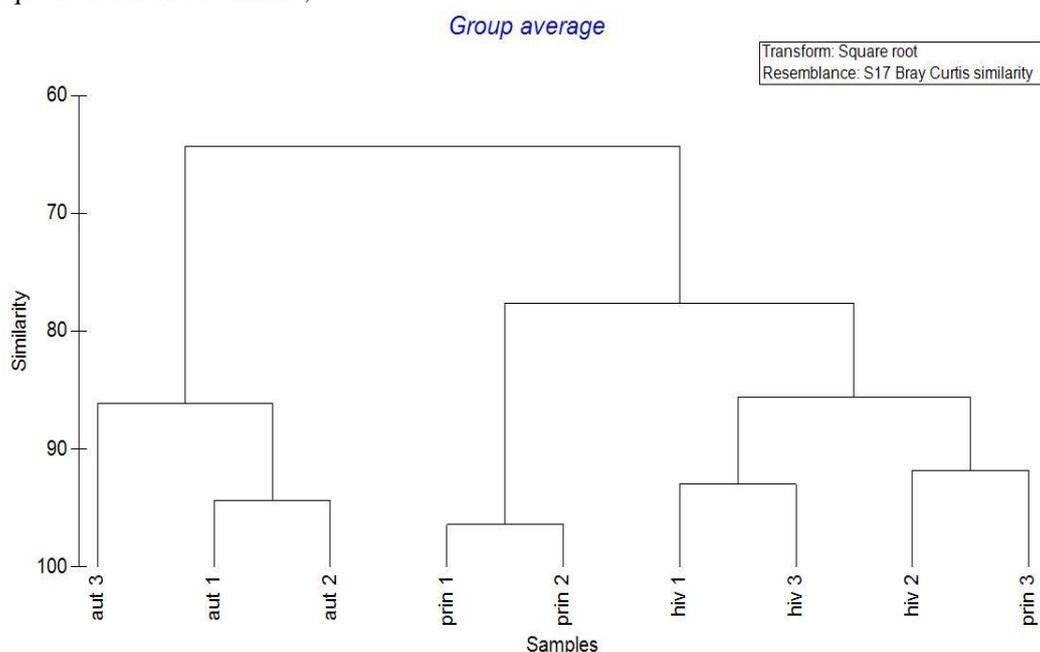


Figure 4 : Regroupement des saisons sur la base de la distance euclidienne pour l'abondance des groupes méiofaunistiques récoltés.

L'absence de chevauchement entre les peuplements méiofaunistiques signale que chaque saison fournit au cours d'eau étudié des caractères physico-chimiques spécifiques qui, à leur tour, influent sur la répartition quantitative et qualitative de la méiofaune.

Le test SIMPER (tableau 1) permet de distinguer les groupes-clés de la répartition observée en MDS et Cluster. Entre l'automne et les deux autres saisons, c'est la quantité des larves d'insectes, des nématodes et des copépodes récoltés qui explique la différence inter saisons observée ; alors qu'entre le printemps et l'hiver, ce sont plutôt les « divers », les ostracodes et les cladocères qui sont à l'origine de la différence entre les deux saisons.

Tableau 1
Dissimilarité moyenne entre les différentes saisons d'échantillonnage et contribution de chaque groupe trophique à la dissimilarité de Bray-Curtis moyenne.

	% de dissimilarité	Groupes contributeurs	% de contribution
Automne-Hiver	32,74	Larves d'insectes Copépodes Nématodes	30 25 13
Automne-Printemps	93,25	Larves d'insectes Copépodes Nématodes	31 28 17
Printemps-Hiver	28	Divers Ostracodes Cladocères	51 18 16

4. Conclusion

Les eaux de rejets de la sucrerie n'ont pas menacé uniquement la qualité physicochimique et bactériologique de l'Oued Boujaarin mais les terres agricoles sous-jacents et les animaux. En effet des témoignages des agriculteurs accusent la sucrerie d'être la cause de l'impossibilité de récolte dans ces terrains ayant une qualité médiocre sous l'effet de la pollution par la sucrerie. De plus, les habitants ont signalé, à une période où l'activité de l'usine est intense, des mortalités chez les vaches après avoir bu de l'eau contaminée de ce cours d'eau. Il est donc urgent pour les autorités compétentes, notamment au niveau des ministères impliqués (Santé, Environnement, Agriculture...) de procéder à des opérations d'aménagement et de restauration de l'écosystème de l'Oued Boujaarin avant que la perturbation n'avance davantage et n'atteigne un point de non-retour.

Le fait que la méiofaune de l'Oued Boujaarin demeure diversifiée et équilibrée malgré les rejets de la

sucrerie ne signifie pas que le benthos n'est pas menacé. Des analyses physiologiques et morphologiques plus poussées sur la méiofaune s'avèrent donc nécessaires afin de mieux évaluer l'effet de cette pollution.

Remerciements

Nous remercions l'administration de l'agriculture de la préfecture de Jendouba pour sa participation dans les sorties ainsi que le laboratoire d'hygiène de l'hôpital régional de Jendouba pour les analyses bactériologiques.

Références

- [1] Massimo B., 2001, « *La gestione territoriale dei reflui agroalimentari. Il bisogno informativo attraverso la Rough Set Analysis* ». Thèse de Doctorat d'État. Université de Padoue, Italie. Numéro OCLC : 1045974074
- [2] Équiterre., 2007, « *Choisir l'avenir : se choisir* », Mémoire présenté à la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois, p. 20 et 31. Disponible en ligne. https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/1867911?ocref=T6qrX0CQH_3z81UPM1PXew (accédé le 15/02/2021)
- [3] Errogui Y., Nahli A., Chlaida M., Contribution à la caractérisation physico-chimique des effluents de la Cosumar (Casablanca, Maroc) en vue de leur traitement approprié, *European Scientific Journal*, 14 (9) (2018) : 2012-225. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n9p212>
- [4] Bourial H., 2018, La sucrerie de Ben Béchir toujours dans l'incertitude, Disponible en ligne. <https://www.webdo.tn> (accédé le 09/02/2021)
- [5] Bento L., Machado S., Hervé D., Traitement intégré des éluats de régénération des unités de décoloration en raffinerie de sucre, *Industrie Alimentaire et Agricole*, 106 (7-8) (1989) : 573-578. ISSN 0019-9311.
- [6] Abidi S., Bejaoui M., Jemli M., Boumaiza M., Water quality of the Oued Medjerda, Tunisia and Algeria, and three of its northern tributaries, *Hydrological Sciences Journal*, 60 (9) (2015). [Version HTML]. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.909597>
- [7] AFNOR (Agence Française de Normalisation), 1990, *Eaux - méthodes d'essais. Recueil de normes françaises*, 4^e édition. Paris, la Défense, France, 735 pages
- [8] Rodier J., (1996). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats*. Paris, Dunod, 1384 p.
- [9] Obrist, D., 2005. *Demande biologique en oxygène (DBO)*. École d'ingénieurs de Genève, 3 p.
- [10] APHA (American Public Health Association), 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th edition. American Public Health Association, Washington DC, USA.
- [11] Pommepuy M., Guillaud J.F., Dupray E., Derrien A., LE Guyader F. et Cormier M., Enteric bacteria survival factors, *Water Science and Technology*, 25 (12) (1992): 93-103. <https://doi.org/10.2166/wst.1992.0341>
- [12] George I et Servais P., 2002. *Source et dynamique des coliformes dans le bassin de la Seine. Écologie des systèmes aquatiques*, Université libre de Bruxelles, 46 p. Disponible en ligne. http://piren16.metis.upmc.fr/?q=webfm_send/454 (accédé le 27/02/2021)

- [13] Marchal N., Bourdon J. L., Richard Cl., 1991. Les milieux de culture pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries. Paris, Doin, pp. 200, 206, 239.
- [14] Gray J. S., Sample size and sampling frequency in relation to the quantitative sampling of sand meifauna. In Proc. 1st Int. Conf. on Meiofauna, edited by N. C. Julings, Smithsonian. Contr. Zool., 76 (1971): 191-197. https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/5298/SCtZ-0076-Lo_res.pdf?sequence=2&isAllowed=y (accédé le 02/02/2021)
- [15] Vitiello P. et Dinét A., Définition et échantillonnage du méiobenthos. Rapp. P. V. Comm. Int. Explr. Scient. Mer Méd., 25/26(4) (1979) : 279-283. [Version imprimé]. http://ciesm.org/online/archives/abstracts/pdf/26/CIESM_Congress_1978_Antalya_article_0040.pdf (accédé le 05/07/2021)
- [16] Clarke K. R. et Gorley R. N., 2005. Primer: Getting started with v 6. PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK, 10 p.
- [17] Abidi S., Bejaoui M., Boumaiza M., Influence de la pollution sur la qualité des eaux et la méiofaune de l'Oued Kasseb (Tunisie septentrionale), Bull. Soc. Zool. Fr., 136 (1-4) (2011) : 145-157.
- [18] Dejoux C., Éluard J. M., Forge P. et Jestin J. M., Mise en évidence de la microdistribution des Invertébrés dans les cours d'eau tropicaux. Incidence méthodologique pour la recherche d'une pollution à long terme par pesticides, Rev. Hydro. Biol. Trop., 14(3) (1981) : 253-262. Disponible en ligne. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/hydrob-trop/01461.pdf (accédé le 02/03/2021)
- [19] Mariotti A., Mariotti F., Amarger N., Pizelle G., Ngambi J. M., Champigny M. L. et Moysse A., Fractionnements isotopiques de l'azote lors des processus d'absorption des nitrates et de fixation de l'azote atmosphérique par les plantes, Physiologie Végétale, 18 (1) (1980) : 163-181.
- [20] Bordalo A. A., Onrassami R. et Dechsakulwatana C., Survival of fecal indicator bacteria in tropical estuarine waters (Bangpak on River, Thailand), J. Appl. Microbiol., 93 (5) (2002): 864-871. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2002.01760.x>
- [21] Mayo A. W., Modeling coliform mortality in waste stabilization ponds, J. Environ. Engineer, 121 (2) (1995) :140-152. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1995\)121:2\(140\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1995)121:2(140))
- [22] Chedad K. et Assobhei O., Étude de la survie des bactéries de contamination fécale (coliformes fécaux) dans les eaux de la zone ostréicole de la lagune de Oualidia (Maroc), Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, 29 (2007) : 71-79. Disponible en ligne. [http://www.israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2015/02/09-%20Chedad%20et%20al.%20\(71-79\).pdf](http://www.israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2015/02/09-%20Chedad%20et%20al.%20(71-79).pdf) (accédé le 01/03/2021)
- [23] Clausen A. M., Green B. L. et Litsky W., 1977. Fecal streptococci: indicators of pollution. Dans: Bacterial Indicators/Health hazards associated with water. Hoadley A. et Dutka B., édit. American Society for Testing and Materials, ASTM STP: 247-264. <https://doi.org/10.1520/STP34833S>
- [24] Haslay C. et Leclerc h., 1993, Microbiologie des eaux d'alimentation. LAVOISIER Tec & Doc, Paris, 495 p.
- [25] OMS., 2000. -Directives de qualité pour l'eau de boisson : Volume 2 - critères d'hygiène et documentation à l'appui. Organisation mondiale de la santé. 2^e édition, 1050p.
- [26] Marmonier P., 1998. « *Le milieu interstitiel des cours d'eau : des échanges d'eau aux échanges de nutriments et d'organismes* ». Habilitation à diriger des Recherches, Université de Savoie, France. Vol I 48p. + Vol. II 134p.
-

Instructions to authors

(Preview of the journal's charter)

Article 8: Articles submitted to the journal must be in English or French.

Article 9: Submission of articles to the journal is done exclusively by electronic way at the address:

<https://www.asjp.cerist.dz/en/submission/47> including in particular: The title of the article; The surname, first name and affiliation of the principal author; The surnames, first names and affiliations of any co-authors; The field and specialty of the article; If applicable, a proposal of two experts of professorial rank who can evaluate the article. However, the Editorial Board will only request these experts in case of absolute necessity.

It is understood at the submission of a paper that it has not been previously published and that it is not under review or publication in another journal.

Article 10: Upon receipt of the article, an acknowledgement of receipt is sent electronically by the Editor-in-Chief to the author and eventual co-authors.

Article 11: A member of the Editorial Board is designated to give a first reading of the submitted article to ensure that:

- Verify its conformity with the themes of the journal.
- Define its field and specialty in order to propose the most appropriate experts among the Reading Committee
- Check if the article can be sent to the experts as received.
 - At the end of this first reading, the Editorial Board can possibly:
 - Ask the authors to reformulate their article
 - Send a motivated rejection notification to the authors

Article 12: After the first reading, the article is submitted to a double evaluation. It is sent, anonymously, to at least two reviewers related to the field and specialty of the article.

Article 13: The editorial board must ensure that the nominated experts have confirmed that the article falls within their specialty and that they have agreed to review it within the given time frame (one month). If this is not the case, the editorial board will appoint other experts to ensure that the principle of double review is always respected.

Article 15: After evaluation, the expert sends to the editor-in-chief of the journal an evaluation sheet via ASJP indicating

- His/her assessments of the different aspects of the evaluation,
- Its remarks, criticisms and observations on the evaluated article.
- Its recommendation on the decision to be taken about the article. This recommendation can have one of the following four outcomes:
 - Article accepted as is;
 - Article accepted with minor/major modification;
 - Article rejected.

Article 16: Evaluation sheets recommending an acceptance as is or a rejection, not motivated by the expert, are considered void and are not taken into account.

Article 17: After receiving the evaluation forms, the Editorial Board will take one of the following decisions:

- If both opinions of the experts correspond to an "acceptance", the article is accepted for possible publication in the journal.
- If both expert opinions are "rejections", the article is rejected.
- If the two opinions are contradictory -an acceptance and a rejection- the article must be submitted to a third evaluation, the outcome of which will define the future of the article.

Article 18: In all cases, the results of the evaluation are sent to the authors.

Article 19: If the article is accepted with minor or major modifications, authors are required to return a modified version of their article within one month of the date of notification. They are also required to inform the "Answers to Experts" field on the ASJP platform clearly outlining the changes made to the corrected version of the article and answering other questions from experts.

Article 20: If the article is accepted with minor or major modifications, the corrected version of the article must be submitted for a second evaluation by the same experts who carried out the first evaluation.

Article 21: The experts in charge of the second evaluation of an article must consign the result of their expertise on the evaluation form provided for this purpose by the ASJP. In particular, they must issue a recommendation on the follow-up to be given to the article as defined in article 17.

Article 22: After the second reading, if the article receives two approvals for publication by the experts, the Editorial Board may include it in a forthcoming issue to be published. In the case of any reservations noted by the experts, the article must be sent to the authors for correction and for a third reading, under the same conditions as those specified in article 19.

Article 23: If after the third reading there are still major reservations about an article, it is automatically rejected.

Article 24: The Editorial Board may be satisfied with a single evaluation recommending rejection, if it is largely motivated by the expert, to reject an article.

Article 25: Articles submitted for publication in an issue have to be proofread by the Editorial Board for spelling and other errors.

Article 26: Before the online publication of an article, the principal author is invited to sign a copyright transfer declaration (see model of the journal) to the journal.

Article 27: Before final publication of an article, the editorial board is required to send an electronic proof of the article to the authors for comment.

Article 28: All members of the Reading Committee and the Editorial Board are subject to the obligation of confidentiality of 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.

Article 29: During the whole evaluation process, the Editorial Board guarantees the anonymity of the experts and the authors. Articles are submitted to the experts anonymously. The evaluation forms sent to the authors are also anonymous.

Article 30: Plagiarism" means the appropriation of publications, results, sentences or passages already published by another person, without explicit recognition of authorship.

Article 31: Self-plagiarism" means that an author publishes an article containing results, passages or paragraphs already published by himself, without indicating the source.

Article 32: In the event of proven "plagiarism" or "self-plagiarism" in an article, the Editorial Board makes one of two decisions:

- If the article is in the process of being evaluated, the responsible authors must be notified of the rejection with supporting reasons.
- If the article has already been published in the journal, a special mention "Plagiarism" must be made on the electronic version of the article, on the journal's website.

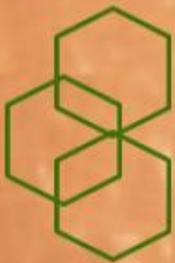
Article 40: Any change in the list of authors of an article must be submitted to the Editorial Board of the Journal for approval.

Article 41: Articles submitted to the Journal in proceedings older than two years at the time of submission are not accepted.

Article 43: The definitively accepted articles, abandoned by their authors, are published in the form of an abstract on the journal's website.

Nature & Technology Journal

Academic Journal with International Dissemination



Volume 14

Issue 01 – January 2022

