



UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



N° d'enregistrement :

...../...../...../.....

THESE
En vue de l'obtention du diplôme de
DOCTORAT ès sciences
En Sciences agronomiques

**Contribution à l'étude de l'impact des amendements
organiques sur la lombriculture à Ouargla**

Par :
KEMASSI Samia

Soutenue publiquement le : 16 / 06 / 2021

Devant le jury :

Mr. IDDER Mohamed Azzedine	Professeur	U.K.M.Ouargla	Président
Mr. DADDI BOUHOUN Mustapha	Professeur	U.K.M.Ouargla	Directeur de thèse
M ^{me} . IDDER-IGHILI Hakima	MCA	U.K.M.Ouargla	Examineur
Mr. BENBRAHIM Fouzi	MCA	E.N.S. Ouargla	Examineur
Mr. BENKHELIFA Mohammed	Professeur	U. M.A. B. Mostaganem	Examineur
Mr. BEN SLAMA Mohammed	Professeur	U. B. M. Annaba	Examineur

Année universitaire : 2020 / 2021

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents qui m'ont toujours encouragé

A la mémoire de ma grand-mère fatma

A mon frère Belkhir, sa femme et ses enfants

*A ma nièce Meriem, A toutes mes sœurs fatouma, Zoulikha
et Khadija*

A toutes mes tantes et mes oncles

A mon mari Abderrahmane

*A toute la famille de **KEMASSI, SOMAA et HAMDI***

*Enfin, je suis reconnaissante à tous les membres de ma famille, et à tous
mes amis qui m'ont soutenue tout au long de mes études.*



AVANT-PROPOS

*Avant de conclure ce modeste travail, il m'est agréable de remercier, vivement mon promoteur Monsieur **DADDI BOUHOUN Mustapha** qui a fourni tous les efforts pour que je fasse un bon travail. Je lui témoigne ma profonde gratitude pour son encadrement, ses encouragements, ses conseils, ses orientations et surtout sa patience.*

Mes remerciements vont aussi à tous les membres du jury Mr. IDDER M A, M^{me}. IDDER-IGHILIH, Mr. BEN BRAHIM F, Mr. BEN KHELIFA M, Mr. BEN SLAMA M. Ainsi qu'au chef des laboratoires pédagogiques Mr. BAGGARI. A ; chef des laboratoires pédagogiques de la faculté de médecine M^{elle} KHEMISSE A. Aussi aux chefs de laboratoires de recherche M^{me}. BABA HANI S, Mr. IDDER M A. sans oublier le doyen de faculté de médecine Mr. CHAHMA.A

A tous mes profs de l'I.T.A.S spécialement Mr. BELAROUCI M A H, Mr. BOUMADDA A B, Mr. IDDER T, M^{elle} CHAOUCH S, Mr. DJILI B, M^{me} BOUKHALFA N. Mr. ZENKHRI S pour leurs encouragements au cours de mon travail et Je n'oublie pas toutes les personnes du laboratoire de l'A.N.R.H, de l'A.D.E, de l'I.T.A.S, de CRSTRA Touggourt et de LECBOUBLEL, ainsi que les enseignants : M^{me} HAMRANI F , Mr MAHMA H et M^{me} BOUHANA A de l'INSFP Ouargla et M^{me} HAJAJ S et M^{me} KADRI H. Mes remerciements distinguées surtout à mes collègues M^{me} REZAGUI D, M^{lle} HAJAJ A, M^{lle} LIMAM A, M^{me} BOUROGAA I .et Mr SIBOUKEUR A.

Je saisis cette occasion pour exprimer mon profond respect et ma

reconnaissance à l'ensemble des enseignants de Département des Sciences Agronomiques, de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, de l'Université KASDI Merbah Ouargla, pour avoir participé à ma formation.

المساهمة في دراسة أثر التعديلات العضوية على زراعة الديدان في ورقلة

في المناطق الصحراوية، تعتبر الظروف البيئية والمناخية عاملاً يحد من انتشار وتوسع حيوانات التربة. يمكن أن تساعد ديدان الأرض، الغائبة في الصحراء، في تثمين الموارد الزراعية البيئية من خلال استخدام ديدان الأرض. تهدف دراستنا في منطقة ورقلة إلى دراسة تأثير التعديلات العضوية على ديدان الأرض لتحديد أفضل الظروف لتربية ديدان الأرض وبالتالي على هذا الأساس تقديم أنظمة موثوقة لتربية ديدان الأرض.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها، أن ديدان الأرض موجودة في أول 20 سم من سطح التربة في البساتين محل الدراسة. يختلف المستوى العام لديدان الأرض في بساتين النخيل في الشتاء. عدد الديدان الصغيرة أعلى من الديدان البالغة والشبه بالغة.

تظهر دراسة ظروف تربية الديدان أن أنواع *Aporrectodea longa* لا يمكنها التكيف مع بيئات النمو. وسط النمو الذي يعتمد على بقايا النخيل وكمية صغيرة من السماد أعطى أفضل النتائج مقارنة بوسائط النمو الأخرى. ولهذا أعادنا اختبار *Lumbricus terrestris* الذي يبدو أن سلوكه يتكيف مع الظروف المناخية والتربة في منطقة ورقلة. أظهرت الاختبارات أن طريقة الأخص أعطت أفضل النتائج؛ من حيث عدد ووزن ديدان الأرض مع ظروف درجة حموضة و ملوحة مناسبة لحياة وتكاثر ديدان الأرض. سجلت كثافة 3 ديدان لكل اصيص أفضل نتيجة من حيث معدل المواليد بنسبة 44.44%. وإنتاج الشرائق والكتلة الحيوية وتحلل المواد العضوية وتمعدن النيتروجين. في نهاية النتائج، نقترح لورقلة الأنظمة بشكل ساقية و حاوية أسطوانية. تقدير الكتلة الحيوية المنتجة من هذه الأخيرة يكشف عن مردود من ديدان الأرض يبلغ حوالي 6408 كجم من الديدان / هكتار وعائد مالي كبير. ونظرا لتداعياته، من الضروري تعزيز تربية الديدان في ورقلة للسماح بتطوير الزراعة العضوية، مع احترام البيئة الصحراوية و الصحة البشرية.

الكلمات المفتاحية: ديدان الأرض، التعديلات العضوية، تربية الديدان، صحراء، ورقلة.

Résumé

Contribution à l'étude de l'impact des amendements organiques sur la lombriculture à Ouargla

Dans les zones sahariennes, les conditions édapho-climatiques sont considérées comme un facteur limitant la distribution et la prolifération de la pédo-faune. La lombriculture, absente au Sahara, peut contribuer à valoriser les ressources agro-environnementales par l'utilisation des lombrics. Notre étude dans la région de Ouargla, vise à étudier l'impact des amendements organiques sur lombriculture pour définir les meilleures conditions d'élevage des lombrics et de proposer ainsi sur cette base des dispositifs fiables de lombriculture.

Les résultats obtenus montrent que, les lombrics sont présents dans les 20 premiers centimètres de la surface des sols dans les palmeraies d'étude. Le niveau global des lombrics dans les palmeraies est variable en période hivernale. Le nombre de vers juvéniles est plus élevé par rapport aux vers adultes et sub-adultes. L'étude des conditions de lombriculture montre que l'espèce *Aporrectodea longa* ne peut pas s'adapter avec les milieux de culture. Le milieu de culture à base de déchet de palmes et une faible quantité du fumier donne les meilleurs résultats par rapport aux autres milieux de culture. Cela nous a ramené à choisir *Lumbricus terrestris* dont le comportement semble s'adapter aux conditions pédo-climatique de la région de Ouargla.

Les essais montrent que la méthode des pots donne les meilleurs résultats par rapport aux autres méthodes en nombre et poids des lombrics avec des conditions de pH et de salinité convenables pour la vie et la reproduction des lombrics. La densité de 3 vers par pot enregistre le meilleur résultat de point de vue natalité avec 44,44%, production des cocons, biomasse, décomposition de la matière organique et minéralisation azotée. A l'issu des résultats, nous proposons pour Ouargla les dispositifs en planches et en bacs cylindriques. L'estimation de biomasse produite de ces derniers révèle un rendement en lombric d'environ 6408 kg de vers /ha et une rente financière importante. En vue de ses retombées, il est primordial de promouvoir la lombriculture à Ouargla pour permettre le développement de l'agriculture biologique, respectueuse de l'environnement saharien et la santé humaine.

Mots clés: Lombrics, amendements organiques, lombriculture, Sahara, Ouargla.

Summary

Contribution to the study of the impact of organic amendments on vermiculture in Ouargla

In the Saharan zones, edapho-climatic conditions are considered as a limiting factor for the distribution and proliferation of soil fauna. Vermiculture, absent in the Sahara, can contribute to the enhancement of agro-environmental resources through the use of earthworms. Our study in the region of Ouargla, aims to study the impact of organic amendments on vermiculture in order to define the best conditions for rearing vermicomposting and thus propose reliable vermiculture systems on this basis.

The results show that earthworms are present in the first 20 cm of the soil surface in the grove of study. The overall level of earthworms in the palm groves is variable during the winter period. The number of juvenile worms is higher than adult and sub-adult worms. The study of vermiculture conditions shows that the species *Aporrectodea longa* cannot adapt to the breeding ground. The breeding ground which is based on palm wastes and a small quantity of manure provide the best results compared with the other breeding grounds. This led us to choose *Lumbricus terrestris* whose behavior seems to adapt to the pedo-climatic conditions of the region of Ouargla.

The tests show that the method of pots, gives the best results in number and weight of earthworms with suitable conditions of pH and salinity. The density of 3 worms per pot registers the best result from the point of view of natality (with 44,44%), production of cocoons, biomass, decomposition of the organic matter and nitrogenous mineralization. At the end of the study we propose for Ouargla the devices board and cylindrical tank. The estimate of biomass produced in the latter reveals a yield in earthworms about of 6408 kg of worms /ha and an important financial return. In view of its benefits, it is essential to promote vermiculture in Ouargla to allow the development of organic agriculture, respectful of the Saharan environment and human health.

Keywords: Earthworms, organic amendments, vermiculture, Sahara, Ouargla.

Introduction générale

Introduction générale

La lombriculture est la technologie de production de fertilisants biologiques riches et de protéines animales à l'aide de vers de terre. Elle s'est établie commercialement dans de nombreux pays développés (SHAMIM JAIRAJPURI, 1993). Cette technique favorise la gestion de déchets organiques diversifiés, la production de vers de terre et de lombricompost (OUAHRANI et RACHED-MOSBAH, 2001 ; FRANCIS et *al*, 2003 ; SINHA et *al.*, 2010). Les vers sont utiles dans divers secteurs : pour la pêche et l'alimentation d'oiseaux en production biologique (caille, poules...) ; ils constituent une source de protéines de qualité à bas coût, ainsi que dans la dépollution ou la reconstitution de sols (MULCIBA et *al.*, 2017). Au Chili, les vers de terre sont utilisés à lombrifiltre (NAIGEON, 2005). SUDHIR et *al.* (2010), signalent que la décharge de vermi-filtrée finale était propre et sa bio-sécurité s'évalue en l'utilisant à des fins secondaires comme l'irrigation et la culture de spiruline. En zootechnie, les vers de terre peuvent être utilisés comme aliment de volailles (FRAB et APABA, 2012 ; BYAMBAS, 2020).

L'utilisation de la lombriculture en agriculture présente plusieurs avantages économiques et environnementaux par rapport à la production agricole intensive à base chimique. Le plus grand avantage d'une grande importance sociale est que les aliments produits sont entièrement biologiques, « sûrs et sans produits chimiques » et « nutritifs ». L'utilisation du lombricompost améliore la taille, la couleur, l'odeur, le goût et la qualité de conservation (valeur de stockage) des fleurs, des fruits, des légumes etc. En plus d'augmenter le rendement, il produit des aliments biologiques et restaure également la fertilité naturelle du sol. Cela réduit considérablement le besoin en eau pour l'irrigation et l'utilisation de pesticides chimiques, car les plantes deviennent plus résistantes aux ravageurs et aux maladies (SINHA et *al.*, 2010).

En Algérie, parmi les études menées sur la lombriculture et le lombricompost, celle de OUAHRANI et RACHED-MOSBAH (2001) sur la valorisation des déchets ménagers par lombricompostage et celle de BOUGHABA (2012) sur la gestion et la valorisation des fientes par le lombricompostage dans la wilaya de Constantine. Au Sahara algérien, il y a plusieurs travaux réalisés sur les vers de terre. Parmi eux, on note celui de KEMASSI (2015), sur l'impact des lombrics et leur pouvoir de dégradation de différents types des matières organiques (fumiers de volaille, de bovin, d'ovin et de caprin, les déchets de palme et

d'olivier) à Ouargla. AZIZI (2017) a étudié la différence entre le lombricompost et le compost à base de déchets végétaux. Également, BENARABI (2018) a étudié la différence entre le lombricompost et d'autres produits organiques. Toutefois, les travaux de recherche réalisés sur lombriculture au Sahara et notamment à Ouargla restent rares.

Dans les zones sahariennes, les conditions édapho-climatiques sont considérées comme un facteur limitant de la distribution et de la prolifération de la pédo-faune. Les lombrics jouent un rôle essentiel dans la transformation de la matière organique en produit fertilisant sain. La mise en œuvre de la lombriculture permet de combiner plusieurs avantages agronomiques, à savoir, la production des lombrics, la gestion des déchets organiques par lombricompost ainsi que les substances produites par les lombrics dans la phytoprotection et la stimulation de la germination des graines. Lombriculture, absente au Sahara, peut contribuer à valoriser les ressources agro-environnementales par l'utilisation des lombrics.

C'est dans ce contexte que s'insère notre travail de recherche. Il est axé essentiellement sur la production de biomasse de lombrics destinée au lombricompostage, à la nourriture des poissons et de volailles ainsi que, à la valorisation des vers de terre en agriculture biologique et ce qui contribue finalement à la préservation de l'environnement saharien. Notre approche méthodologique se propose d'étudier par des essais expérimentaux l'impact des amendements organiques sur la lombriculture pour définir les meilleures conditions d'élevage des lombrics dans la région saharienne de Ouargla et de proposer aussi sur cette base des dispositifs fiables de lombriculture.

Notre thèse est structurée en trois parties, à savoir :

➤ **la première partie** : est une synthèse bibliographique sur le cadre d'étude, la problématique, une présentation de la technique et de l'importance de lombriculture.

➤ **la deuxième partie** : comprend notre approche méthodologique de recherche. Elle présente les sites d'échantillonnage et les méthodes d'études adoptées.

➤ **la troisième partie** : traite les résultats et leurs discussions qui portent sur la caractérisation hydro-édaphique du milieu de vie des lombrics, les types des amendements organiques et les méthodes adéquates de lombriculture à adopter dans la région saharienne de Ouargla.

Première partie : Cadre d'étude et Problématique

Chapitre I. Cadre d'étude et problématique

1. Introduction

La présentation du cadre d'étude et le développement de la problématique de lombriculture nous permettent de voir si l'environnement naturel de la région de Ouargla est approprié au développement des lombrics, et quelles sont les contraintes biotique et abiotiques existantes.

Egalement, de réunir toutes les informations disponibles sur les travaux de recherche qui traitent des lombrics et de lombriculture au Sahara et dans la région de Ouargla, afin de positionner l'importance de la problématique développée dans notre travail d'étude.

2. Cadre d'étude

2.1. Localisation

La région de Ouargla est située au Sud-Est du pays dans le bas Sahara dans les limites de latitude 28°45' et 33°55' et de longitude 3° et 9° 35' couvrant un territoire de 163 230 km² (SALHI, 2017). ROUVILLOIS-BRIGOL (1975) montre que, Ouargla est un complexe de palmeraies et de ksour, qui sur 60 km, occupe le lit, étroit au Sud, dilaté jusqu'à 18 km au Nord, de l'Oued Mya, au Sahara algérien. Elle est distante de 850 Km de la capitale Alger. Cette région est limitée géo morphologiquement au Sud par le grand reg oriental, à l'Ouest par la vallée du M'Zab et au Nord par la vallée de l'Oued Righ (Fig.1).

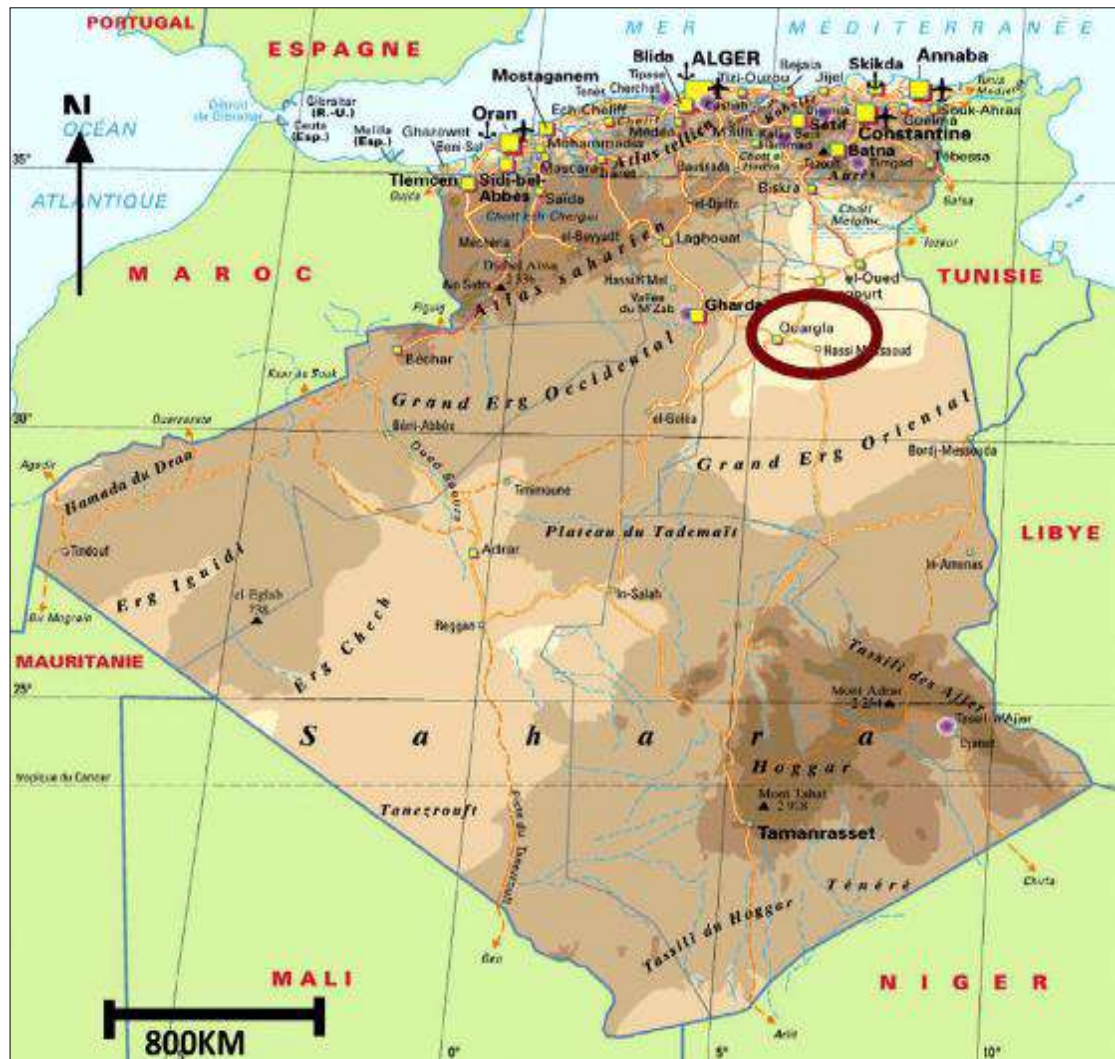


Figure 1. Localisation de la région d'étude de Ouargla (KOULL et HALILAT, 2016).

2.2. Conditions climatiques

Les données climatiques de la région d'Ouargla pour 11 années (2008-2018) sont obtenues de l'office national de la météorologie de Ouargla (ONM, 2020). Ces données climatiques (Tabl. 1) nous ont permis d'étudier la variation du paramètre climatique, de classer le climat à Ouargla et de mettre en relation ces données avec l'exigence pédoclimatique des lombrics.

Tableau 1. Données climatiques moyennes de la région d'Ouargla entre 2008 et 2018 (ONM, 2020).

	Température min (°C)	Température max (°C)	Température moy (°C)	Vent (m/s)	Précipitation (mm)	Evaporation (mm)	Insolation (Heure)
Janvier	5,2	19,4	12,3	8,1	8,5	95,8	248,9
Février	6,9	21,2	14,0	9,0	4,1	122,1	238,5
Mars	10,7	25,7	18,2	9,7	5,2	183,3	266,5
Avril	15,4	30,9	23,1	10,2	1,3	236,8	286,7
Mai	20,1	35,4	27,7	10,6	2,3	304,5	309,6
Juin	24,7	40,3	32,5	10,0	0,7	359,6	235,0
Juillet	28,2	44,1	36,2	8,9	0,3	445,4	316,6
Août	27,3	42,5	34,9	8,9	0,5	382,1	338,4
Septembre	23,6	38,2	30,9	9,2	6,3	270,9	265,8
Octobre	17,3	31,7	24,5	8,0	6,9	204,6	265,2
Novembre	10,4	24,4	17,4	7,3	2,8	123,5	249,4
Décembre	5,8	19,7	12,8	7,0	3,5	85,4	234,7
Moyenne annuelle	16,3	31,1	23,7	8,9	-	-	-
Cumul annuel	-	-	-	-	42,3	2814,2	3255,3

2.3. Températures

La région de Ouargla est caractérisée par des températures très élevées, qui peuvent dépasser les 40°C. Les températures moyennes enregistrées sur 11 années pour la période (2008-2018) (Tabl. 1) permettent de constater que la température moyenne annuelle est de 23,7 °C. Le mois le plus froid est celui de Janvier, avec des températures moyennes minimales de 5.2°C. Le mois le plus chaud est celui de Juillet, avec des températures moyennes maximales de 44,1°C.

On constate qu'à cause de l'augmentation de la température dans cette région, les vers de terre ne peuvent plus survivre en surface, donc ils fuient vers les profondeurs. Les vers peuvent survivre à des températures de 0°C à 35°C (CHAOUÏ, 2010). Selon PELOSI (2008), les anéciques se trouvent parfois à un mètre de profondeur et peuvent ne pas tous être remontés près de la surface. Au-dessous de 10°C, les lombrics ne peuvent pas se reproduire et la consommation de leur nourriture diminue. Les lombrics sont sensibles à de trop fortes températures (FRANCIS et *al.*, 2003). Une température atteignant les 30°C est fatale pour eux

(FLAEF, 2016). L'exposition des vers à des températures supérieures à 40 °C engendre des taux de mortalité élevés (FRANCIS et *al*, 2003). Les lombrics travaillent efficacement à des températures allant de 15 °C à 25 °C (MORIN et *al*, 2004). Donc, on constate que dans la région de Ouargla pendant la période estivale, la culture des lombrics exigerait une climatisation.

2.4. Précipitations

Les précipitations sont rares et irrégulières, leurs répartitions sont marquées par une sécheresse presque absolue, du mois de mai jusqu'au mois d'août. Les précipitations sont enregistrées au mois de juillet avec 0,3 mm minimum et au mois de janvier avec de 8,5 mm minimum. Celles-ci favorisent la remontée de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla et par conséquent, la remontée des vers de terre à la surface pendant la période hivernale.

Le cumul des précipitations annuelles sur 11 ans (2008-2018) est de 42,3 mm (Tabl. 1). La lombriculture dans ces conditions, exige une imbibition régulière pour éviter la mort des lombrics. L'humidification des matières doit être régulière FRANCIS et *al*. (2003). Un taux d'humidité de 75 % est idéal pour les vers de terre (CHAOUI, 2010).

2.5. Évaporation

La région de Ouargla est caractérisée par une évaporation moyenne annuelle très importante. Elle est de 2814,2 mm/an avec un minimum de 85,4 mm au mois décembre. Le maximum enregistré est de 445,4 mm au mois de juillet (Tabl. 1). Celle-ci impose la fuite des vers de terre vers les profondeurs. Dans cette région, il faut protéger la lombriculture avec les palmes ou bien avec des tissus mouillés contre l'évaporation.

2.6. Vents

La vitesse moyenne des vents est de 8,9 m/s. La fréquence et la force des vents augmentent graduellement au mois de mars et atteignent le maximum au mois de mai avec une vitesse de 10,6 m/s. Ils provoquent des dégâts dans les cultures et la fuite des vers de terre vers les profondeurs pour éviter la déshydratation de leur peau (Tabl. 1).

2.7. Insolation

La durée moyenne d'insolation est d'environ 3526,6 heures, avec un minimum de 271,3 heures en décembre et un maximum de 338,4 heures en août (Tabl. 1). Cette insolation peut provoquer aux lombrics des douleurs sur leurs peaux. Les vers de terre ont, sur la peau, des cellules photosensibles qui causent de la douleur lorsqu'elles sont exposées à la lumière CHAOUI (2010). Les rayons UV du soleil sont mortels pour les vers (FLAEF, 2016). La construction d'une toiture en film plastique opaque ou en feuilles de palmier est indispensable. Elle évitera la solarisation importante des unités de lombriculture (FRANCIS *et al.*, 2003). Donc il faut couvrir la lombriculture par un tissu noir, palmes ou bien par une bâche.

2.8. Classification du climat

La classification du climat de la région de Ouargla se base sur le Diagramme Ombrothermique du GAUSSEN et BAGOULS ainsi que le Climagramme d'Emberger.

2.8.1. Diagramme d'ombrothermique du Gaussen

Le Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGOULS (1953 in DADDI BOUHOUN, 2010) appliqué à la région d'étude montre qu'elle se caractérise par une période sèche qui s'étale sur toute l'année (Fig. 2).

2.8.2. Climagramme d'EMBERGER

Le climagramme d'EMBERGER (1955, in KAABECHE, 1990) nous permet de classer l'étage bioclimatique par le calcul du quotient pluviométrique (Q2) adapté pour l'Algérie selon la formule de STEWARD (1969), qui se présente comme suit :

$$Q2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

Q2 : quotient pluviométrique d'EMBERGER.

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.

m : moyenne des minima du mois le plus froid en °C.

On a trouvé $Q2 = 3,77$. La région de Ouargla est donc située dans l'étage bioclimatique saharien ou hyperaride à hiver doux (Fig. 3).

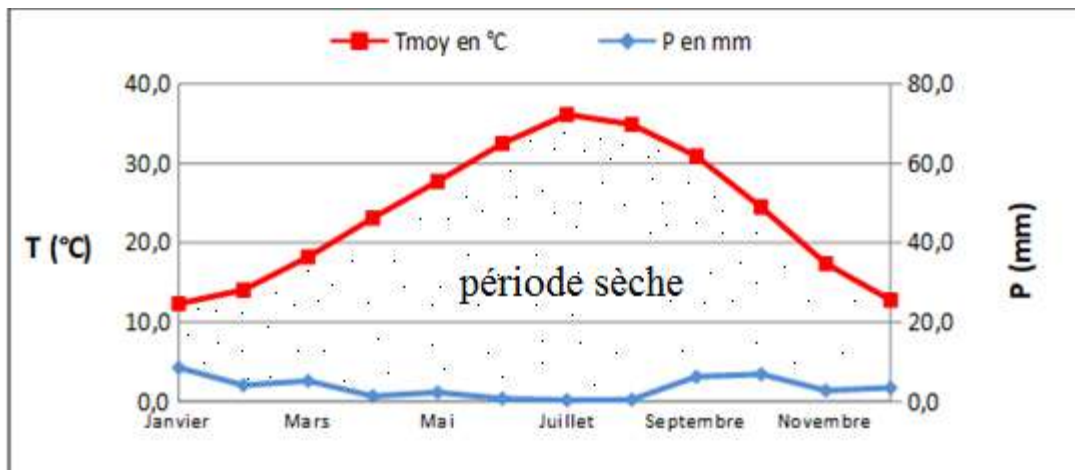


Figure 2. Diagramme Ombrothermique de BAGOULS et GAUSSEN (1953) appliqué à la région de Ouargla (2008 -2018).

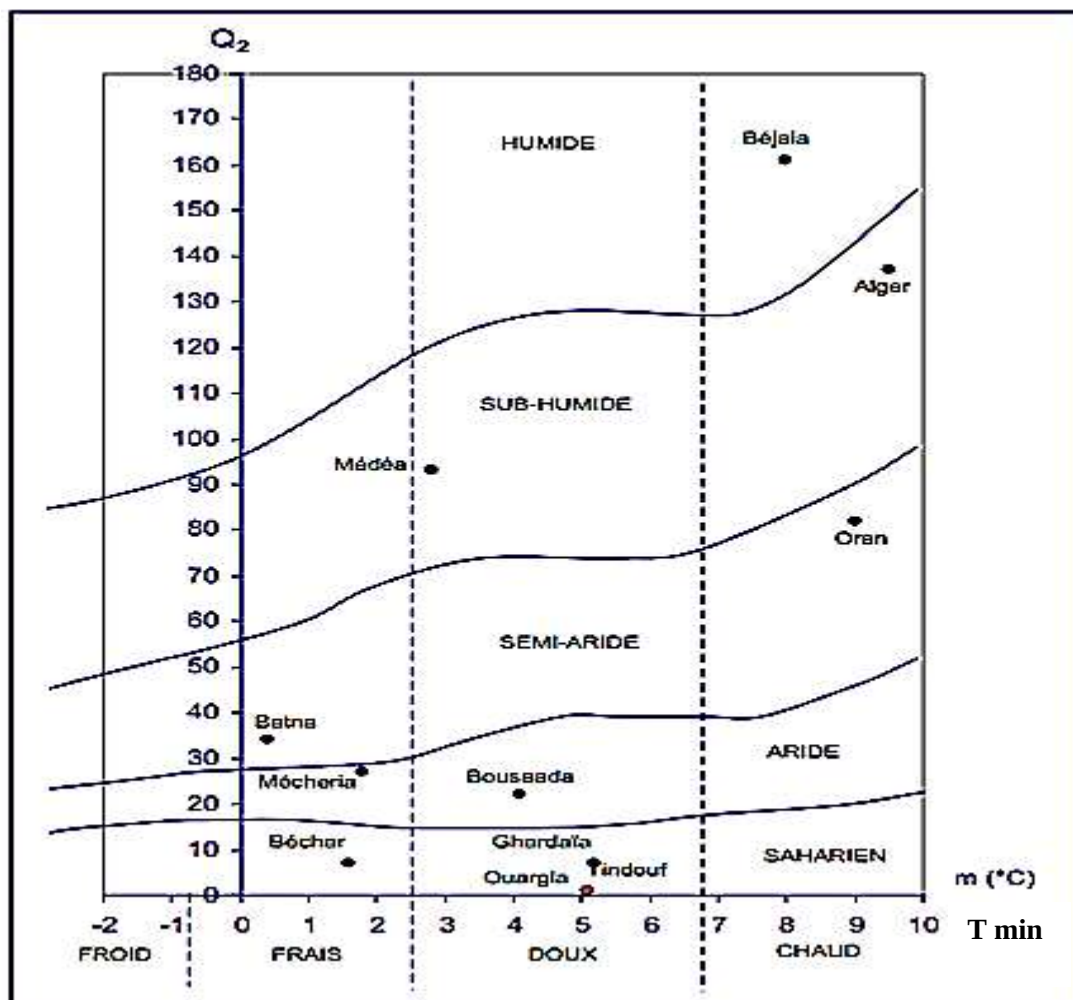


Figure 3. Etage bioclimatique de Ouargla.

2.9. Sol

Les sols de l'oasis de Ouargla sont de prédominance sableuse (DADDI BOUHOUN, 2010). Sa fertilité est faible (OMEIRI, 2014). Les résultats de l'étude des secteurs phoenicicoles de la cuvette de Ouargla, montrent une dégradation de son environnement hydro-édaphique, notamment une halomorphie d'irrigation où associée à des obstacles mécaniques de croûtes gypso-salines à gypsocalcaires-salines en nappes profondes, et une hydro-halomorphie de nappes superficielles ou associée à des obstacles mécaniques de croûte (DADDI BOUHOUN, 2010).

Les croûtes créent un obstacle pour l'infiltration des eaux d'irrigation salées, ce qui augmente la remontée capillaire des eaux, ainsi l'accumulation des sels à la surface des sols. Les profondeurs des croûtes varient de 33,3 à 117 cm. Elles sont de types gypseux à Bamendil et à Mékhadma et de type gypso-calcaires au Ksar et à Beni Thour. Les périmètres phoenicicoles présentent des obstacles hydriques de nappes superficielles et physiques de croûtes (DADDI BOUHOUN *et al.*, 2013).

La cuvette de Ouargla est actuellement sérieusement perturbée par les activités humaines, qui ont créé une endoréisation anthropique. L'évacuation des eaux salées après utilisation dans un système fermé a entraîné la remontée de la nappe superficielle, la salinisation et l'hydromorphie des sols mettant en péril la durabilité de l'agriculture (HAMDI-AÏSSA, 2001). La dégradation du milieu édaphique peut conduire à la longue, en cas d'absence de drainage, au dépérissement des palmiers dattiers et contribue à la désertification de l'environnement oasien de Ouargla (DADDI BOUHOUN *et al.*, 2011).

L'étude de HAMDI-AÏSSA et GIRARD (2004) réalisée avec la télédétection sur les sols de la région de Ouargla, on classe le risque salinisation en six unités :

- 1) Sols présentent un très faible risque de salinisation. Sols quasiment inaptes à la mise en valeurs (Hamada, Reg, pseudo-Reg, ...etc.). Certains glacis (en pseudo-Reg) « Arenosols yermics » et « Calcisols calcic » à état de surface graveleux et sable grossier sont mis en culture dans les rives de la vallée de l'Oued Mya.
- 2) Sols présentent un faible risque de salinisation : ils correspondent aux formations éoliennes (dunes, Nebkha, ...etc.) « Arenosols hyposalics ».
- 3) Sols à risque de salinisation moyen : sols gypseux à croûtes gypseuses de surface et de sub-surface « Gypsisols petrogypsics ».
- 4) Sols à risque de salinisation élevé : Sols gypso-salins à croûte gypseuse de sub-surface

- « Gypsisols hypergypses ».
- 5) Sols à risque de salinisation très élevé. Sols salins de la sebkha « Solonchaks hypogypses».
 - 6) Affleurements rocheux du grès du Mio-Pliocène « Regosols ».

Ces conditions hydro-halomorphe sont susceptibles de limiter l'activité biologique des lombrics. Selon VIGOT et CLUZEAU (2014), les lombrics sont sensibles au sol à forte hydromorphie. Les lombrics préfèrent un taux de salinité inférieur à 0,5 % ; un taux plus élevé est trop toxique (CHAOUI, 2010);

2.10. Hydrogéologie

Selon HOUARI et *al.* (2014), la région de Ouargla repose sur un énorme réservoir d'eaux souterraines, il s'agit du système aquifère du Sahara septentrional qui renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés communément : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

2.10.1. Nappe phréatique

La nappe phréatique, ou nappe superficielle, contenue dans les alluvions de la vallée de l'oued Mya. Dans l'agglomération, sa profondeur varie entre 0,5 et 1,5 m par rapport au niveau du sol. Mais dans les zones les plus basses, elle se trouve pratiquement à fleur de sol (IDDER et *al.*, 2013; IDDER et *al.*, 2014). Elle n'est pas utilisée ni pour l'alimentation en eau potable ni pour l'irrigation. Sa teneur en sels est élevée, qui est généralement de 10 à 15 g/l de résidu sec sur l'ensemble de la région et peut dépasser les 25g à la périphérie des chotts. Son niveau d'eau est proche de la surface du sol (KHADRAOUI, 2006).

Les conductivités électriques des différents sols de la cuvette de Ouargla sont excessivement élevées, pouvant atteindre 5000 mS.m⁻¹ dans les horizons de surface en saison estivale. Cette sur-salinisation est principalement influencée, non seulement par des contextes géologiques et climatiques défavorables, mais aussi par une très forte salinité de la nappe superficielle dont la conductivité électrique dépasse 7000 mS.m⁻¹ (IDDER et *al.*, 2014). Ce qui confère aux eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla le faciès chlorure sodique (NEZLI et *al.*, 2007).

Les eaux de cette nappe présentent une pollution organique à différents degrés (DJIDEL, 2008). Les conditions précitées sont défavorables pour la vie et le développement de la communauté lombricienne surtout avec le taux de salinité qui est excessivement élevé; ceci que ce soit pour l'imbibition de lombriculture ou bien pour installer ce dernière dans des terres où la nappe à une faible profondeur. Il y a des espèces euryhalines mais les vers fousseurs se rencontrent rarement où la salinité de la solution du sol excède 0,4 % (BACHELIER, 1978).

2.10.2. Nappe du complexe terminal

Au niveau de la cuvette de Ouargla, seuls les terrains Mio-pliocènes affleurent, il s'agit des formations détritiques continentales ; grès, sables, graviers et argiles. En bas, on rencontre les formations marines (calcaires et dolomies) du Sénonien carbonaté, parfois des argiles et évaporites de l'Eocène, l'anhydrite et les sels du Sénonien lagunaire, les bancs calcaires du Turonien, les argiles et marnes du Cénomanien et les formations gréseuses et argilo-gréseuses de l'Albien (HOUARI et *al.*, 2014).

Le CT est le système le plus exploité (DURAND et GUYOT, 1955). Il est constitué par deux principales formations, l'une des sables captée à une profondeur de quelques mètres, avec un débit de 25 à 35 l/s et peut dépasser 50 l/s dans la région de Hassi Messaoud. L'eau de cette formation est chargée en sels et peut atteindre les 7 g/l. Quant à la nappe de calcaires qui est relativement plus profonde, entre 150 et 300 m, elle se distingue par une salinité relativement moins chargée de 2 à 3 g/l de résidu sec. Le débit de cette formation est d'environ 20 l/s (KHADRAOUI, 2006). Les concentrations en fluor dans les nappes les moins profondes du CT dépassent fréquemment les teneurs recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), soit 0,6 à 0,8 mg.l⁻¹, selon la température diurne maximale de la région considérée (NEZLI et *al.*, 2009). Le Complexe Terminal occupe une superficie d'environ 350000 km². Sur le territoire algérien, le CT renferme deux formations aquifères distinctes. La première est contenue dans les sables du Mio-Pliocène, tandis que la seconde se trouve dans le Sénonien supérieur et l'Éocène inférieur (IDDER et *al.*, 2014).

Le niveau de salinité des eaux d'irrigation du Sénonien est moins salé par rapport à celui du Mio-pliocène. Pour cela ce dernier présente des risques de salinisation des sols et de ce fait une menace sur la viabilité des lombrics par effet de toxicité.

2.10.3. Nappe du continentale intercalaire

La nappe du continentale intercalaire porte souvent, de manière restrictive, le nom de nappe de l'Albien en référence à son étage supérieur, car les premiers jaillissements d'eau obtenus en provenance de cet aquifère ont été attribués aux grès de l'Albien. Elle s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional sur une superficie de 600 000 km² (IDDER et *al.*, 2014). Cette nappe est captée sur une profondeur de 1000 m (Gassi Touil) et 1500 m (Ouargla), elle se distingue par un débit important qui peut dépasser les 200 litres par seconde, une salinité relativement faible (inférieure généralement à 2 g/l de résidu sec). Elle se distingue également par son artésianisme jaillissant (KHADRAOUI, 2006). La température du Continental Intercalaire dépasse les 60°C, son alimentation est relativement faible (ZAHROUNA, 2011). L'irrigation avec cet aquifère nécessite son refroidissement pour éviter la mort des lombrics. Selon CHAOUI (2010), les vers peuvent survivre à des températures de 0°C à 35°C.

2.11. Agriculture

Dans la région de Ouargla, le palmier est la culture principale (DADAMOUSA, 2007). La ville de Ouargla ou la vallée de l'oued mya, comme son nom l'indique est située dans une cuvette (IDDER, 2001), avec environ 268049 palmiers dattiers couvrant une superficie de 22909 ha (DSA, 2019).

La palmeraie ou verger phoenicicole est un écosystème très particulier à trois strates (DADAMOUSA, 2007; IDDER, 2011):

- La strate arborescente est représentée par le palmier dattier: *Phoenix dactilifera*, qui est la plus importante.
- La strate arborée composée d'arbres comme les figuier, grenadier, citronnier, oranger, vigne, mûrier, abricotier, acacias, tamarix ... et d'arbustes comme le rosier.
- la strate herbacée constituée par les cultures maraîchères, fourragères, céréalières, condimentaires etc. Souvent les paysans pratiquent des cultures fourragères pour leurs élevages familiaux, parfois aussi certaines cultures maraîchères.

Ces différentes strates constituent un milieu biologique que nous pourrions appeler milieu agricole. Le jardin à plantation anarchique constitue un biotope différent de celui à plantation organisée. Dans le premier type, compte tenu de la densité élevée des palmiers offrant un couvert végétal assez dense et en raison de l'imbrication des palmes entre elles, les conditions micro-climatiques sont différentes par rapport à celles d'un jardin à plantation organisé. Les températures, l'insolation et la vitesse des vents sont amoindries, l'hygrométrie est plus importante.... Par conséquent, une faune plus nombreuse et diversifiée, autrement dit des conséquences agronomiques également différentes (IDDER, 2001).

De ce fait, l'occupation des parcelles par ces différentes végétations peut favoriser la présence des lombrics surtout dans le biotope ancien.

Dans le biotope ancien, on peut y rencontrer parfois plus d'une trentaine de cultivars différents les uns des autres. Contrairement au nouveau jardin qui a une tendance vers la monoculture, c'est à dire essentiellement celles des variétés Deglet-Nour et Ghars qui présentent la meilleure valeur marchande (IDDER, 2001).

Le drainage pose de vrais problèmes sur le maintien des anciennes palmeraies, car en plus du phénomène de la remontée de la nappe phréatique et le gaspillage d'eau à travers l'irrigation par submersion, on remarque l'absence des drains à l'intérieur des parcelles, état qui fait augmenter les risques d'asphyxie chez les plantes. Les drains secondaires, quant à eux, souffrent de manque d'entretien, car les services concernés réalisent le nettoyage occasionnellement (FACI et *al.*, 2017). L'engorgement des sols en l'eau est dangereux par la salinisation qu'il entraîne, en plus, il crée des conditions d'anaérobiose qui sont à l'origine de la nécrose et de la pourriture des racines (DADDI BOUHOUN et *al.*, 2013).

Les pertes considérables de l'eau, soit au niveau du réseau ou par la méthode d'irrigation (submersion dans toutes les exploitations) provoquent la stagnation des eaux, surtout avec le phénomène de la remontée de la nappe phréatique et l'absence des drains à l'intérieur des exploitations (61 % des exploitations), ainsi que l'inefficacité des drains principaux. En contrepartie, il y a des exploitations qui n'ont pas été irriguées depuis des années, à cause de pannes des forages, ou par la volonté de leurs propriétaires pour changement de vocation à d'autres fins, de transaction foncière surtout, chose qui est constatée particulièrement dans la palmeraie du ksar de Ouargla. Les opérations pratiquées par les exploitants se limitent à la pollinisation, la récolte et la fertilisation des planches des

cultures sous-jacentes. L'absence ou le manque d'entretien (dans 72 % des exploitations) a provoqué l'envahissement des palmeraies par les mauvaises herbes, surtout les phragmites (FACI et *al.*, 2017).

Le développement de l'agriculture dans les anciennes palmeraies et dans les périmètres agricoles de Ouargla créent des conditions abiotiques favorables à l'installation de la pédo-faune en générale et les lombrics en particulier. Cela va contribuer à l'amélioration des propriétés des sols et le développement d'une agriculture biologiques durable.

Il s'est avéré que certaines gestions agricoles peuvent favoriser des espèces des lombrics et en défavoriser d'autres. Les Anéciques à tête noire et les Endogés sont favorisées par l'apport de fertilisation minérale et organique (VAUTHIER, 2012). Les lombrics prélèvent des matières organo-minérales dans le sous-sol et les transportent dans la couche arable, ce qui rajeunit continuellement le sol (PIFFNER, 2013). Aussi, les vers de terre, grâce à leurs activités biologiques, creusent des galeries qui assurent une bonne aération du sol et augmentent la proportion de pores grossiers (SCHMUTZ, 2013). Les déjections des lombrics permettent de concentrer les éléments minéraux, mais surtout ils les rendent plus assimilables pour les plantes (CLUZEAU et *al.*, 2011). Ils peuvent également, en levant les dormances de certaines graines, permettre leur germination (PELOSI, 2008).

2.12. Faunes du sol

La richesse faunistique des palmeraies de la région de Ouargla est importante. Parmi les arthropodes présents dans la région de Ouargla, les araignées qui appartiennent à la famille des Gnaphosidae qui est la plus représentée. Elle est suivie par les Lynphiidae et les Thomisidae (ALIOUA et *al.*, 2012). IDDER (2011), montre que, parmi les espèces d'insecte trouvés dans les palmerais de Ouargla sont les coléoptères avec *Apate monachus* (Bostrychidae), *Coccotrypes dactyliperrda*, *Carpophilus hemipterus*, *Gryllusbi maculatus* (Gryllidae), *Aiolopus thalaaainus* (Acrididae), ...etc ; Pyrgomorphidae (BELHADJ et *al.*, 2014) ; *Monomorium sp* (Formicidae), *Coccinell aalgerica* (Coleoptera) et *Pieris sp* (Lepidoptera) (GUEZOUL et *al.*, 2013).

L'étude de KARABI (2017) sur les microorganismes dans les palmeraies de Ouargla montre que, le dénombrement des différents groupes microbiens révèle que les bactéries présentent une supériorité numérique, suivies parfois par les actinomycètes, parfois par les

champignons et enfin les algues dans l'ensemble des sols étudiés. La densité des microorganismes est influencée par les conditions pédoclimatiques et la nature du sol (humidité, texture, matière organique, pH,...). La densité des bactéries sulfato-réductrices est importante dans le sol qui présente les conditions les plus favorables au développement de ces bactéries (engorgement, salinité, teneurs en matière organique et en gypse).

Des études menées sur les vers de terre montrent qu'ils sont présents dans les palmeraies de cette région notamment les lombrics. Les vers lombriciens sont présents dans le jardin phoenicicole de Ouargla notamment la palmeraie du Ksar (KEMASSI, 2015) et de Ain Moussa (TALBI, 2016). Dans cette région, il faut protéger les lombrics contre leurs prédateurs.

3. Etude de lombriculture

3.1. Biologie des lombrics

3.1.1. Systématique

Les lombrics sont des vers annelés, ou Annélides (BACHELIER, 1978). Dans la plupart des écosystèmes terrestres, ce sont les lombrics qui dominent la macrofaune du sol. En Europe, il existe 400 et en Suisse 40 espèces de vers de terre (PFIFFNER, 2013). Selon VIGOT et CLUZEAU (2014), l'identification des vers de terre montre qu'il y a plus de 3000 espèces dans le monde, dont une centaine en France. Les vers de terre représentent environ 70 % de la biomasse animale terrestre dans les zones tempérées.

BOUCHE (1970 in BACHELIE, 1978) le même auteur les lombrics sont classés comme suit :

Embranchement : Annélides
Classe : Annélides oligochètes
Ordre: Opisthopores

Super famille : Lumbricina
Famille : Lumbricidae
Sous famille : Eiseninae
genre : Eisenia

Sous famille : Lumbricinae englobe 7 genres

genre: Dendrobaene

genre: Octoolasiunt

genre: Bimasfus

genre: Allolobophora

genre: Eophila (Helodrilus)

genre: Eiseniella

genre: Lumbricus

3.1.2. Critères de détermination des espèces

Selon BOUCHE (1970 in BACHELIER, 1978), la détermination des vers de terre est basée sur les critères suivants :

La disposition des sois, le nombre de segments avant ou en arrière de clitellum, la forme de prostomium ainsi que la présence ou l'absence des réceptacles séminaux, le nombre des pores, la forme de clitellum, la couleur de la surface dorsale antérieure, le conduits spermatique avec/sans papille distincte, la disposition de crête de puberté et la présence de la bonde transversale.

3.1.3. Reproduction et longévité

Les vers de terre sont hermaphrodites, l'autofécondation a été rarement observée. Les vers de terre se reproduisent en mieux au printemps et en automne, si les conditions de température et d'humidité dans le sol sont favorables (HERGER et VETTER, 2003 ; VIGOT et CLUZEAU, 2014).

L'accouplement des vers se fait de nuit à la surface des sols (BACHELIER, 1978 et HERGER et VETTER, 2003). La maturité sexuelle des individus se caractérise par l'épaississement de la peau dans la partie antérieure (clitellum) ; la présence d'un mucus collant et spécial ; des poils clip protègent les côtés du ventre rapprochés et des gamètes qui se produisent dans les ouvertures reproductrices mâles (HERGER et VETTER, 2003). Les organes reproducteurs mâles sont sur les segments 9, 10, 11, 12 et 15 qui portent l'orifice (Fig. 4). Les organes reproducteurs femelle sont sur les segments 13 et 14 qui portent l'orifice. Les segments 32. 37 forment la gangue muqueuse ; les gonopores des 2 lombrics ne sont pas face à quelque chose de marquant. Les spermatozoïdes migrent le long de l'animal pour arriver dans les réceptacles séminaux (spermathèque). Quand ils sont

accouplés, les 2 lombrics sont au stade sexuel mâle ; Dans certains cas, il y a accolement du gonopore mâle sur les réceptacles séminaux. Ensuite on passe. La phase de maturation des organes génitaux femelles. Il y a fabrication de la gangue muqueuse au niveau du clitellum puis l'animal recule pour atteindre le segment 9 (spermathèque) où il y aura fécondation externe, les spermatozoïdes d'un lombric sont déposés sur les organes génitaux femelles de l'autre lombric puis il y a formation d'un cocon (Fig. 5; Phot. 1) (GAUER, 2007).

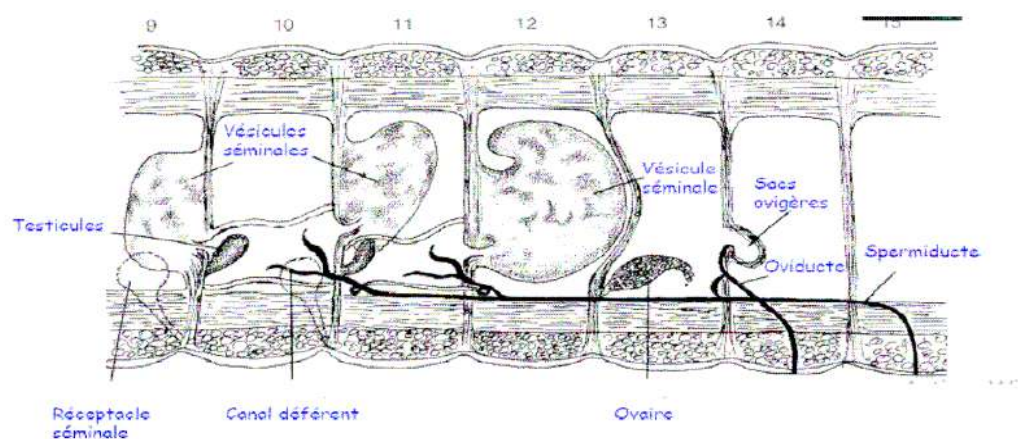


Figure 4. Les organes reproducteurs (GAUER., 2007)



Photo 1. L'accouplement chez les lombrics (TREMBLAY, 2014)

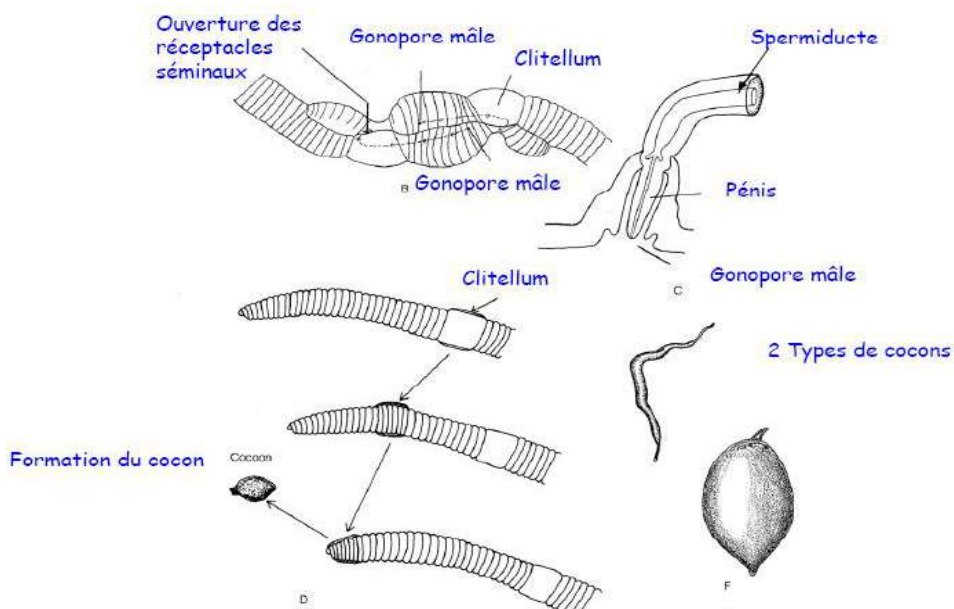


Figure 5. La reproduction chez le lombric (GAUER, 2007)

Selon BACHELIER (1978), la production des cocons varie selon les espèces, la température, l'humidité et la nourriture. Les vers qui vivent en surface produisent beaucoup plus de cocons que les vers qui survivent en profondeur. Chez l'espèce *Eisenia foetida*, plusieurs cocons peuvent être émis successivement par un même ver et chaque cocon renferme plusieurs œufs, exception faite des cocons de quelques gros vers qui ne renferment qu'un seul œuf.

3.1.4. Bioécologie des lombrics

Les vers de terre ne peuvent pas réguler leur température corporelle (HERGER et VETTER, 2003). Chaque espèce peut vivre et activer a une gamme des températures bien précises (BACHELIER, 1978). Les lombrics travailleront efficacement à des températures allant de 15 °C à 25 °C (MORIN et *al.*, 2004). L'activité et la reproductivité arrivent au maximum au printemps et en automne (HERGER et VETTER, 2003) ; précisément, en mars - avril et en septembre - octobre (SCHMUTZ, 2013). Pendant les périodes sèches et chaudes, les vers de terre ne peuvent plus résister la survie au surface (HERGER et VETTER, 2003). Ils se retirent dans les profondeurs du sol et s'enroulent sur eux-mêmes dans une cavité sphérique consolidée. Donc, ils rentrent en estivation (BACHELIER, 1978 ; SCHMUTZ, 2013). Egalement en hiver, le gel sévère rend impossible la prise de nourriture et la vie dans la couche supérieure du sol (HERGER et VETTER, 2003).

Ils se retirent dans la partie non gelée de leurs galeries et s'installent (SCHMUTZ, 2013). Ils réduisent leur surface corporelle, ce qui réduit l'évaporation de leur fluide. Dès que les conditions extérieures sont favorables à nouveau, les vers se réveillent à une nouvelle activité (HERGER et VETTER, 2003).

3.2. Nutrition

Les vers de terre se nourrissent de plantes mortes (PFIFFNER, 2007; SCHMUTZ, 2013). Ils peuvent manger les feuilles et les résidus de culture, les bactéries, les algues, les protozoaires et même les champignons mycélium (HERGER et VETTER, 2003 ; PELOSI, 2008), et même les nématodes et les rotifères (KÖNIG, 2007). Selon BACHELIER (1978), les vers peuvent ingérer même le sol avec les résidus de culture. Cette ingestion de terre par les vers varie selon les espèces, les sols, les saisons et la nature des matériaux végétaux. D'après DALLERAC (2005) ; DOMINGUEZ et *al.* (2009) ; MARTIN et *al.* (2011), le régime alimentaire des vers de terres est variable. Il est en fonction du groupe écologique.

Les vers épigés, se nourrissent de la litière bien fragmentée préalablement (résidus de feuilles et autres parties végétales mortes). Les endogés, consomment la matière organique dispersée dans la partie minérale du sol. Les anéciques, viennent se nourrir de déchets végétaux en surface.

BACHELIER (1978) montre qu'une litière d'aulne ajoutée à du fumier détermine une forte augmentation en poids des vers, suivie de leur mort. Une litière mixte composée de feuilles de chêne, de hêtre et de robinier cause d'abord une perte en poids des vers puis leur mort. Le résultat de cette digestion est un terreau plus foncé que le sol ingéré, de pH plus alcalin et à microflore sélectionnée mais plus active.

Par conséquent, les vers de terre ingèrent les micro-organismes vivants et du micro et des méso-faunes vivantes ou mortes.

3.3. Impacts des facteurs abiotiques sur les lombrics

Les vers de terre sont influencés par les facteurs hydro-édaphiques du milieu, qui agissent directement sur leurs développements.

3.3.1. Facteurs hydriques

D'après HERGER et VETTER (2003), si le sol s'engorge d'eau ou se dessèche périodiquement, les vers ne peuvent plus vivre. BACHELIER (1978) montre que, les vers de terre absorbent continuellement par la peau l'eau qu'ils rejettent ensuite par les néphridies et l'intestin. La quantité d'eau rejetée par les néphridies atteint à elle seule 60 % du poids du corps par jour. Les vers de terre s'enfoncent dans le sol quand il se dessèche pour ne pas mourir, se roulent en boule puis ils se déshydratent partiellement, pouvant perdre jusqu'à la moitié de leur eau. Leur léthargie cesse avec le retour de l'eau et leur ré-imbibition. Dans des régions, la léthargie va jusqu'à la diapause avec création des cellules d'estivation, la para-diapause est une forme de léthargie déterminée par la déshydratation du milieu et ne modifiant que très faiblement la teneur en eau de l'animal. La diapause dépend d'une régulation interne, vraisemblablement d'origine endocrine. Elle se caractérise par l'arrêt de l'activité génitale, avec réduction des organes sexuels glandulaires et vacuité du tube digestif.

3.3.2. Facteurs édaphiques

Les facteurs édaphiques sont présentés par des facteurs physiques, physicochimiques et chimiques.

- **Température**

D'après CHAOUI (2010), les vers de terre ont besoin d'une température allant de 0°C à 35°C (la température optimale étant de 25°C). Selon HERGER et VETTER (2003), les vers de terre peuvent vivre à des températures comprises entre 0° et 25°C. Mais la plupart des espèces leur température optimale est de 10 à 15 °C où leur activité est optimale. L'espèce *Eisenia foetida* a une tolérance à haute température entre 0-30 °C (NATURLAND, 2010).

- **Texture**

HERGER et VETTER (2003) enregistre que, les vers de terre préfèrent les sols argileux qui sont brassés avec la matière organique et les excréments d'autres animaux du sol dans le tube digestif des vers de terre. Selon BACHELIER (1978), les vers sont plus abondants dans les sols limoneux, argilo-limoneux et argilo-sableux que dans les sables, les graviers et les argiles.

- **pH**

Selon BACHELIER (1978) et HERGE (2003), les vers de terre ont une large gamme de pH. Il y a des espèces acidophiles, des espèces basophiles et des espèces ubiquistes ou indifférentes. D'une manière générale, les vers de terre sont peu sensibles au pH, pour autant qu'il ne tombe pas en dessous de pH 4,4. CLUZEAU et *al.* (2011) montrent que les vers de terre préfèrent les milieux aux valeurs de pH non extrêmes (deux bornes : pH = 4,4 et 11).

- **Salinité**

La sensibilité des vers de terre est variée selon l'espèce et le type de sel. Selon BACHELIER (1978), il y a des espèces euryhalines mais les vers fouisseurs se rencontrent rarement où la salinité de la solution du sol excède 0,4 %. D'après CHAOUI (2010), L'ammonium est le principal facteur de salinité. Les vers de terre sont repoussés par une salinité supérieure à 5 mg/g. Par conséquent, si la matière première est pauvre en sel, le fumier des vers (lombricompost) le sera aussi.

- **Calcium**

D'après les études biologiques, l'exigence des vers de terre en calcium sont en fonction d'espèce. De nombreux vers de terre ont aussi besoin de calcium pour leurs glandes de Morren, qui sécrètent du carbonate de calcium sous forme de petites concrétions de calcite expulsées dans le tube digestif (BACHELIER, 1978).

3.4. Prédateurs des vers

Selon BACHELIER (1978), les vers de terre sont très appréciés des taupes et des musaraignes qui contribuent grandement à la diminution de leurs populations et même les Chilopodes et les Staphylins participent dans leur régression. Les grenouilles, certaines limaces (*Testacella*) et surtout les oiseaux qui s'attaquent essentiellement aux vers de surface.

3.5. Méthodes de lombriculture

La lombriculture à grande échelle se fait en différentes méthodes, parmi ces dernières la culture en bacs et en andain.

3.5.1. Elevage en contenants

Cette méthode consiste à utiliser des bacs en terre cuite (FRANCIS et *al.*, 2003), en bois (BERKELAAR et MOTIS, 2009), en béton (AMIC et DALMASSO, 2012) ou bien en plastique (MULCIBA et *al.*, 2017). FRANCIS et *al.* (2003) rapportent que, la lombriculture se fait en deux étapes: un précompostage traditionnel suivi par une lombriculture, la première étape est essentielle, elle doit être réalisée avant l'introduction des vers de terre. Le précompostage consiste de le réalisé en tas d'un mètre de hauteur, sur 4- 5 m² à même le sol, durant 2 à 3 semaines. Si aucune infrastructure particulière n'est nécessaire pour cette phase de précompostage, il n'en est pas de même pour le lombricompostage. Celui-ci doit être envisagé en assurant une surface d'échange maximale entre les matières constituant le substrat d'élevage des vers : résidus de cultures et déjections animales. Les couches successives lors de chaque apport du mélange doivent être inférieures à 20 cm d'épaisseur ;il est indispensable d'ombrager les unités de lombricompostage. Les constructions peuvent être faites en terre cuite ou bien en tiges de bambou et de film plastique. Deux kilos de vers sont utilisés pour ensemer 1 m² de déchets précompostés. Lorsque le volume des andains diminue entre 3 et 5 fois par rapport à leur volume initial, le mélange de compost et d'invertébrés est trié manuellement. Quatre kilos de lombrics sont récoltés par mètre carré.

Une surface au sol de 6 à 15 m², de 24 à 60 kg de vers de terre sont produits chaque mois.

MULCIBA et *al.* (2017) montrent que le bac plastique est placé sur une pente légère et sous abri (Photo. 2); Il est recommandé de récupérer le liquide qui s'écoule du bac. Les déchets végétaux sont réparti sur tout le fond du bac de vermiculture, sur environ 10 cm de haut (de volume équivalent à 1 brouette bien remplie, soit à peu près 10 kg de déchets verts). Epancher les déchets animaux de façon à recouvrir les déchets végétaux en une couche de hauteur équivalente (de volume équivalent à 3 brouettes, soit à peu près 90 kg) (Annexe 36) . Eviter de tasser, humidifier, en suite répartir les vers sur toute la surface du bac. Si les vers pénètrent dans les déchets. Arroser le mélange régulièrement notamment en recyclant l'exsudat, pour maintenir un niveau d'humidité de 75%. Couvrir l'ensemble, Vérifier l'humidité 3 fois par semaine et arroser si besoin. On rajoutera, si nécessaire, des déchets supplémentaires animaux et végétaux. Les vers pourront être récupérés dans le bac de vermiculture au bout de 2 mois.

D'après MORIN (2002), au cours des 2 premières semaines après l'introduction des vers dans les contenants d'élevage, il est important de les vider complètement de leur contenu au moins une fois par semaine pour en retirer les vers morts. Cette opération peut s'effectuer 2 à 3 semaines pendant toute la durée de l'élevage. Il faut retirer les vers adultes du terreau lors d'une opération de vidage et les transférer dans une nouvelle boîte d'élevage pour permettre à une nouvelle progéniture de croître. Le terreau contenant les capsules et les jeunes vers sont retournés dans la boîte initiale où se poursuivra le développement. La nourriture devra être ajustée pour cette nouvelle progéniture en donnant une ration plus faible au début et qui ira en augmentant avec la taille des vers. Après 60 à 90 jours, cette nouvelle génération de vers aura une taille tout à fait appréciable. AMIC et DALMASSO (2012) montrent que, les bacs bétonnés sont installés dans une serre optimum opaque (9,60 m sur 50 m) avec 3 bac de 45 m de long sur 2 m de large et 2,5 m de profondeur (dont 1,5m enterré) (Photo.3), deux kilos de vers sont utilisés pour ensemer 1 m² de déchets.



Photo 2. Lombriculture en bac plastique (MULCIBA et *al.*, 2017).



Photo 3. Lombriculture en bac bétonnée (AMIC et DALMASSO, 2012).

3.5.2. Elevage en andain

Cette méthode consiste à construire des andains; leurs dimensions varient selon la quantité des déchets disponibles. Selon HERCY (2011), les dimensions de l'andain sont d'un à deux mètres de large, sur maximum un mètre de haut, le démarrage se fait avec 10 m², c'est le strict minimum, sur 15 cm de haut. La surface de départ atteindra 100 m² après six mois, 200 m² au bout d'un an, 400 m² à dix-huit mois et 800 m² à deux ans. L'alimenter de surface

de départ se fait avec du vieux fumier, pour éviter que les vers se dispersent sous l'effet de la chaleur. Selon KARCHE et al. (2011), les andains sont d'un à deux mètres de large, sur 40 mètre de haut et de 24m de long ceci sont installés sur une plate-forme entre deux rangées de parpaings (Photo. 4). Les déchets sont amenés tous les jours ou toutes les semaines et versés au bout de l'andain, après avoir été mélangés à des copeaux de bois. Les vers migrent de la partie compostée à la partie fraîche et la dégradent.



Photo 4. Lombriculture en andain (HERCY, 2011).

4. Etude des lombrics à Ouargla

Les travaux de recherche montrent l'existence des lombrics à Ouargla (KEMASSI, 2015 ; TALBI, 2016). L'identification montre l'existence de quatre espèces dans la palmeraie de Ksar de Ouargla (KEMASSI, 2015). Espèces trouvés *Lumbricus terrestris*, *Allolobophora icterica*, *Aporrectodea longa*, *Lumbricus rubellus rubellus* (KEMASSI, 2015).

L'étude du comportement des lombrics dans les conditions pédo-climatique de Ouargla montrent que :

- Les lombrics se concentrent à la surface des sols des anciennes palmeraies de Ouargla entre 20 et 40 cm. Ils semblent bien adapter aux propriétés physico-chimiques (pH et CE) et biochimiques (N totale, Carbone organique) du sol (KEMASSI, 2015 ; TALBI, 2016).
- Les études menées sur lombricompost montrent que les lombrics présentent des actions variables de dégradation sur les différents types des matières organiques. Les substrats de lombricompost utilisés sont des fumiers de volaille, de bovin, d'ovin et de caprin, les déchets de palme et d'olivier (KEMASSI, 2015). AZIZI (2017), a étudiée la différence de

décomposition des déchets végétaux (le déchet de palmier dattier et d'olivier) dans lombricompost et le compost. Aussi BENARABI (2018), a étudiée la différence de décomposition des déchets organiques dans lombricompost, le compost et le fumier d'ovin, ainsi que l'évolution de leurs propriétés physico-chimiques ($\text{pH}_{\text{e.1:5}}$, la $\text{CE}_{\text{e.1:5}}$), chimiques (Na^+ , K^+ , Ca^{++}) et biochimiques (l'azote total, le carbone et la matière organique).

A part ces études, les travaux de recherche semblent rarissimes à Ouargla et dans d'autres régions sahariennes. Il y a beaucoup d'axes non étudiés notamment sur lombriculture.

5. Conclusion

Dans le cadre de cette étude dans les palmeraies de la région de Ouargla nous distinguons de nombreux facteurs environnementaux biotiques et abiotiques, qui peuvent stimuler ou inhibé l'activité des lombrics. Dans les conditions hyperarides de notre région, l'activité des vers de terre devient intense à la surface des sols en période hivernale où les températures sont basses. Toutefois, l'humidité est fournie par la nappe phréatique superficielle et l'irrigation vue le faible niveau de précipitations et une sécheresse presque absolue. L'évaporation et l'insolation sont très importantes, cela peut provoquer aux lombrics des lésions sur leurs peaux celle-ci impose la fuite des lombrics vers les profondeurs. De ce fait, il faut protéger la lombriculture.

L'environnement hydro-édaphique de Ouargla est dégradé particulièrement par la salinité des eaux d'irrigation, les obstacles hydriques de nappes phréatiques, mécaniques de croûtes gypso-calcaires-salines. Ces obstacles hydromécaniques augmentent la remontée capillaire des eaux et l'accumulation des sels à la surface des sols. Les palmeraies traditionnelles sont en majorité abandonnées à cause de l'hydro-halomorphie. L'irrigation par submersion et l'absence d'un réseau de drainage efficace a produit l'engorgement des sols ce qui augmente les risques d'asphyxie des plantes et de la pédo-faune notamment les lombrics. Egalement, la salinisation des sols augmente le risque de toxicité pour ces derniers. La présence de certains prédateurs des lombrics notamment les fourmis, les milles-pattes et les coléoptères qui peuvent limiter la vie et l'activité des lombrics dans les jardins phoenicicoles. Toutes ces contraintes peuvent limiter la richesse et l'activité faunistique notamment celle des lombrics où leurs activités s'avèrent limitées entre 20 et 40 cm, et leurs richesses spécifiques se limitent à quatre espèces identifiées. Ce constat exige l'optimisation du potentiel lombric qui ne peut se faire qu'à travers la technique de lombriculture. Toutefois, l'élevage doit se faire en

conditions contrôlées en tenant compte les conditions du terrain.

Les études sur les lombrics sont rares à Ouargla et il n'y a pas de travaux sur la lombriculture d'où l'importance et l'originalité de notre travail de thèse. Dans ce contexte le développement de dispositifs de lombriculture s'avère indispensable dans toutes les études sur les lombrics notamment la bio-écologie spatio-temporelle. Egalement, la production de la biomasse des lombrics est la première étape dans la valorisation des autres ressources organiques sahariennes (déchets de la vigne et autres cultures, déchets de El Robb ...etc.) en lombricompost, nécessaire à une agriculture biologique durable, à la pisciculture et à la bio-remédiation des eaux usées et des déchets organiques urbains.

Deuxième partie : Matériels et méthodes

CHAPITRE II. Matériels d'étude

1. Choix de la zone d'étude

Notre travail de recherche a été réalisé dans les oasis de la cuvette de Ouargla (Fig. 06) en vue de l'importance agro-écologique de cette région saharienne. Les ressources organiques notamment les déchets de palmeraies sont moins valorisées par les agriculteurs, une quantité importante est destinée à être brûler. L'utilisation de ce type de déchets comme nourriture à la faune du sol peut être l'une des méthodes écologiques pour préserver l'équilibre environnemental.

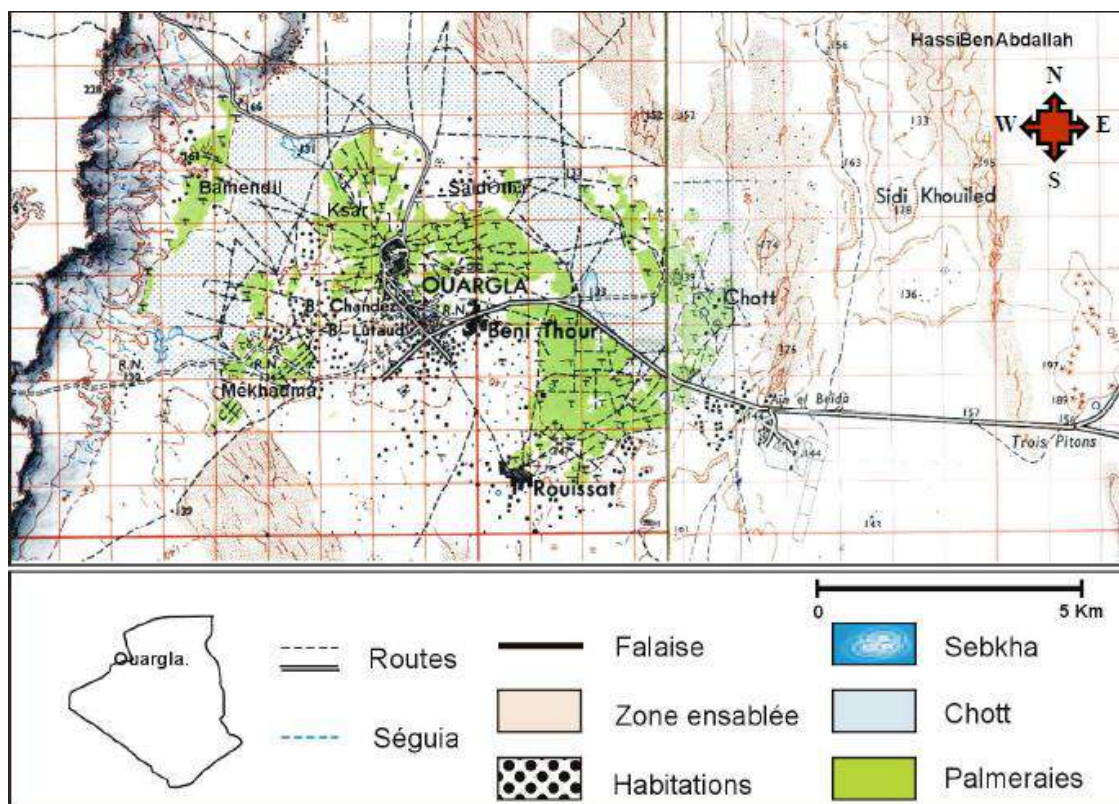


Figure 6. Carte topographique de la cuvette de Ouargla (I.G.N, 1960 in DADDI BOUHOUN, 2010).

2. Choix des stations d'étude

Les stations d'étude sont localisées dans les anciennes palmeraies de la cuvette de Ouargla (Photo. 5) où la présence des lombrics est confirmée par observation (KEMASSI, 2015). Ceci dans les palmeraies abandonnées dont les planches d'irrigation sont riches en dépôts organiques et le taux d'humidité est important. Ces palmeraies sont des palmeraies biologiques, l'irrigation est effectuée par submersion une fois par semaine. Les sites sont:

➤ **Station1 Ksar- Bamrare** : Elle est située entre 31°57' N et 5°20' E, couvrant une superficie de 3500 m², plantée de palmiers dattiers. les planches d'irrigation sont occupées par les mauvaises herbes.

➤ **Station 2 Ksar-Mehsan** : Elle est située entre 31°57' N et 5°20'E, couvrant une superficie de 1000 m², plantée par des palmiers dattiers.

➤ **Station 3 Bni Tour- Balla**: Elle est située entre 31°95' N 5°36' E, couvrant une superficie de 1820 m², plantée par des palmiers dattiers, quelques arbres fruitiers et des cultures maraichères.



Photo 5. Image satellitaire Google des sites d'échantillonnage au cuvette de Ouargla (GOOGLE MAPS, 2020).

3. Matériels expérimentaux

L'expérimentation a été réalisée en trois phases sous différentes conditions d'essais, qui sont : deux en conditions contrôlées dans des conteneurs en plastique (pot, corbeille et boîte) et une en conditions naturelles du sol dans la planche d'irrigation en palmeraie.

Le matériel utilisé dans ces expérimentations est constitué de lombrics, du sol, d'amendements organiques et d'eau pour l'humidification.

3.1. Conteneurs

Les conteneurs utilisés sont de trois types à savoir des pots, des boîtes et des corbeilles en plastique (Photo. 6). Les boîtes doivent être constituées de matériaux légers comme le plastique, le bois, l'étain, etc. qui pourraient facilement être transportés d'un endroit à un autre, La taille des conteneurs peut varier selon les besoins (JULIA et PALIWAL, 1993). Ces derniers sont perforés pour stimuler leur aération. Selon BYAMBAS (2020), Le bac utilisé sera perforé dans le fond et sur le couvercle. Tous les conteneurs sont couverts de moustiquaire pour empêcher la fuite des lombrics et de protéger les vers contre leur prédateurs.

KALE, 1993a ; GAJALAKSHMI et ABBASI, 2004 montrent que, parmi les prédateurs des lombrics les limaces carnivores, les carabidés et les staphylin et mille-pattes; ainsi que, les grenouilles, les crapauds, les rongeurs, les blaireaux, les renards, les taupes et les oiseaux, de nombreuses espèces de fourmis, salamandres, serpents, chats, rats, etc.

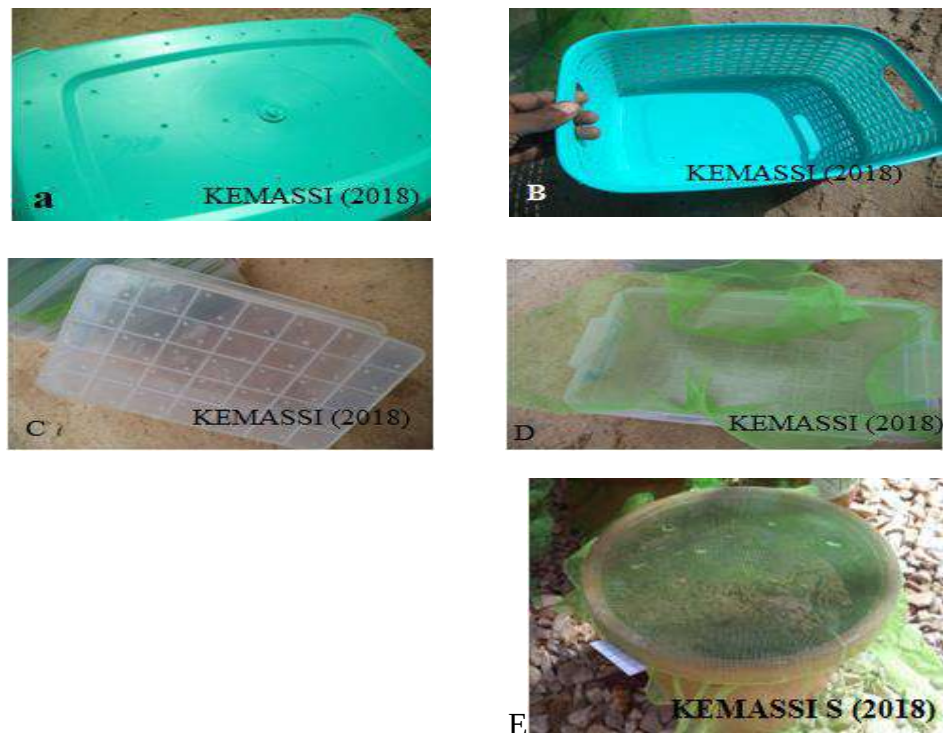


Photo 6. Conteneurs en plastique (a: corbeille, C: Boite, E: Pot).

3.2. Sol

Nous avons utilisé dans ces expériences deux types de sol ; le premier est le sol de l'environnement oasien à savoir le sol sableux de la palmeraie du Ksar, pour s'approcher des mêmes conditions édaphiques de vie des lombrics et le second type est le sables des dunes voisines environnement de la cuvette qui est indemne des lombrics pour voir la possibilité de l'utiliser au lombriculture.

3.3. Amendements organiques

Les amendements organiques utilisés dans les substrats de lombriculture sont issus de fumier de volaille et les déchets de palmier (Photo. 7; 8). le fumier de volaille provient d'une exploitation d'élevage familiale du Ksar de Ouargla, il est séché et broyé manuellement. Concernant les déchets de palmier dattier sont des palmes sèches, ils proviennent d'un jardin phoenicicole traditionnel de la région. Ces déchets sont séchés à l'air libre et broyés par un broyeur de palmes.



Photo 7. Fumier de volailles broyé.



Photo 8. palmes broyés.

3.4. Lombrics

Les espèces utilisés dans nos essais sont *Lumbricus terrestris* et *Aporrectodea longa* (Photo. 9; 10), ce sont les plus dominants dans les palmeraies d'échantillonnage.

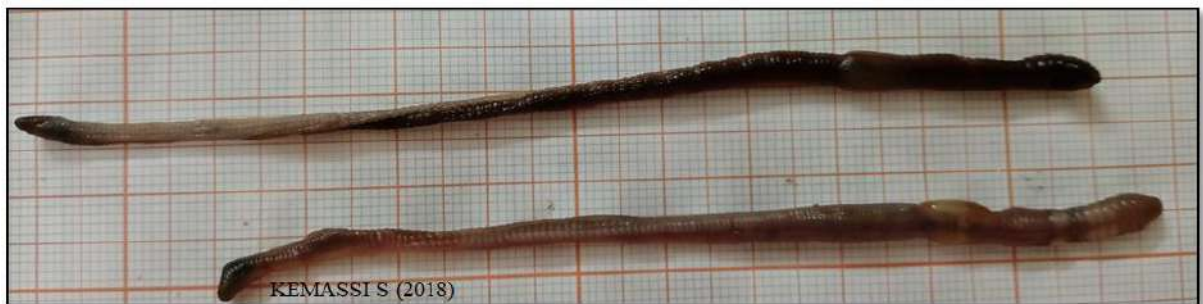


Photo 9. Aspect morphologique de l'espèce *Lumbricus terrestris*.



Photo 10. Aspect morphologique de l'espèce *Aporrectodea longa*.

3.5. Eau

L'eau utilisée pour l'humidification des substrats des essais provient de l'irrigation de la palmeraie de Bamrare. Les trois palmeraies d'étude sont irriguées par des forages de Miopliocène (DSA, 2019).

CHAPITRE III. Méthodes d'étude

1. Approche méthodologique

L'étude menée dans la cuvette de Ouargla vise à valoriser les déchets de palmiers par les vers de terre à travers la méthode de lombriculture. Cette dernière est considérée comme le pilier de l'agriculture biologique dans le monde et elle n'a jamais fait l'objet d'étude à Ouargla. Les études sur les lombrics sont rares, notre travail de magister reste précurseur (KEMASSI, 2015) et constitue une base préliminaire scientifique au travail de recherche actuel sur lombriculture à Ouargla.

Notre approche méthodologique consiste à déterminer les conditions environnementales favorables à lombriculture, par l'étude en premier lieu du comportement des lombrics vis-à-vis des contraintes hydro-édaphiques existantes à Ouargla et ensuite développer par expérimentation un procédé efficace de lombriculture pour le proposer en dispositifs à promouvoir dans la région de Ouargla. Nous avons subdivisé notre approche de recherche en trois étapes à savoir (Fig. 7):

A.Etape 01: Etude bioécologique des lombrics dans les sites d'échantillonnage à Ouargla.par:

- L'étude biométrique des lombrics.
- L'étude de l'environnement hydro-édaphique des lombrics;

B.Etape 02: Etude de l'impact des conditions environnementales sur lombriculture. Un pré-compostage de déchets de palmiers dattiers et du fumier de volailles a été réalisé préalablement afin de définir trois essais pour les études suivantes :

- La viabilité optimale des lombrics dans les rapports pré-compost de fumier/ type de sol;
- La méthode de lombriculture adaptée au milieu ;
- La densité des lombrics optimale pour lombriculture.

C.Etape 03: Proposition d'un modèle de lombriculture adapté à l'environnement de Ouargla.

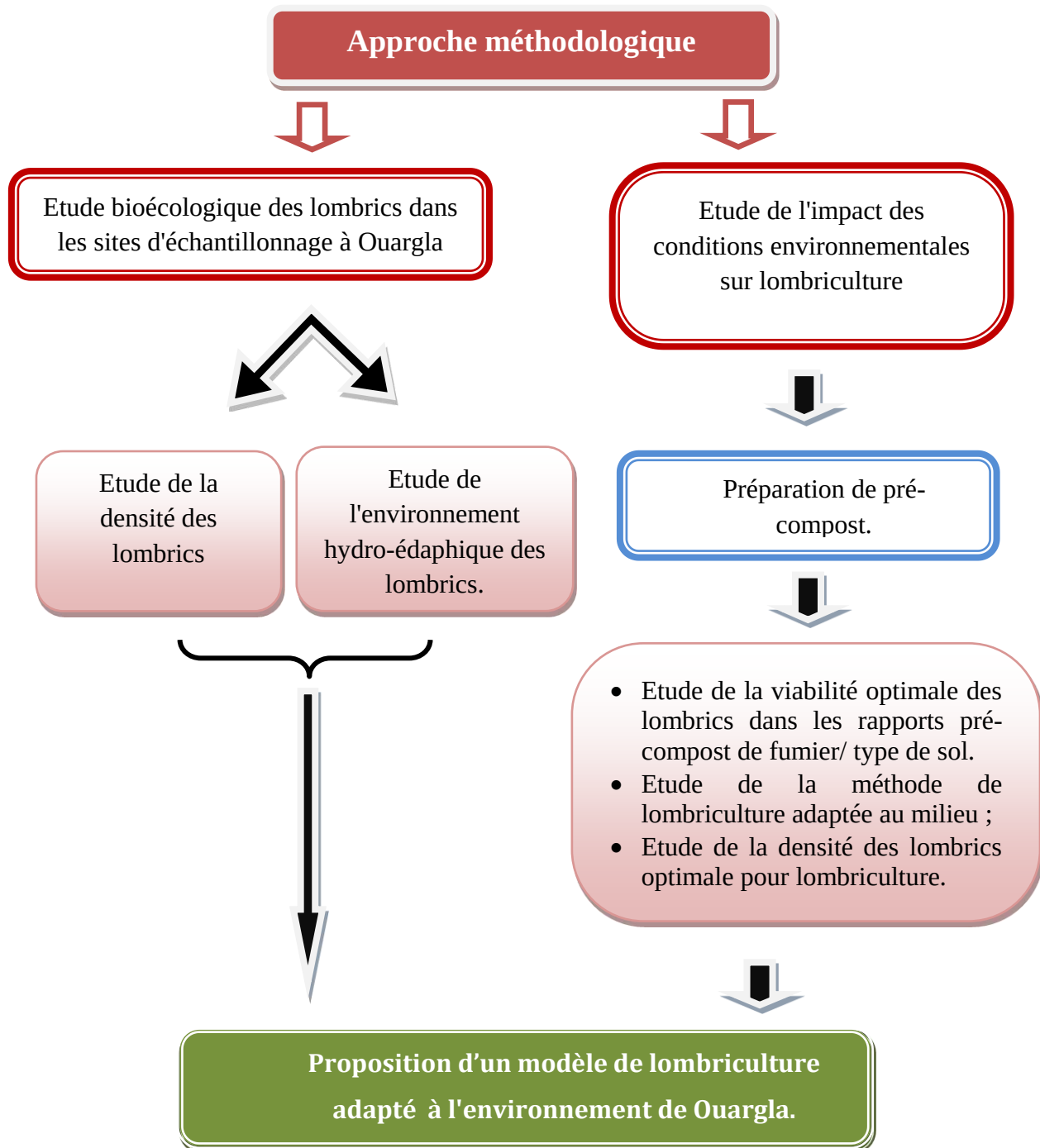


Figure 7. Approche méthodologique d'étude

2. Etude bioécologique des lombrics

2.1. Etude hydro-édaphique du milieu naturel des lombrics

L'étude hydro-édaphique du milieu de vie des lombrics se présente par collection et échantillonnage des lombrics et du sol, caractérisation de l'eau d'irrigation et le niveau de la nappe phréatique et ses propriétés physico-chimiques ainsi que du sol.

2.1.1. Collection et échantillonnage des lombrics

Nous avons déterminé par prospection sur terrain, la localisation des vers de terre afin de procéder à leur échantillonnage. Le choix de station d'échantillonnage se base sur la présence des turricules à la surface des planches d'irrigation. Les échantillonnages des lombrics ont été effectués en fonction des essais en trois fois dans trois palmeraies en hiver; période où les conditions de température et d'humidité dans le sol sont favorables à l'activité des lombrics à cette région. Les vers de terre sont principalement actifs en fin d'hiver et au début de printemps et en automne. Le sol doit être suffisamment humide et à une température d'environ 10°C (optimum de 12°C) (VIGOT et CLUZEAU, 2014). De ce fait, ces valeurs de température sont enregistrées entre le mois de décembre et de février (Tabl. 1). Mais selon PFIFFNER (2007), l'activité biologique de lombric est maximale, notamment la reproduction, en printemps (mars) et à l'automne (septembre). L'échantillonnage se fait par tri manuel au centre des planches d'irrigation. Cette méthode est recommandée par BACHELIER (1978) qui montre qu'elle est le meilleur procédé pour capturer des vers. Selon SELLAPATI et SAIL (1993), l'échantillonnage est effectué en tri manuel avec un échantillon de 25 cm x 25 cm x 40 cm de profondeur.

Concernant les vers utilisés en lombriculture, ils sont collectés aux premiers 20 cm de surface sous les turricules. HOUNDONUGBO et *al.* (2017), montrent que la collecte des vers est manuelle dans les 10 premiers centimètres de la vase suite à l'observation des turricules rejetés. Dans notre étude, nous avons effectué dans chaque site trois échantillonnages de 50 cm x 50 cm x 40 cm de profondeur (Photo.11); ceci chaque mois durant la période hivernale de l'année 2015-2016 sur deux sites (1 et 2) et en 2016-2017 sur un troisième site pour réaffirmer bio-statiquement les résultats. L'échantillonnage est effectué à 2 profondeurs de 0 - 20 cm et de 20 - 40 cm pour objectif de déterminer la zone d'activité des lombrics. La population des vers de terre est élevée quand la température est autour de 10- 12°C et diminue si elle est inférieure à 0 °C ou supérieure à 20 °C (VIGOT et CLUZEAU, 2014). D'après nos études on a trouvé que,

l'activité des lombrics s'accroît à la fin d'automne et au début d'hiver (KEMASSI, 2015).



Photo 11. Fosse d'échantillonnage des lombrics.

2.1.2. Caractérisation hydrique

2.1.2.1. Caractérisation hydrique de l'eau d'irrigation

L'analyse de l'eau a été réalisée au laboratoire d'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et d'Algérienne Des Eaux (ADE) de Ouargla. Les principaux paramètres mesurés sont le degré de salinité exprimé par la conductivité électrique (C.E), le pH, la charge saline (R.S), la sodicité (SAR) et le faciès chimique.

2.1.2.2. Etude de la nappe phréatique

L'étude de la nappe phréatique consiste à estimer le niveau, afin d'étudier l'effet de la nappe phréatique sur le mouvement des lombrics dans la palmeraie; nous avons creusé 3 trous à l'aide d'une tarière de 120 cm et en estimant à l'intérieur des planches d'irrigation la profondeur de la nappe phréatique dans trois palmeraies pendant l'hiver de décembre à février (Photo. 12).



Photo 12. Sondage des nappes et échantillonnage des eaux phréatiques.

2.2. Caractérisation édaphique

Pour caractériser le matériel pédologique utilisé, un échantillon représentatif du sol a été prélevé à deux profondeurs: de premier 20 cm et de 20 à 40 cm et pour chaque site 3 répétitions sont effectuées. Il a été séché à l'air libre et tamisé à 2 mm pour le caractériser physico-chimiquement (conductivité électrique, le pH) , biochimiquement (le taux de l'azote, de carbone et de la matière organique).

3. Etude de la densité des lombrics

L'étude de la densité des lombrics est une appréciation biométrique qui a porté sur le paramètre de niveau global, en utilisant l'indice de l'abondance ou le nombre d'individus par unité de surface (nb ind/m²).

4. Etude de l'impact de l'environnement sur lombriculture

Nous avons pré-composté préalablement les déchets afin de les utiliser comme un milieu de culture aux lombrics. Notre essai se présente en trois dispositifs; deux en conditions protégées (sous abri) et un en conditions naturelles (au planche d'irrigation). Pour tous les essais, les conditions de culture doivent être adéquates au culture des lombrics.

4.1. Préparation de pré-compost

Les amendements organiques utilisés sont broyés et imbibés dans l'eau, ceci comme suit :

➤Broyage de déchets

Les déchets végétaux collectés sont séchés et broyés en petits morceaux à l'aide d'un broyeur, ceci pour faciliter leur dégradation pendant la fermentation. Les vers de terre se nourrissent principalement des fragments de matériel végétal plus ou moins dégradés (PELOSI, 2008).

➤Trempage

Après le broyage des déchets de palmes, nous avons trempé ces derniers dans l'eau pendant une semaine (Photo. 13) pour faciliter leur dégradation et leur digestion par les lombrics. Selon JAMNI et *al.* (2018), les déchets de palmier broyés sont trempés dans des bassins de trempage avant le compostage.



Photo 13. Déchets de palmes trempés dans l'eau.

➤Fabrication de pré-compost

Le mélange préparé est de 4/5 volume déchets de palmier dattier (cornefs avec palmes) et 1/5 fiente de volaille, le mélange est homogénéisé puis il est conservé dans un sac en plastique perforé sous serre pendant 10 jours pour accélérer la dégradation de celui-ci (Photo. 14). ABUL-SOUD et *al.*, (2009) montrent qu'un pré-compostage de 7 à 10 jours a été effectué pour les déchets agricoles tels que le fumier animal différent, les coquilles d'arachide, la paille de

fèverole, la canopée des légumes, l'herbe coupée, les déchets de cuisine et le fumier frais pour éviter le stade thermophile du compostage qui pourrait causer la mort de vers de terre dans les systèmes de ver-micompost. Les substrats ont été conservés dans les lits pendant dix jours avant de mettre les vers dans la lombriculture (ROGAYAN *et al.*, 2010).

D'après l'étude de KEMASSI (2015) sur les déchets de palme montre que, ces substrats ne sont pas adéquats pour la lombriculture, ils nécessitent peut-être un pré-compostage pour favoriser leurs digestions par les lombrics. Nous avons choisi la méthode de compostage aérobique pour éviter la libération des substances qui peuvent être toxiques pour les lombrics.



Photo 14. Pré-compostage de déchets.

4.2. Installation des essais

Les conditions de milieu de culture dans les trois essais doivent être adéquates aux lombrics. Selon CHAOUI (2010), les vers peuvent survivre à des températures de 0°C à 35°C. Tandis que GAZEAU (2012) montre que, les vers de terre ont une croissance forte entre 15 et 30°C. Dans ce cadre, on soumet l'essai à des températures comprises entre 15 et 35 °C. L'humidité peut atteindre 75% (CHAOUI, 2010). Les vers de terre et la literie doivent avoir la même teneur en humidité entre 75 et 90 % (BACSUJLAKY et HEBERT, 2013).

Pour le pH, GAZEAU (2012) montre que, le pH doit être proche de 7. L'aération du bac des vers est nécessaire donc on a fait des trous dans chacun. Selon HENKEN et COCANOUGH (2007), il faut percer des trous de ventilation sur les côtés et le fond du récipient. Donc il faut couvrir les récipients par une moustiquaire pour éviter la fuite des lombrics. Dans chaque récipient, on met au moins 2 vers de terre pour assurer l'accouplement

des individus. Les vers de terre sont des hermaphrodites (HERGER et VETTER, 2003).

Enfin, On couvre tous les récipients lequel avec un tissu noir car les vers préfèrent l'obscurité. Selon CHAOUI (2010), Les vers de terre ont sur la peau des cellules photosensibles qui provoquent de la douleur lorsqu'elles sont exposées à la lumière, sauf la lumière bleue. Les rayons ultraviolets sont nocifs et les températures extrêmes peuvent souvent être mortelles pour les vers de terre (SHAMIM JAIRAJPURI ,1993).

D'après SENAPATI et *al.* (1999), les cultures ont été maintenues pendant 120 jours. HUSSAINI (2013), montre qu'un million de vers doublant tous les deux mois peut devenir 64 millions au bout d'un an. Selon HERCY (2011), le fumier de cheval, la capacité de reproduction du ver va doubler à peu près tous les cinq mois. Donc la durée de la culture des vers de terre est en fonction de type de nourriture, les conditions édapho-climatiques. BOUGHABA (2012) signale que, le nombre des cocons et l'effectif des vers est le plus élevé pendant le quatrième mois de culture. Donc la durée de lombriculture de notre essai est de 4 mois. Cependant selon les études de KEMASSI (2015), les vers de terre dans notre région nécessitent peut être une période de plus de 40 jours pour mieux dégrader les substrats et de les multiplier. De ce fait, la durée de nos essais est de 4 mois, on l'arrête avant la période estivale pour éviter l'attaque des lombrics par les fourmis.

4.3. Etude de la viabilité optimale des lombrics dans le rapport pré-compost de fumier/ type de sol

Cette étude vise à étudier le comportement de sensibilité des lombrics au mélange fumier avec déchets de palme et différents types de sol donc de choisir un milieu de culture adopté aux lombrics de la région de Ouargla notamment l'espèce *Aporrectodea longa* ceci pour assurer un bon développement.

Les milieux de culture sont des améliorations de l'essai de KEMASSI 2015 sur lombri-compost avec l'espèce *Lumbricus sp.*

Dans ce contexte, nous avons choisi d'effectuer l'essai dans des pots sous forme de cône tronqué dont leur dimensions rayon de la petite base, rayon de la grande base et hauteur sont 10 cm, 12 cm et 15 cm respectivement. Selon JULIA et PALIWAL (1993), les vers de terre peuvent être cultivés dans des pots en terre vernissée, des bacs en plastique ou même des caisses en bois; les bacs en plastique sont considérés comme avantageux car ils sont plus durables, plus légers et

pourraient facilement être disposés les uns sur les autres; la taille des conteneurs peut varier selon les besoins.

Pour cet essai, les traitements sont :

- T1: pré-compost de fumier de volaille/déchets de palme et sable de dune.
- T2: pré-compost de fumier de volaille/déchets de palme et sol de palmeraie.
- T3: pré-compost de déchets de palme et sable de dune.
- T4: pré-compost déchets de palme et sol de palmeraie.

Dont la composition de substrats est la suivante :

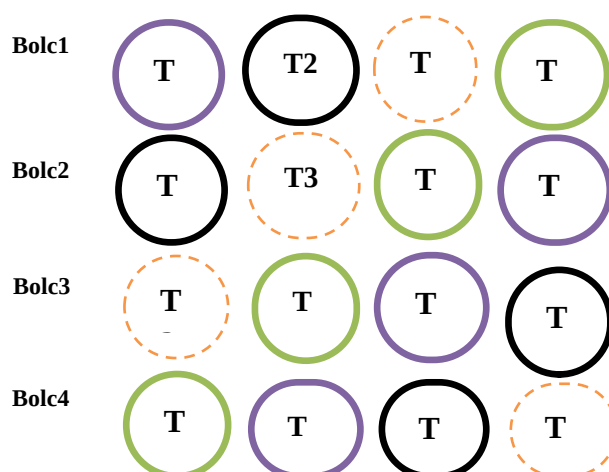
- T1: 1 volume du fumier de volaille + 1 volume de déchets de palme + sable de dune.
- T2: 1 volume du fumier de volaille + 1 volume de déchets de palme + sol de palmeraie.
- T3: 1 volume du fumier de volaille + 5 volumes de déchets de palme + sol de palmeraie.
- T4: 1 volume du fumier de volaille + 5 volumes de déchets de palme + sable de dune.

Dans ce contexte, nous avons utilisé les quatre types de substrats sous forme de mélange du pré-compost/sol pour déterminer le milieu où les lombrics peuvent survivre. Nous utilisons avec les traitements T1 et T4 le rapport pré-composts de fumier/sol (1/1), pour cela, on a utilisé le sable des dunes car il est squelettique, sa teneur en sable grossier est élevée et le taux des sels est faible par rapport au sol de palmeraie où nous utilisons le rapport pré-composts du fumier/sol (1/4) (Tabl. 2). Le rapport pré-composts de fumier/sol (1/4) est indiqué à l'étude de KEMASSI 2015.

Dans chaque récipient, on met 2.5 g de lombrics (environ 3-14 individus) et le substrat de culture (pré-compost/ sol) avec les rapports représentés dans le tableau III. Les traitements sont disposés en carré latin (Fig. 8). L'imbibition des substrats de culture s'est effectuée tous les 5 ou 7 jours selon l'humidité du substrat. ABUL-SOUD et *al.* (2009), montrent que le teneur de lombricompost en humidité est de l'ordre de 60 à 70% par arrosage, tous les 2 ou 3 jours pendant les journées chaudes et chaque semaine par temps froid.

Tableau 2.Rapport du pré-compost/sol pour l'essai de viabilité optimale.

Pré-composts de fumier/sol	Rapport
Pré-compost de fumier de volaille et déchets de palme / sable de dune (T1)	1/1
Pré-compost de fumier de volaille et déchets de palme / sol de palmeraie (T2)	1/4
Pré-compost de palmiers/ sol de palmeraie (T3)	1/4
Pré-compost de palmiers/ sable de dune (T4)	1/1

**Figure 8.** Dispositif expérimental de viabilité optimale.

Au cours de l'essai, nous avons effectué une caractérisation physico-chimique et chimique de lombricompost au début et en fin de l'essai, on a mesuré la conductivité électrique ($CE_{e1:5}$), le $pH_{e1:5}$, le carbone organique et l'azote total ainsi une caractérisation biométrique des lombrics est effectuée à savoir le nombre des individus, le taux de mortalité et le poids moyen des vers.

4.4. Choix des méthodes de lombriculture

Dans le cadre de cette étude, nous avons proposé trois méthodes de lombriculture de mono bac, afin de choisir la meilleure méthode. Nous avons proposé d'utiliser trois types de conteneurs en plastique trouées (pots, boîte et corbeille). BIERNBAUM (2015), montre qu'on peut utiliser des seaux, des barils, des boîtes et des sacs au système de lombricompostage. PIENAAR et PLESSIS (2007), la taille du bac dépend de la quantité de déchets. Tous les conteneurs sont couverts par des moustiquaires pour empêcher la fuite des lombrics. Le milieu de culture choisi est le substrat qui a donné le bon développement des lombrics à l'essai de

viabilité qui est pré-compost de palmiers/sol de palmeraie (T4). L'espèce utilisée dans cette essai est *Lumbricus terrestris*, il réagit mieux au milieu de culture (KEMASSI, 2015). Dans chaque traitement on met 800 g de substrat et 4 individus des lombrics adultes. Selon ADHIKARY (2012), la culture de 50 vers doit être introduite dans 10 kg de déchets organiques. L'essai est installé dans des conditions protégées durant 4 mois. Pour chaque traitement 4 répétitions sont effectuées (Photo. 15 ; Fig. 09); L'imbibition des substrats de culture s'effectue tous les 2 ou 4 jours pour les traitements de corbeilles et de boîte, ceci pour éviter leur dessèchement et tous les 5 ou 7 jours pour les pots.

Pour cet essai, les traitements sont :

- Tp**: Pot.
- Tc**: Corbeille.
- Tb**: Boite.

Nous avons effectué une caractérisation physico-chimique et chimique de milieu de culture au début et en fin d'essai, on a mesuré la conductivité électrique ($CE_{e1:5}$), le $pH_{e1:5}$, le carbone organique, l'azote total ainsi qu'une caractérisation biométrique des lombrics sont effectuées, qui consiste à observer l'impact de différentes méthodes de cultures sur la viabilité des lombrics pendant 4 mois; ceci à travers les paramètres qui sont le nombre des individus, le taux de mortalité et de natalité ainsi que le poids moyenne des vers.

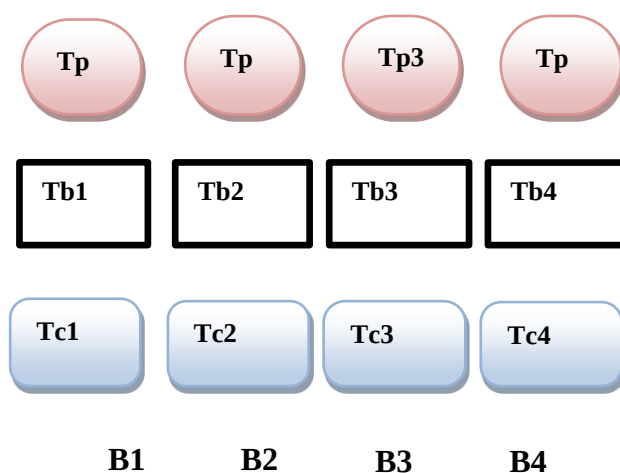


Figure 9. Dispositif expérimental des méthodes de lombriculture.



Photo 15. Essai des méthodes de lombriculture.

4.5. Choix de la densité des lombrics

L'étude de la densité des lombrics vise à déterminer le nombre des vers nécessaires au lombriculture. Pour cela, on a choisi la méthode de culture la plus fiable qui est la culture en pots, mais on les installe au planche d'irrigation pour améliorer les conditions de vie des lombrics. On propose de creuser une fosse dans le milieu de la planche d'irrigation de largeur, de longueur et de profondeur de 1 m, 1 m et 20 cm respectivement. Pour assurer la fixation des pots et les protéger contre les ravageurs des lombrics. Les unités expérimentales sont des pots installées dans une fosse creusée. Chaque pot est couvert d'une moustiquaire pour éviter la fuite des lombrics et on les remplit avec les substrats de culture. Les traitements sont disposés en blocs aléatoires complets (Photo. 16 ; Fig. 10). Chaque unité expérimentale contient 800 g de substrat de culture et des lombrics adultes de l'espèce *Lumbricus terrestris*; l'imbibition au cours de l'essai se fait par submersion une fois par semaine ; c'est la méthode d'irrigation dans la palmeraie traditionnelle. Pour cet essai, les traitements sont:

- T2 : 2 individus/pot.
- T3 : 3 individus/pot.
- T4 : 4 individus/pot.

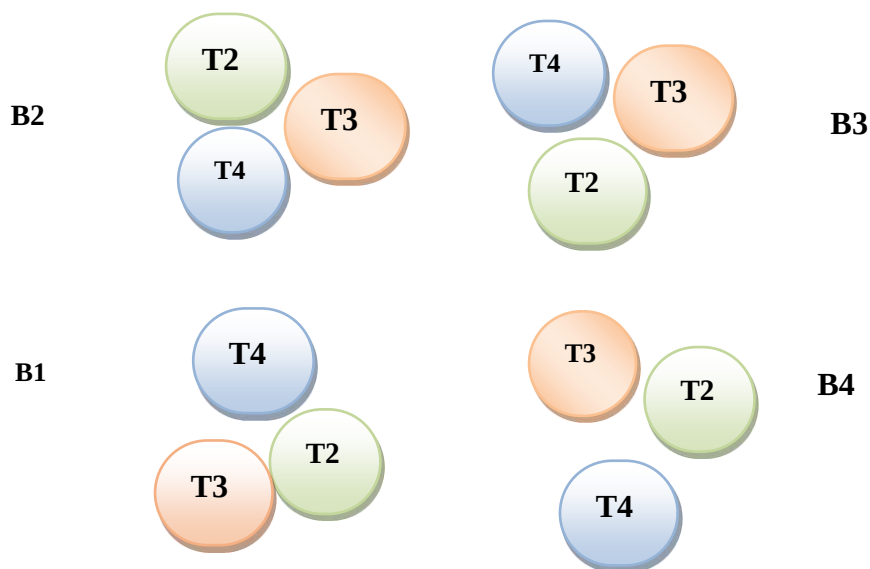


Figure 10. Dispositif expérimental de l'essai de densité des lombrics



Photo 16. Essai de densité des lombrics.

Au cours de cet essai, nous avons mesuré la salinité en conductivité électrique $CE.e_{1:5}$, le $pH.e_{1:5}$, le taux de la matière et de carbone organique ainsi que l'azote total de différents substrats de culture. Toutes les mesures sont effectuées au début et en fin de l'essai, cela après un séchage des substrats à l'air libre. Concernant l'étude biométrique des lombrics, elle consiste à observer l'impact de différentes densités sur la viabilité des lombrics. Cela est effectué par la

détermination du taux de mortalité, le nombre des vers et des cocons ainsi que le poids moyen des lombrics.

5. Méthodes d'analyse

Nous allons présenter dans cette partie les méthodes de différentes analyses effectuées sur les eaux et les sols.

5.1. Méthodes d'analyse des eaux

Ces analyses ont été effectuées dans le laboratoire de l'Algérienne des eaux ADE de la wilaya de Ouargla. Les méthodes d'analyse utilisées sont d'après RODIER *et al* (2005):

5.1.1. Degré de salinité:

Permet de mesurer la conductivité (C.E) à 25°C. Il a été déterminé selon les protocoles de l'AFNOR (° NF T 90- 008 et NF EN 27888) en utilisant un conductimètre.

5.1.2. pH : mesuré au pH mètre.

5.1.3. Charge saline :

Elle est estimée par la détermination par le résidu sec (R.S) représente le poids de sels solubles par litre d'eau, séché à 110° C.

5.1.4. Faciès chimique:

Le faciès chimique est déterminé par le bilan ionique cationique (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) et anionique (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}) et il est présentée dans le diagramme de PIPER.

5.1.4.1. Bilan cationique

Pour Mg^{2+} et Ca^{2+} , on a utilisé la méthode de titrage molaire des ions de calcium et de magnésium avec une solution de sel désodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à pH 10. Le noir ériochrome qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur. Pour les cations (Na^+ , K^+) : les dosages sont réalisés par spectrophotomètre d'émission atomique (photomètre à flamme).

5.1.4.2. Bilan anionique

a. Dosage du chlorure

La méthode magnétométrique de MOHR est représentée ici : le chlore est dosé par titrimétrie, il est précipité par du nitrate d'argent en présence de chromate de potassium K_2CrO_4 qui a été ajouté comme indicateur. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge de chromate d'argent.

b. Dosage des carbonates et bicarbonates

Cela consiste à la détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH = 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC). En présence d'indicateurs, la fin de la réaction est indiquée par un changement de couleur, soit un virage.

c. Dosage des sulfates

Les sulfates sont dosés par la méthode gravimétrique au $BaCl_2$ qui consiste à précipiter les ions SO_4^{2-} sous forme de sulfate de Baryum ($BaSO_4$) en présence de $BaCl_2$ à 10%.

5.2. Méthodes d'analyses du sol et de substrats de culture

Les analyses des sols et des substrats utilisées sont les suivants :

5.2.1.pH e._{1:5}

La mesure est effectuée avec un pH mètre avec un rapport sol/eau (1/5) (MATHIEU et PIELTAIN, 2009). La détermination de pH a pour objectif de corriger sa valeur selon l'exigence de vers de terre.

5.2.2. Conductivité électrique :

La C.E (25°C) du sol a été mesurée par un conductimètre, l'extrait du sol d'un rapport : 1/5 de sol /eau (MATHIEU et PIELTAIN, 2009).

5.2.3. Dosage de l'azote total

Le dosage de l'azote total est effectué par la méthode KJELDAHL qui comprend deux étapes : la digestion du sol par l'acide concentré et des catalyseurs mixtes. Enfin, la distillation de solution digérée et l'estimation de l'azote (AUBERT, 1978).

5.2.4. Dosage du carbone organique et de la matière organique

5.2.4.1. Méthode ANNE (1945)

On a fait le dosage de carbone organique dans le sol par la méthode ANNE (1945), la méthode consiste à oxyder à chaud le carbone de la matière organique contenu dans l'échantillon de sol dans des conditions définies. Par cette méthode, on peut aussi déterminer le taux de la matière organique (AUBERT, 1978).

5.2.4.2. Méthode de calcination

La teneur en matière organique totale dans le substrat de culture a été déterminée par la perte en masse lors de la calcination de l'échantillon à 450°C durant 4 heures. Le Carbone organique est calculé directement après la détermination des résultats de la matière organique.

5.2.5. Dosage du calcaire total

Le dosage du calcaire total est réalisé par la méthode du calcimètre de BERNARD (MATHIEU et PIELTAIN, 2009). Ce dosage est fondé sur la réaction caractéristique du carbonate de calcium au contact de l'acide chlorhydrique.

6. Analyse des résultats

La classification des eaux d'irrigation a été faite par le logiciel de Diagramme. L'analyse bio-statistique a été faite à l'aide du logiciel "Xlstat". Les analyses pour les données des dispositifs expérimentaux testés sont faites par une analyse de variance (ANOVA), suivis du test Tukey (HSD). Des corrélations ont été testées entre les différentes variables mesurées pour expliquer la relation entre les facteurs abiotique et l'abondance ainsi que la biomasse des lombrics dans le sol des différentes palmeraies et dans le lombricompost.

Troisième partie : Résultats et discussion

Chapitre IV. Etude bioécologique des lombrics

1. Introduction

L'étude bioécologique des lombrics a pour objectif de présenter l'environnement hydro-édaphique des vers de terre par l'étude de la qualité des eaux d'irrigation dans les différents stations d'échantillonnages, l'étude de la nappe phréatique et l'étude du milieu édaphique où les lombrics sont présents. Egalement, mettre en relation l'abondance des lombrics avec les facteurs abiotiques environnementaux.

2. Caractérisation hydrique

2.1. Caractérisation des eaux d'irrigation

Les analyses des eaux d'irrigation des palmeraies étudiées Bamrare, Mehsane et Balla (Tabl. 3) montrent que la CE_e varie entre 4,62 et 5,76 $dS.m^{-1}$ avec une charge saline de 3408 $mg.l^{-1}$ à 3694 $mg.l^{-1}$. Ces eaux sont très fortement à excessivement salées (Fig. 12 ; Annexe 30) où l'eau de la palmeraie de Balla est la plus chargée en sel. Les vers de terre sont très sensibles à l'excès de salinité (FLAEF- SARL, 2016 ; CHAOUI, 2010). Dans ces conditions la salinité des eaux des palmeraies semblent défavorables au développement des lombrics et présentent un risque de salinisation des sols.

Le pH des eaux d'irrigation varie entre 7,61 et 8,25 (Fig. 11), il est basique dans les trois sites (Annexe 32). Le pH des eaux de la palmeraie de Balla est le moins alcalin. Généralement, les pH enregistrés restent adéquat, au développement des lombrics. Il est connu que les vers de terre préfèrent un pH de 7 à 8, mais ils peuvent bien survivre dans un milieu ayant un pH allant de 5 à 9 (FLA E F- SARL, 2016). Il y a des espèces acidophiles, des espèces basophiles et des espèces ubiquistes ou indifférentes, mais de nombreux facteurs interfèrent avec le pH dans la distribution des vers de terre telle que la déficience en ions calcium (BACHELIER, 1978). Les ions de Ca^{++} contribuent à l'augmentation du pH du sol (MOORE et *al.*, 2009).

Les eaux présentent une sodicité faible avec un risque d'alcalinisation de sol faible. Le SAR varie entre 1,43 et 2,43. Il atteint sa valeur maximale dans la palmeraie de Balla (Fig.13 ; Annexe 27).

Les eaux de palmeraies appartiennent à la classe C5-S1 pour Bala et C4-S1 pour les

palmeraies de Bamrare et de Mehsane. Cela montre que les eaux présentent un fort risque de salinisation des sols, susceptible de gêner le développement des vers de terre.

Tableau 3.Caractérisations des 'eaux d'irrigation dans les sites d'étude

Paramètres		Palmeraie Ksar- Bamrare	Palmeraie Ksar-Mehsane	Palmeraie Beni Tour- Balla
PH		8,12	8,25	7,61
CE à 25°C (dS.m ⁻¹)		4,62	4,89	5,76
Résidu sec (mg.l ⁻¹)		3408	3694	3408
Cations (meq.l ⁻¹)	Mg ⁺⁺	15,79	16,35	12,15
	Ca ⁺⁺	14,13	14,5	16,73
	Na ⁺	15,65	16,09	26,09
	K ⁺	0,69	0,69	0,77
Faciès cationique		Mg. Na. Ca	Mg. Na. Ca	Na. Ca. Mg
Anions (meq.l ⁻¹)	Cl ⁻	25,35	25,69	37,23
	SO ₄ ²⁻	21,61	22,90	17,70
	NO ₃ ⁻	0	0,04	0
	HCO ₃ ⁻	3,05	3,20	1,82
Faciès anionique		Cl. S	Cl. S	Cl. S
Faciès équilibré (E)		Cl.Mg.Na.Ca	Cl.Mg.Na.Ca	Cl.Na. Ca. Mg
SAR		1,43	1,44	2,43
Classe		C4-S1	C4-S1	C5-S1

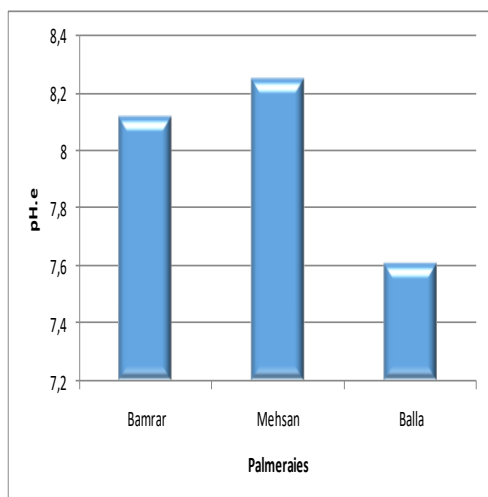


Figure 11. pH des eaux d'irrigation

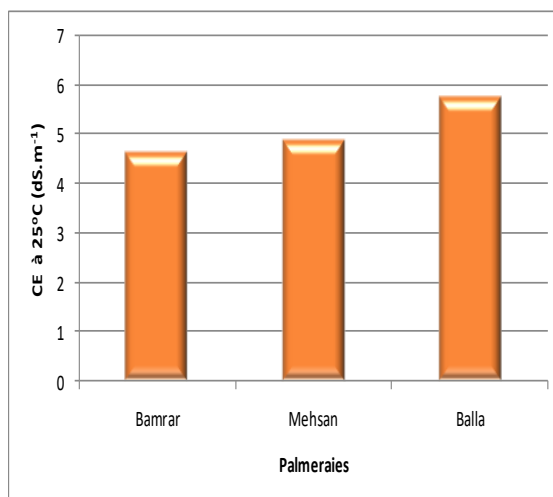


Figure 12. Salinité des eaux d'irrigation

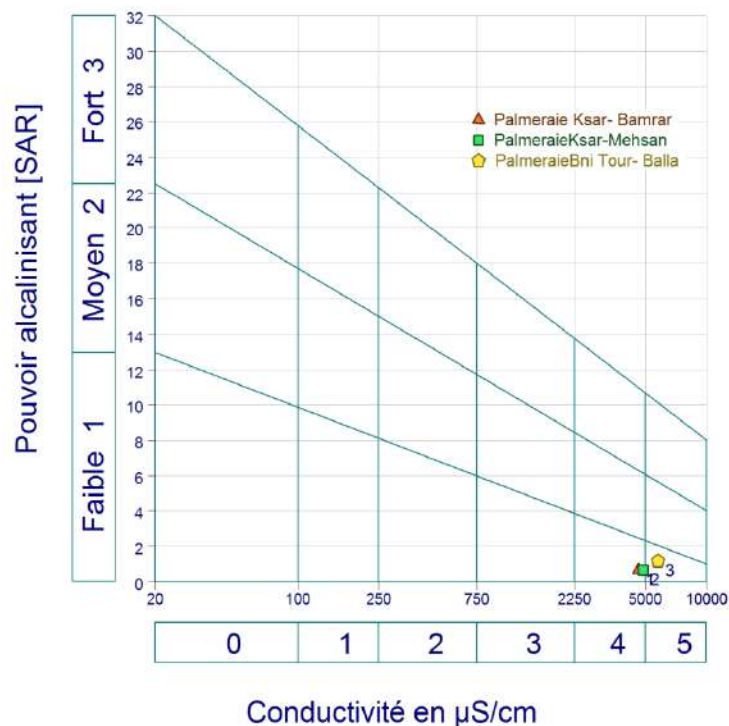


Figure 13. Classifications des eaux d’irrigation sur le diagramme de RIVERSIDE modifié par Durant.

Le faciès chimique anionique des eaux est de dominance chloruré. Alors que, le faciès chimique cationique est équilibré avec une légère différence entre les eaux des palmeraies. Il est magnésique- sodique-calcique pour les palmeraies de Bamrare et de Mehane et sodique-calcique magnésique pour la palmeraie de Balla (Fig. 14). On constate que, les teneurs en chlore et en sodium présente un risque de toxicité pour les vers de terre. Toutefois, le teneur en Ca et Mg contribue au bon développement des lombrics. L’apport d’oxyde de calcium et/ou de magnésium favorise la présence de nombreux et divers lombriciens (CAPITAL SOL, 2005).

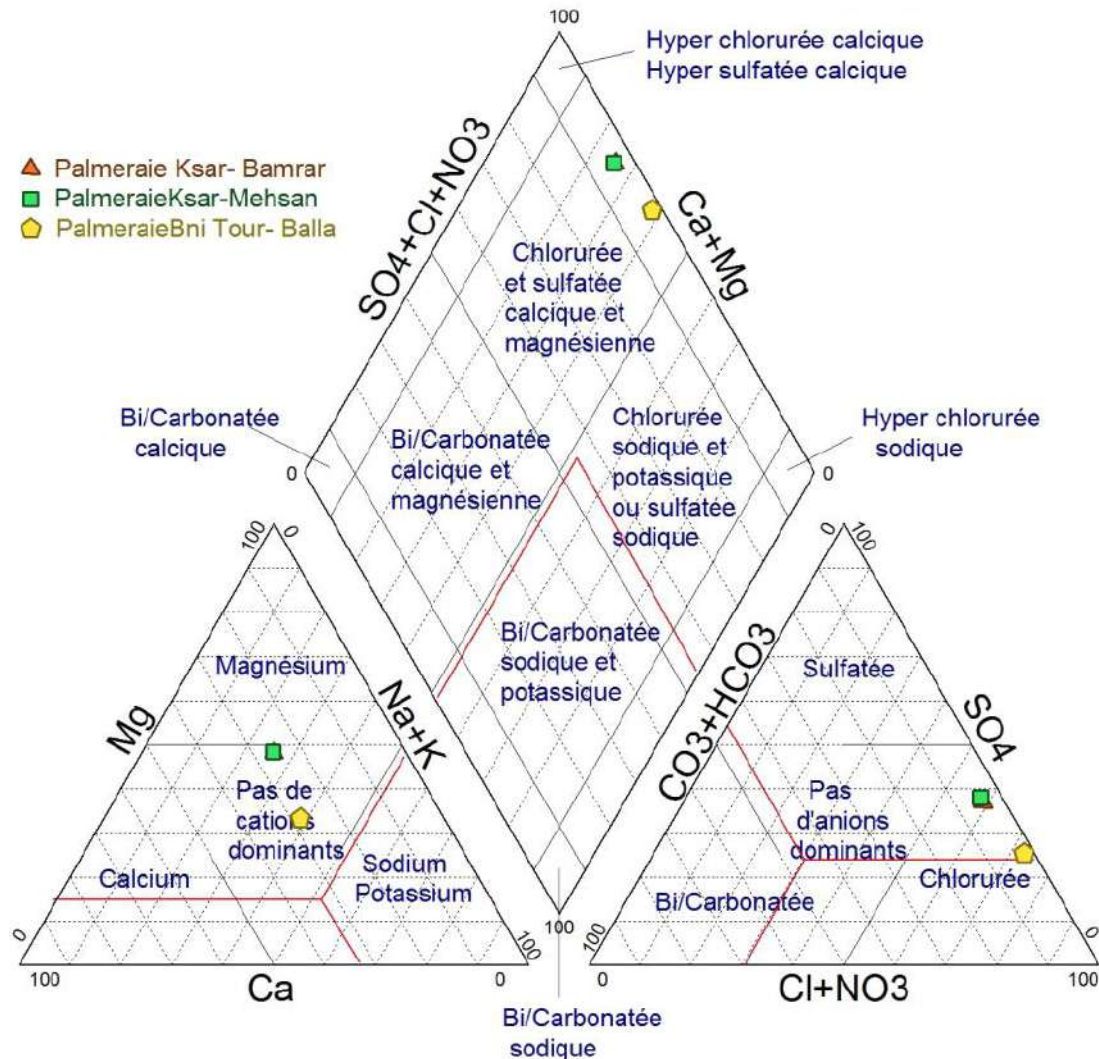


Figure 14. Représentation des eaux d'irrigation sur le diagramme de Piper

Ce type de faciès d'eaux peut être toxique en chlore, d'après l'étude d'OWOJORI et *al.* (2009), le sel de NaCl a un effet négatif sur la reproduction et la croissance des lombrics. D'après l'étude de KEMASSI (2015), les lombrics présents dans les palmeraies du Ksar notamment la palmeraie Bamrare et Mehsane. On constate que, les vers sont adaptés avec ces conditions halomorphes.

2.2. Etude de la nappe phréatique

2.2.1. Niveau des eaux phréatiques

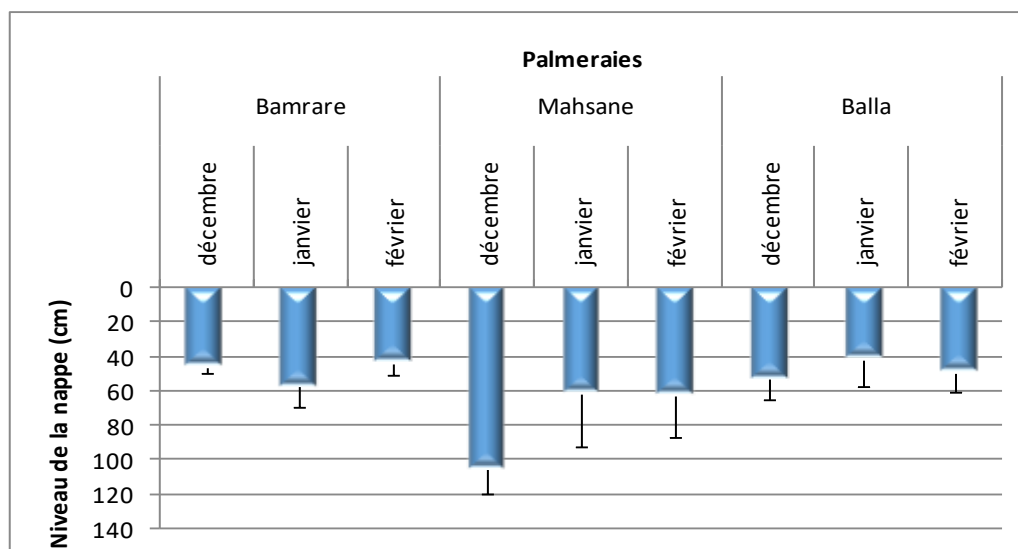


Figure 15. Variations du niveau de la nappe phréatique dans les palmeraies d'études

Le niveau de la nappe phréatique est superficiel dans les palmeraies en période hivernale 2015-2016 à Bamrare et Mahsane ainsi qu'en 2016-2017 à Bala, oscillant entre $41,47 \pm 16,07$ cm et 105 ± 15 cm (Fig. 15). Le niveau des eaux phréatiques dans les palmeraies fluctue entre décembre et février à cause de l'irrigation-drainage. La palmeraie de Mahsane présente une nappe plus profonde par rapport aux autres palmeraies. Cependant, nous avons enregistré en février à Bala le niveau phréatique le plus faible. Selon la classification de DADDI BOUHOUN (2010), le niveau de cette nappe dans les palmeraies étudiées est superficiel ce qui engendre un état d'hydromorphie dans les sols ce qui est néfaste pour l'équilibre environnement des palmeraies.

Notre constat confirme d'autres observations antérieures de recherches. Ces dernières ont constatée que la profondeur de la nappe phréatique au niveau des anciennes palmeraies du Ksar et Beni tour varie entre 0,5 et 1,5 m. Dans les zones les plus basses de la cuvette de Ouargla, elle se trouve pratiquement à fleur de sol (IDDER et *al.*, 2014 ; DADDI BOUHOUN, 2010).

En présence d'hydromorphie, l'oxygène devient rare ce qui incite les vers de terre à fuir la zone de saturation en eau. Les vers de terre n'aiment pas les sols mal aérés, compactés et inondés (PFIFFNER, 2013). Par contre, les milieux bien aérés sont plus favorables aux vers de terre que les milieux réducteurs (BACHELIER, 1978). Les lombrics sont abondants dans les sols

à bonne capacité de rétention en eau (VIGOT et CLUZEAU, 2014).

Généralement, la sensibilité des vers à l'eau varie en fonction de l'espèce. *Dendrobaena subrubicunda*, *Lumbricus rubellus* et *L. terrestris* préfèrent un sol simplement humide à un sol saturé. *Allolobophora caliginosa*, *A. clilorotica* et *A. longa* préfèrent le sol saturé; ils peuvent survivre 31 à 50 semaines dans un sol submergé, pour autant que l'eau soit aérée (ROOTS, 1956 in BACHELIER, 1971). Les vers peuvent vivre un certain temps en anaérobiose, accumulant des acides qu'ils oxydent ensuite rapidement quand ils disposent à nouveau d'oxygène (AWL, 1959 in BACHELIER, 1971). Effectivement, on a trouvé dans notre étude précédente au Ksar que les espèces *Lumbricus rubellus* et *L. terrestris* sont présents dans les planches d'irrigation hebdomadaires et *Allolobophora longas* ont présente dans les planches de fréquence d'irrigation journalières (KEMASSI, 2015).

On constate que l'hydromorphie des sols augmente au contact des nappes phréatiques. Ces conditions favorisent la remonté des lombrics vers la surface des sols des palmeraies d'étude pour se concentrer dans la couche 0-20 cm du profil.

De ce fait, il est recommandé d'éviter les sols hydromorphes dans l'installation de lombriculture à Ouargla et de limiter la profondeur des dispositifs de lombriculture à 20 cm tout en assurant un bon drainage pour éviter l'asphyxie des lombrics.

2.2.2. Caractérisation physico-chimique des eaux phréatiques

L'étude montre que, les eaux phréatiques sont excessivement chargées en sels. La C.E.n est comprise entre $6.34 \pm 0,12 \text{ dS.m}^{-1}$ et $7.05 \pm 0,2 \text{ dS.m}^{-1}$ (Fig .16). La salinité des eaux est plus élevée dans la palmeraie de Bala qu'à Mahsane et Bamrare.

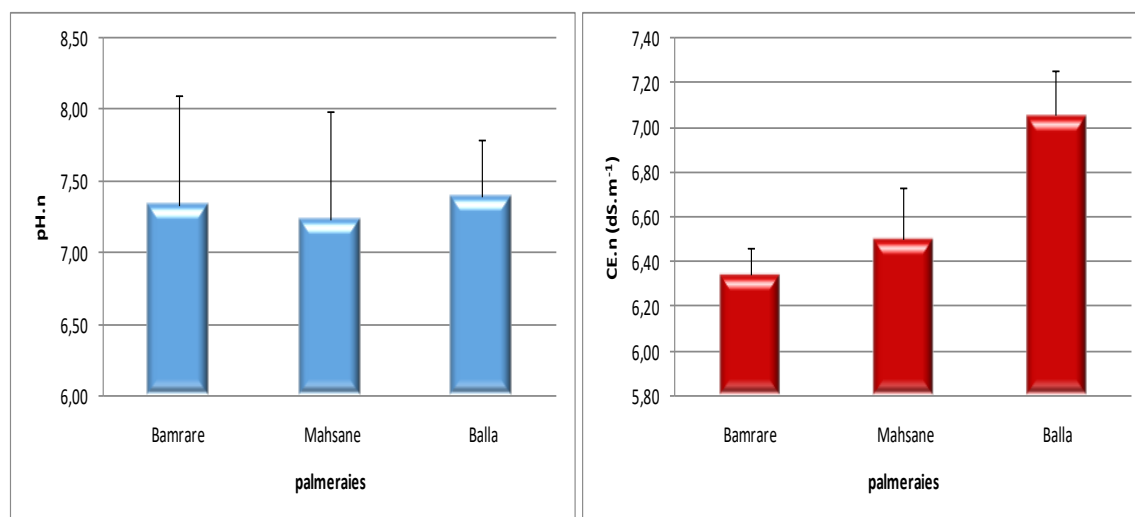


Figure 16. pH et salinité des eaux phréatiques dans les palmeraies.

La salinité des eaux phréatiques superficielles favorise la salinisation des sols dans les palmeraies. Ces conditions d'hydro-halomorphies peuvent favoriser la fuite des lombrics vers la surface du sol, car le sel est fatal pour les vers de terre. Selon BYAMBAS *et al.*, (2017) où il a constaté que, la salinité a un effet destructeur sur leurs peaux. Une salinité élevée ($> 0,2\%$) peut entraîner une déshydratation cellulaire due à un déséquilibre de la pression osmotique (WU *et al.*, 2019). Ces conditions empêchent la vie des lombrics et leur reproduction dans les couches profondes.

Le pH des eaux phréatiques est neutre dans toutes les zones d'études (Annexe 32). Il varie peu entre les palmeraies, oscillant entre $7,23 \pm 0,76$ et $7,4 \pm 0,39$ (Fig .16). Ce pH_n n'a aucun effet négatif sur l'abondance et la reproduction des lombrics dans la région d'étude. Il est idéal pour les vers de terre. Selon CLUZEAU *et al.* (2011), les vers de terre préfèrent les milieux aux valeurs de pH non extrêmes (deux bornes : pH = 4,4 et 11).

3.Caractérisation édaphique

Les résultats de la caractérisation édaphique montre que, la texture du sol dans les palmeraies d'étude est sableuse. Le sable fin domine dans toutes les couches suivi par le sable grossier (Tabl. 4). CLUZEAU *et al.*, (2011) De nombreux facteurs influencent le développement des lombriciens où les conditions pédoclimatiques ont une importance majeure : la texture, la profondeur du sol, les caractéristiques physico-chimiques et le climat.

Les études montrent que les vers de terre évitent les sols sableux et les graviers, ils sont peu nombreux dans les sols lourds et mal drainés (BACHELIER, 1971 ; VIGOT et CLUZEAU, 2014). Les vers sont plus abondants dans les sols limoneux, argilo-limoneux et argilo-sableux que dans les sables, les graviers et les argiles (BACHELIER, 1978). Le sable est plus abrasif pour le tube digestif des vers et la taille de certaines particules ne permet pas à certaines espèces de s'alimenter correctement, une texture mixte qui semble être la plus favorable au développement des vers (CLUZEAU et al., 2011). La densité de ses derniers augmente dans les sols équilibrés limoneux et argilo-limoneux (VIGOT et CLUZEAU, 2014). En revanche BAZRI et al. (2013) montrent que les lombriciens s'adaptent aux différents types de sol. Cela se confirme par la présence des lombrics dans les sols sableux des palmeraies de Ksar Ouargla (KEMASSI, 2015 ; TALBI, 2016). La présence des lombrics dans cette région d'étude saharienne indique une bonne adaptation aux conditions édaphiques sableuses.

Le pH des différentes couches du sol est neutre à alcalin et varie de 7,47 à 8,20 (Tabl. 4). Il est légèrement alcalin dans les palmeraies de Bamrare et Mehsane et moyennement alcalin à Balla. Il y a une faible variation de pH en profondeur du sol (Fig. 17). Les études montrent un comportement variable des lombrics vis-à-vis du pH du sol. Les lombriciens sont adaptés au pH de sol (BAZRI et al., 2013). Selon l'étude de LUNT et JACOBSON. (1972 in CLUZEAU et al., 2011), le pH de déjection des lombrics est de 7. BYAMBAS et al. (2017) montrent que le pH du sol dans lequel se trouvent les vers de terre doit varier entre 6,4 et 7,0. Cependant, HAMADOUCHE (2015) trouve que les lombrics vifs à des pH très alcalins. Les espèces de lombrics présentent des tolérances variables au pH. D'après l'étude de JEANSON (1961 in BACHELIER, 1978) qu' *Allolobophora icterica* Sav, récoltée dans un sol à pH de 7, et tolèrent des pH de 4,2 à 8 en laboratoire. Les vers de terre préfèrent les milieux où le pH non extrêmes entre 4,4 - 11 (CLUZEAU et al., 2011 ; VIGOT et CLUZEAU, 2014). Les espèces *Lombricus rubellus*, *L. terrestris* sont des ubiquistes que *Allolobophora longa* est intolérant à l'acide (SATCHELL, 1955 in BACHELIER, 1978). Les espèces *Lombricus rubellus*, *L. terrestris*, *Aporrectodea longa* et *Allolobophora icterica* s'adaptent bien au pH du sol des palmeraies du Ksar de Ouargla (KEMASSI, 2015). En définitive, et d'après les différentes recherches, le pH du sol de la région d'étude est adéquat et ne présente aucune menace pour l'activité et la reproduction des lombrics.

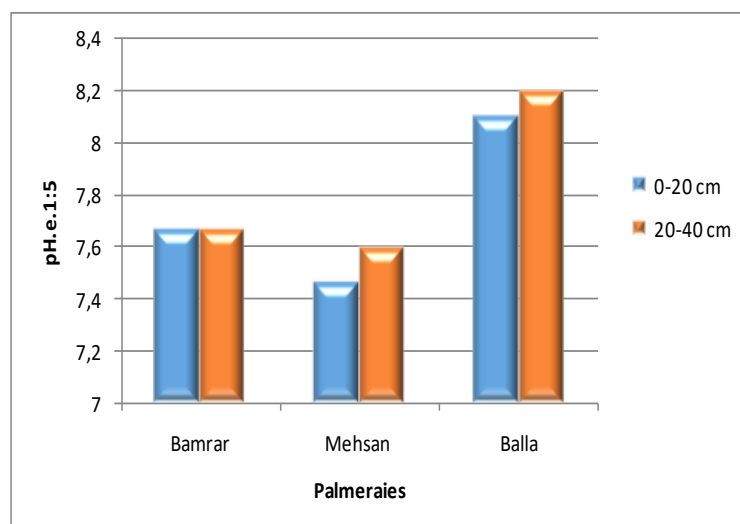
Figure 17. pH_{e1:5} dans les palmeraies.

Tableau 17. Caractérisation des sols des palmeraies

Paramètres		Sol palmeraie Ksar-Bamrare		Sol palmeraie Ksar-Mehsane		Sol palmeraie Beni Tour- Balla	
		couche 1	couche 2	couche 1	couche 2	couche 1	couche 2
Profondeur (cm)		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
pH _{e1:5}		7,67	7,67	7,47	7,60	8.1	8.2
C.E. _{e1:5} à 25°C (dS.m ⁻¹)		3,22	1,57	4,58	2,35	0.5	0.45
Granulométrie (%)	Sable grossier	20	22	42	32	0	0
	Sable fin	72	58	44	56	100	100
	Argile +Limon	8	18	14	12	0	0
Matière organique (%)		2,64	2,12	5,29	2,12	2,42	1,40
Carbone organique (%)		1,54	1,23	3,08	1,23	1,4	0,90
Azote total (%)		0,14	0,45	0,09	0,09	0,08	0,06
C/N		11	2,73	34,22	13,67	17,5	15
Calcaire total (%)		3,22	1,57	4,58	2,35	1.99	1,42

La salinité du sol varie entre 0,45 dS.m⁻¹ et 4,58 dS.m⁻¹ (Fig. 18). Le sol de la palmeraie de Balla est non salé et de conductivité électrique peu variable en profondeur. Toutefois, les sols des palmeraies de Mehane et Bamrare présentent une dynamique ascendante en sels. Le sol est très salé en surface et salé en profondeur (Annexe 33). Toutefois, la palmeraie Mehane a

enregistré une salinité plus élevée par rapport aux autres palmeraies, oscillant entre $4,58 \text{ dS.m}^{-1}$ en surface et $2,35 \text{ dS.m}^{-1}$ en profondeur. Les vers de terre sont repoussés par une salinité supérieure à 5 mg/g (CHAOUÏ, 2010). La présence des lombrics dans les sols de la région de Ouargla indique leur adaptation aux conditions d'halomorphies (KEMASSI, 2015).

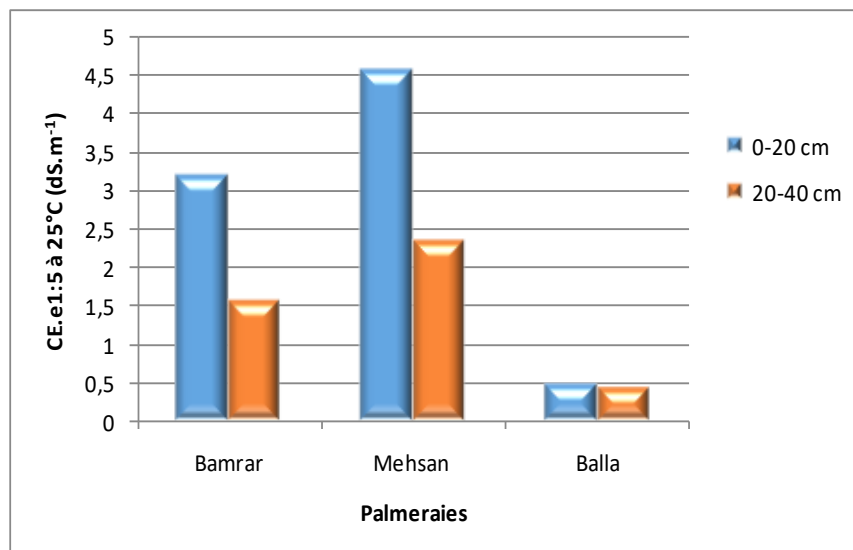


Figure 18. Salinité dans les palmeraies.

Le taux de la matière organique dans les sols de palmeraies varie entre 1,4 % et 5,29%, montrant une accumulation organique en surface (Tabl. 4). Les sols de Bamrare présentent une teneur moyennement riche dans l'ensemble du profil. En palmeraie de Mehsane la teneur organique augmente, la couche superficielle du sol devient très riche. Par contre, les teneurs organiques deviennent faibles en profondeur du sol de Balla (Annexe 29). Les teneurs élevés de matière organique en surface constituent un milieu favorable au développement des lombrics. Selon VIGOT et CLUZEAU (2014), les population des vers de terre sont élevées dans les sols riches en matière organique.

Le taux d'azote dans les différentes couches du sol varie entre 0,06 % et 0,45 % (Tabl. 4). Les sols des palmeraies de Mehsane et de Balla présentent des teneurs faibles en azote. Ce dernier augmente en sol de Bamrare avec une teneur moyennement riche en surface et très riche en profondeur. En générale, la teneur en azote diminue en profondeur dans toutes les palmeraies avec la diminution de la matière organique et où les conditions d'hydromorphie ne favorisent pas le développement des lombrics. L'activité de ces derniers contribue à l'enrichissement du sol en azote car d'après PFIFFNER (2013), les déjections des vers de terre contiennent en moyenne 5 fois plus d'azote que la terre environnante.

Pour le taux de calcaire, les valeurs varient entre 1,42 % et 4,58 % (Tabl. 4). Les sols des trois palmeraies sont peu calcaires avec une tendance d'accumulation en surface (Annexe 26). La palmeraie de Mehsane enregistre les plus hautes valeurs, comprise entre 4,58% et 2,35 %. Le calcaire, le nitrate de calcium sont favorables aux vers (BACHELIER, 1978). HAMADOUCHE (2015) montre que, les lombrics se trouvent même dans des sols fortement calcaires.

Ce qui concerne le rapport C/N, sa valeur varie entre 2,73 et 34,22 (Tabl. 4). Il montre une faible décomposition de la matière organique (MO) dans les couches superficielles des sols des palmeraies de Mehsane et Balla par rapport aux couches profondes; et une bonne décomposition de la MO dans la couche superficielle de la palmeraie de Bamrare (Annexe 28). Les conditions d'hydro-halophilie à Ouargla limitent la décomposition de la matière organique. D'après l'étude de LUNT et JACOBSON (1972 in CLUZEAU *et al.*, 2011), le rapport C/N dans la déjection des vers de terre est de 14,7 et de 13,8 dans les sols voisins.

4. Variation des paramètres physico-chimiques

L'étude de la variation physico-chimique des sols dans les différentes palmeraies étudiées montrent que, le pH et la CE varient au cours de la période hivernale d'échantillonnage.

4.1.pH du sol

Les valeurs de $pH_{e.1:5}$ varient entre $7,97 \pm 0,06$ et $8,57 \pm 0,1$ (Fig .19). Le sol est légèrement à fortement alcalin pendant toute la période d'échantillonnage. Le pH varie en période hivernale dans les différentes couches de sols de palmeraies. Les valeurs de pH les plus élevées sont enregistrées dans les palmeraies de Balla et Mehsane. Nous observons en générale que le pH du sol dans les trois palmeraies d'étude, est plus au moins élevé en surface par rapport à la profondeur.

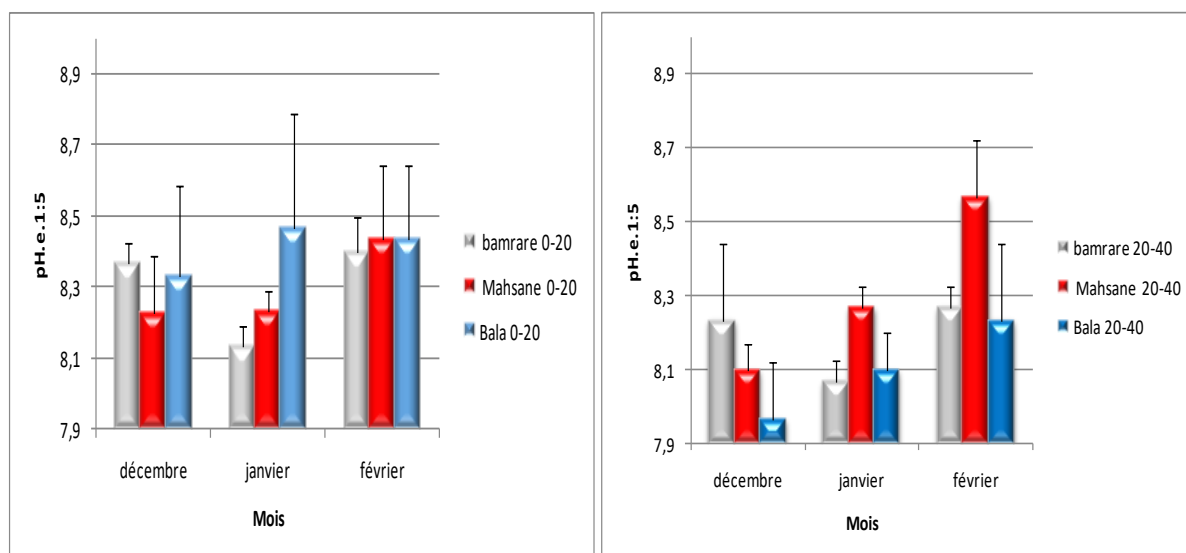


Figure 19. Evolution du pH_{e.1:5} moyens dans les couches des sols.

L'analyse de la variance effectuée entre le facteur palmeraie et le facteur temps et couche du sol sur le pH, n'a montré aucune variation significative entre les palmeraies d'étude $F = 0.771$ et $Pr = 0.026$, et une variation hautement significative enregistrée avec le temps $F = 8.262$ et $Pr = 0.001$. Une variation de pH hautement significative enregistrée entre les couches du sol $F = 10.516$ et $Pr = 0.002$ (Annexe 2).

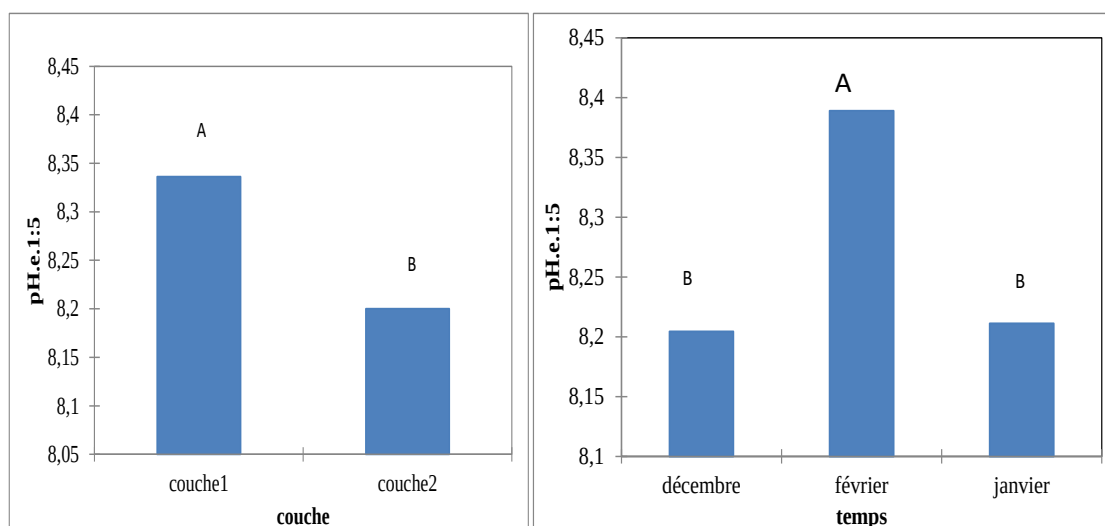


Figure 20. Effet de temps et de la couche du sol sur le pH_{e.1:5}.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet des palmeraies, des temps et des couches, a révélé deux groupes homogènes pour le facteur temps et deux groupes pour le facteur couche (Fig. 20, Annexe 37).

Pour le facteur temps, les groupes sont :

- Le groupe (A) représente le mois Février avec une valeur moyenne de 8,389.
- Le groupe (B) regroupe les mois Janvier et décembre avec les valeurs moyennes respectivement 8,211 et 8,205.

Pour le facteur couche, les groupes sont :

- Le groupe (A) regroupe la couche 0-20 avec une valeur moyenne de 8,336.
- Le groupe (B) regroupe la couche 20- 40 avec une valeur moyenne de 8,2.

La variation du pH des sols dans l'environnement oasien à Ouargla semble favorable aux développements des vers lombriciens. La plupart des vers de terre préfèrent un pH de 6 – 7, la diversité des espèces est considérablement réduite à pH >7 sauf les espèces tolérantes (LEE ,1985 in RAKHMATULLAEV et *al.*, 2010). Les sols neutres ont une plus grande densité de vers de terre que les sols alcalins ou acides (SHAMIM JAIRAJPURI ,1993).Le seuil de viabilité des vers est évalué à un pH de 4,4 pour un sol acide et à un pH de 10 pour un sol alcalin (BACHELIER, 1978).

4.2. Evolution de la conductivité électrique

Les mesures montrent que les sols présentent une couche superficielle non salée à peu salé et non salé à salé en profondeur. Les valeurs varient entre $0,27 \pm 0,8 \text{ dS.m}^{-1}$ et $1,68 \pm 0,3 \text{ dS.m}^{-1}$. En générale le niveau de salinité est élevé au début de l'hiver pour l'ensemble des palmeraies puis il diminue à la fin de la saison (Fig. 21).

Nous avons enregistré dans la palmeraie de Mehsane le niveau le plus élevé de salinité. La dynamique des sels est variable dans les sols de palmeraies, l'accumulation des sels à Bamrare et Balla est descendante par lixiviation; cela témoigne d'une irrigation déstalinisant. Mais dans la palmeraie de Mehsane, la lixiviation est remarquée seulement au début de l'hiver et la dynamique des sels est devenue par la suite ascendante. Cela témoigne d'une mauvaise gestion d'irrigation drainage où le niveau superficiel des eaux phréatiques favorise la dynamique ascendante des sels par remontée capillaire.

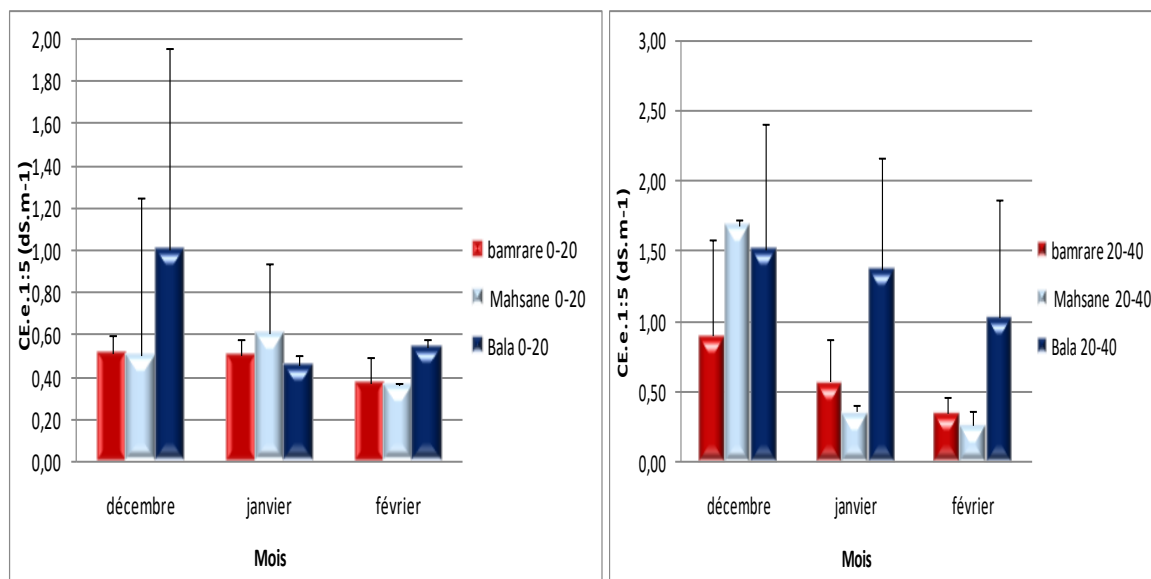


Figure 21. Evolution du CE.e.1:5 moyen des sols (couche 1 ; couche 2).

L'analyse de la variance effectuée entre le facteur palmeraie et le facteur temps et couche du sol sur la CE.e.1:5, a montré une variation significative entre les palmeraies d'étude $F = 4.011$ et $Pr = 0.026$, et une variation hautement significative avec le temps $F = 7.411$ et $Pr = 0.002$. Une variation significative enregistrée entre les couches du sol $F = 6.035$ et $Pr = 0.018$ (Annexe 3).

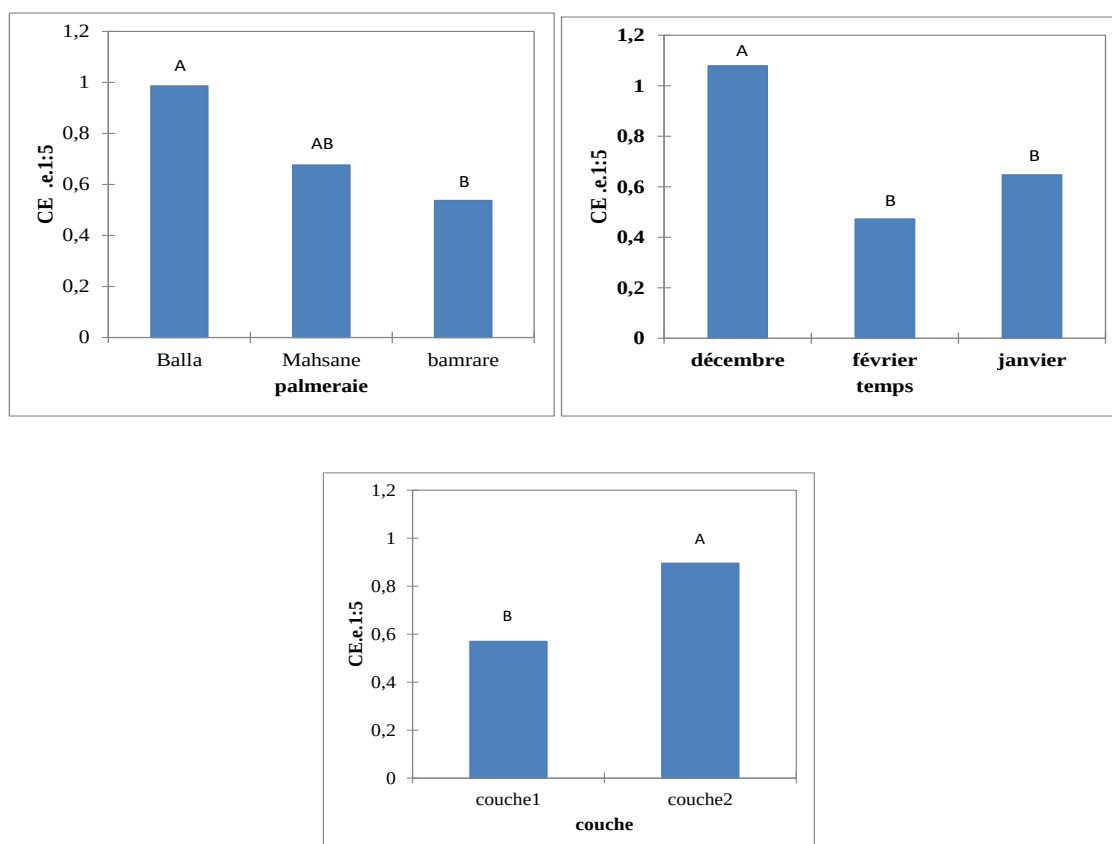


Figure 22. Effet de palmeraie, de temps et la couche du sol sur la CE.e.1:5.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet des palmeraies, de temps et des couches, a révélé trois groupes homogènes pour le facteur palmeraie et deux groupes pour le facteur temps et deux groupes pour le facteur couche (Fig. 22, Annexe 38).

Pour le facteur type de palmeraie les groupes sont :

- Le groupe (A) regroupe la palmeraie de Balla avec une valeur moyenne de $0,986 \text{ dS.m}^{-1}$.
- Le groupe (AB) regroupe la palmeraie de Mahsane avec une valeur moyenne de $0,675 \text{ dS.m}^{-1}$.
- Le groupe (B) regroupe la palmeraie de Bamrare avec une valeur moyenne de $0,536 \text{ dS.m}^{-1}$.

Pour le facteur temps, les groupes sont :

- Le groupe (A) représente le mois décembre avec une valeur moyenne de $1,079 \text{ dS.m}^{-1}$.
- Le groupe (B) regroupe les mois Janvier et Février avec les valeurs moyennes respectivement $0,646$ et $0,472 \text{ dS.m}^{-1}$.

Pour le facteur temps, les groupes sont :

- Le groupe (A) regroupe la couche 20-40 avec une valeur moyenne de $0,895 \text{ dS.m}^{-1}$.
- Le groupe (B) regroupe la couche 0- 40 avec une valeur moyenne de $0,570 \text{ dS.m}^{-1}$.

La salinité des eaux phréatiques de Ouargla contribue à la forte salinisation des sols par remontée capillaire (DADDI BOUHOUN et *al.*, 2013). La dynamique des sels varie avec la qualité et la gestion des eaux d'irrigation-drainage et les niveaux des croûtes gypso-calcaire au niveau des palmeraies de cuvette de Ouargla (DADDI BOUHOUN et *al.*, 2011). CLUZEAU et *al.*, (2011) la salinité comme paramètre physicochimique influence le développement des lombriciens. Mon résultat précédent à Ouargla KEMASSI, (2015) indique que, les lombrics peuvent vivre dans un niveau de salinités de 4 dS.m^{-1} d'extrait 1 :5. Le niveau de salinité enregistré dans les palmeraies étudiées devient dans ces conditions adéquat pour des lombrics.

5. Etude de la densité des lombrics

L'étude de la densité des vers de terre est portée sur le niveau global des espèces dans les palmeraies d'échantillonnage et leur relation avec le niveau de la nappe phréatique et les conditions édaphiques. Le niveau global de lombrics a été estimé dans la période hivernale et seule la première couche des sols de palmeraies présente des vers de terre (Fig. 23; Photo. 17). L'hydro-halomorphie enregistré dans la deuxième couche, proche de la nappe phréatique, incite les lombrics à migrer vers les couches superficielles des sols, plus riches en matières organiques et moins asphyxiants.

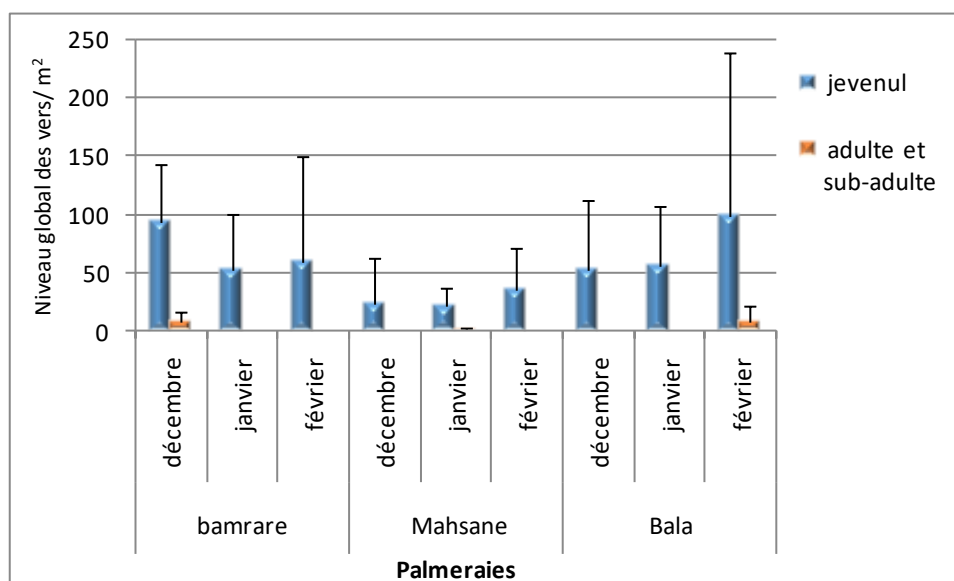


Figure 23. Evolution du niveau global des lombrics.

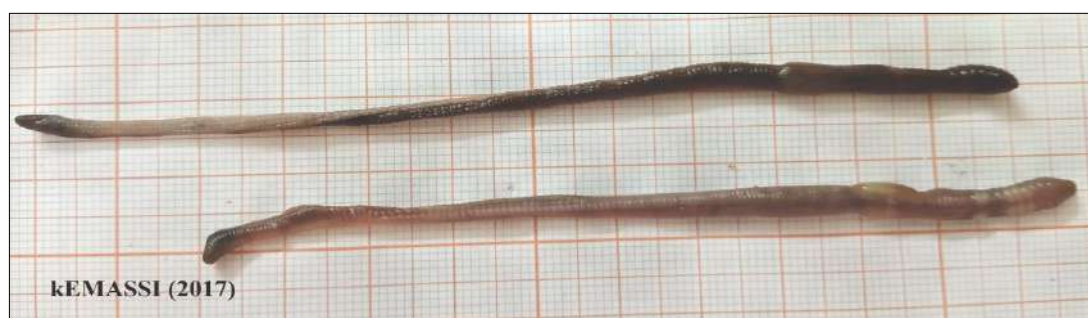


Photo 17. Lombrics échantillonnés.

Le niveau global des lombrics dans les trois palmeraies varie en fonction du mois, il est très hétérogène. Sa valeur varie entre $21,33 \pm 16,17$ et $98,67 \pm 140$ individus / m². Pour la palmeraie de Ksar- Bamrare, le nombre des lombrics diminue avec le temps contrairement aux autres palmeraies. On remarque que la palmeraie de Balla et Bamrare enregistrent les nombres

les plus élevés qui sont respectivement $98,67 \pm 140,8$ individus / m² et $93,33 \pm 50,3$ individus / m² (Fig. 23).

Toutefois, le nombre de vers juvéniles est plus élevé par rapport aux vers adultes et sub-adulte dans toutes les palmeraies d'échantillonnage. Cela indique que cette période hivernale coïncide avec la période d'éclosion des cocons. Les conditions climatiques et hydro-édaphiques dans les couches superficielles des sols de palmeraies notamment les teneurs élevées en matières organiques ainsi que les pratiques culturales (travail du sol, irrigation-drainage...etc.) semblent être favorable pour la reproduction des lombrics et peuvent influencer la biodiversité, la distribution et l'abondance des populations des lombricidés. Les vers de terre sont abondants dans les sols riches en matière organique (VIGOT et CLUZEAU, 2014). La profondeur du sol joue un rôle important au développement des vers (CLUZEAU et *al.* (2011). Les vers fousseurs se trouvent rarement où la salinité de la solution du sol excède 0,4 % à 0,5 %, contrairement au euryhalines (CHAOUI, 2010). D'après VIGOT et CLUZEAU (2014), l'activité des vers de terre est faible dans les sols à forte hydromorphie, ce qui explique leur migration vers les couches superficielles des sols de palmeraies. MARIOTTE et *al.* (2016) montrent que, la distribution des lombrics dans les parcelles est liée à la communauté végétale. Dans les zones arides, la présence des lombrics est limitée à des espèces superficielles (BAZRI et *al.*, 2013).

6.Conclusion

La caractérisation hydro-édaphique des sites d'étude, montre que les conditions hydriques d'irrigation et la présence de nappe phréatique superficielle provoquent l'halomorphie des sols en absence de drainage efficace. Les sols sont squelettiques, non salés à salés, légèrement à fortement alcalin, non calcaire et riche en matières organiques. Les lombrics semblent bien adaptés aux conditions hydro-édaphiques du haut des profils des sols où se concentre la matière organique. Ils occupent seulement les 20 premiers centimètres des sols de palmeraies. L'hydro-halomorphie augmente en bas des profils au contact de la nappe phréatique ce qui incite les vers de terre à migrer vers la surface pour fuir l'asphyxie et le stress salin. Le nombre de vers juvéniles est plus élevé par rapport aux vers adultes dans toutes les palmeraies. Cela indique que la période d'échantillonnage coïncide avec celle de l'éclosion des cocons. Nous recommandons d'adapter dans les dispositifs de lombriculture en milieu oasien, une profondeur de substrats ne dépassant pas 20 cm de profondeur au maximum, si la nappe phréatique est superficielle.

Chapitre V. Etude des conditions de lombriculture

1.Introduction

Après avoir défini en premier lieu l'impact des facteurs abiotiques de Ouargla sur la bio-écologie des vers de terre, il était nécessaire de définir en deuxième phase, par l'étude de lombriculture, les facteurs favorisant le développement des lombrics.

L'étude de lombriculture consiste à étudier par expérimentation le comportement des lombrics vis-à-vis des méthodes et des milieux de culture pour définir le meilleur substrat qui optimise la viabilité des lombrics ainsi que la densité idéale des vers dans lombriculture. Enfin, proposer à la lumière de nos résultats un modèle de lombriculture spécifique pour la région de Ouargla.

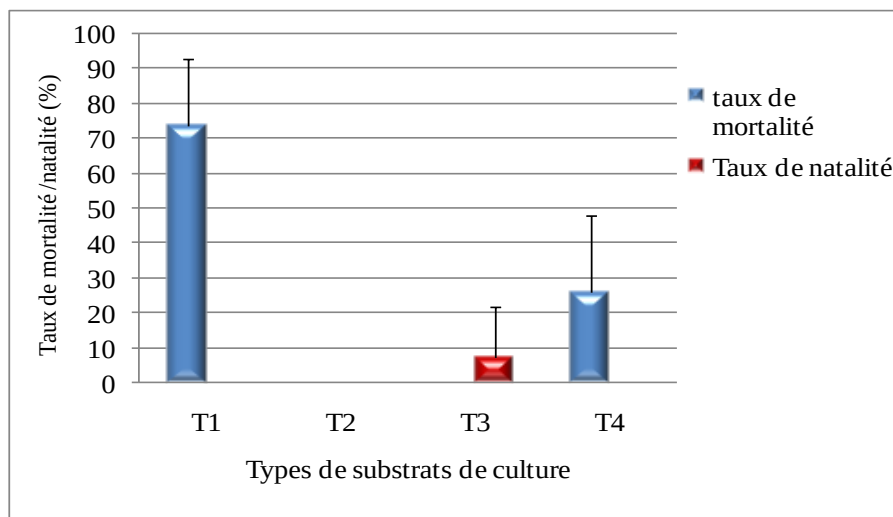
2.Optimisation de la viabilité des lombrics

2.1.Etude de la viabilité des lombrics

L'étude de la viabilité des lombrics permet d'estimer le taux de la mortalité et de la natalité des lombrics. Le taux de mortalité est nul pour T2 et T3 et important d'ordre de $25,9 \pm 22,28\%$ et $73,8 \pm 18,89\%$ pour T4 et T1. Il semble que les traitements T2 et T3, à base de précompost-sol palmeraie, augmentent la viabilité des lombrics. Par contre les substrats T1 et T4, à base de précompost-sable, constituent un régime alimentaire pauvre en minéraux et en eau, provoquent la mortalité des lombrics. La présence d'un fumier en T1 semble diminuer la viabilité des lombrics, peut-être à cause de sa composition azotée et de l'échauffement associé au cours de la dégradation de la matière organique (Fig. 24). Pour le taux de natalité est nul pour T1, T2, T4 et de $7,7 \pm 14,43\%$ pour T3. Ceci peut être dû à la composition du substrat à base de palme-sols et une faible quantité de fumier en T3. Ce milieu de vie semble être idéal pour les lombrics.

D'après l'étude d'ABUL-SOUD *et al.* (2009), le type de déchet organique a un effet important sur le taux de multiplication des vers de terre. ASGARI SAFDAR et MORADI KOR (2014), montrent que des niveaux élevés d'azote peuvent entraîner une dégradation rapide de la litière et un échauffement associé, créant des conditions inhospitalières, souvent mortelles pour les vers. La production numérique et pondérale du ver de fumier en fonction de la concentration du fumier dans le substrat, où ce dernier renfermant 75% de fumier, a été la

plus productives (HOUNDONUGBO et al., 2017). COULIBALY et al. (2011) montrent qu'à la fin de lombricompost, les substrats d'origine de fumier de poulet contiennent le plus grand nombre de vers juvéniles et de biomasse.



T1 (sable de dune+ précompost fumier et palme) ; T2 (sol de palmeraie+ précompost fumier et palme)
et

T3 (sol de palmeraie + précompost palme) ; T4 (sable de dune + précompost palme).

Figure 24. Viabilité des lombrics en fonction de type de substrat

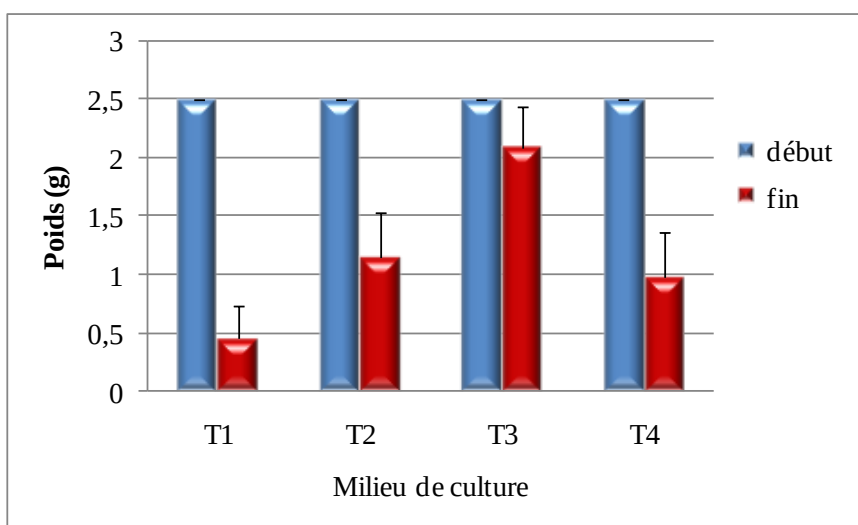
L'espèce choisie pour notre essai a réagi négativement aux milieux de culture même avec un taux $7,7 \pm 14,43$ % de natalité avec le traitement T3, mais celui-ci reste insuffisant (Photo. 18). Donc le milieu de culture nécessite d'autres améliorations pour l'espèce *Aporrectodea longa*. Les résultats obtenus ont confirmé l'aptitude de l'espèce *Lumbricus sp* au type de fumier et de déchets utilisés (KEMASSI, 2015).



Photo 18. Lombricompost et les lombrics en fin de culture.

2.2. Etude de la variation de biomasse des lombrics

Les résultats montrent que le poids des lombrics varie entre 2,5 g au début de l'essai pour tous les traitements, et de $0,47 \pm 0,26$ g avec T1 à la fin de l'essai. Le poids des lombrics diminue dans tous les traitements (Fig. 25). L'analyse de la variance effectuée, montre une variation hautement significative entre les types de substrat de culture sur le poids des lombrics $F = 11.372$ et $Pr = 0.000$, ainsi qu'une variation hautement significative avec le temps sur ce dernier $F = 172.760$ et $Pr < 0.0001$ (Annexe 5).



T1 (sable de dune+ précompost fumier et palme) ; T2 (sol de palmeraie+ précompost fumier et palme)
et

T3 (sol de palmeraie + précompost palme) ; T4 (sable de dune + précompost palme).

Figure 25. Variation de biomasse des lombrics en fonction de type de substrats.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet des types de substrat de culture et de temps, a révélé deux groupes homogènes pour chaque facteur (Fig. 26, Annexe 39).

Pour le facteur type de substrat de culture les groupes sont :

- Le groupe (A) regroupe un seul traitement T3 avec une valeur moyenne de 2,30 g.
- Le groupe (B) regroupe les traitements T1, T2, T4 avec une valeur moyenne respectivement de l'ordre 1.82, 1.74, 1.48 g.

Pour le facteur temps, les groupes sont :

- Le groupe (A) représente les temps de début de l'essai avec une valeur moyenne de 2,5g ;
- Le groupe (B) représente les temps de fin de l'essai avec une valeur moyenne de 1,17g.

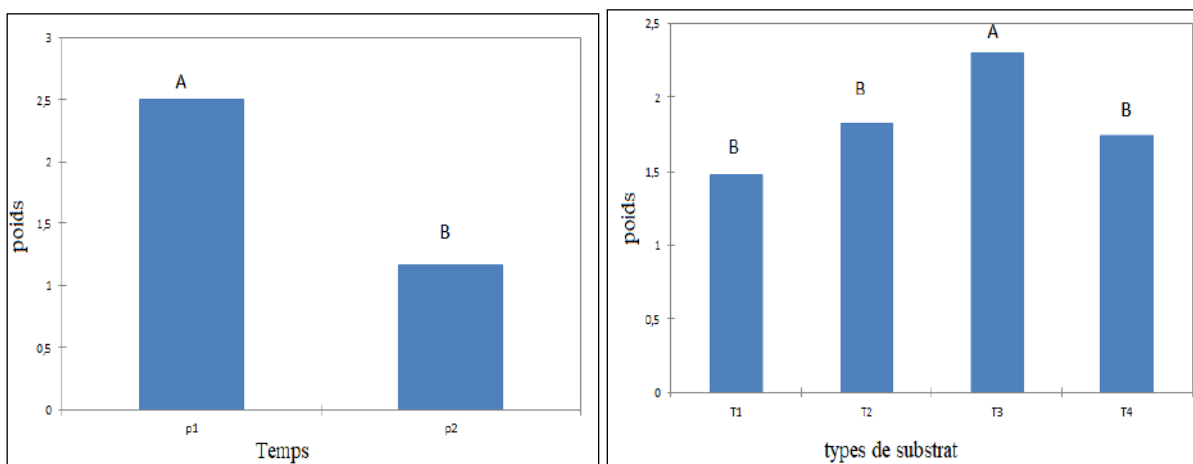


Figure 26. Effet des types de substrat de culture et de temps sur le poids.

On constate que, la chute de poids est due d'une part à la mortalité des lombrics et d'autre part à la régression de volume des lombrics. Les vers ne peuvent pas s'adapter aux milieux de culture T1, T2 et T4, cela peut être dû à la présence des substances nocives aux lombrics.

Les vers de compost préfèrent certains aliments à d'autres (ASGARI SAFDAR and MORADI KOR, 2014). La diminution du poids à la fin de l'essai est due probablement à l'épuisement des ressources (BOUGHABA, 2012). ABUL-SOUD *et al.* (2009) montrent que le type de déchet organique a un effet important sur le poids des vers de terre. Le type et la quantité de nourriture influent sur la taille de la population, la diversité, le taux de croissance et la fécondité (SHAMIM JAIRAJPURI, 1993). L'augmentation de la salinité réagit négativement sur le poids des lombrics (WU *et al.*, 2019).

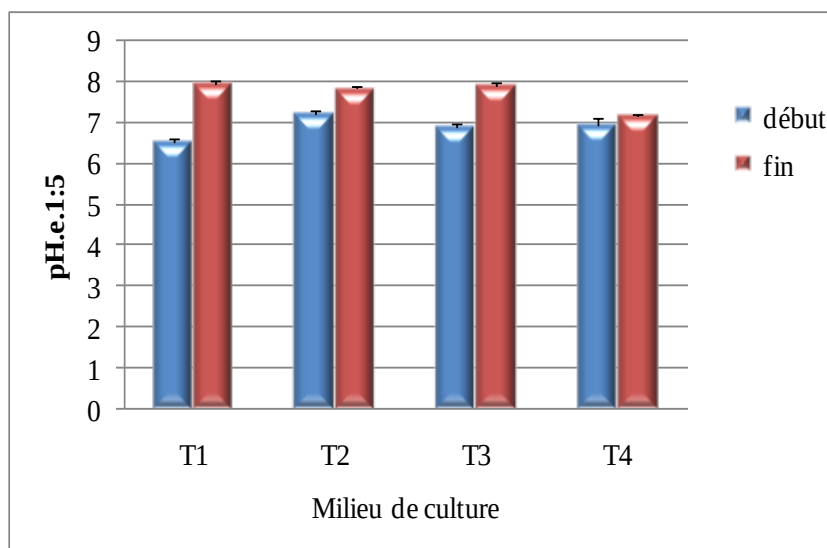
La culture des lombrics nécessite de tester chaque espèce dans un milieu de culture précis en fonction de groupe écologique.

2.3. Variation des paramètres physico-chimiques et biochimiques

2.3.1. Variabilité des paramètres physico-chimiques

2.3.1.1. Variabilité de pH

Le $pH_{e.1:5}$ des substrats augmente avec le temps. Les valeurs varient de $6,55 \pm 0,05$ avec le traitement T1 en début d'essai, à $7,93 \pm 0,11$ à la fin d'essai (Fig. 27). En générale, les traitements sont neutre à légèrement alcalin. A la fin de l'essai, nous avons enregistré une faible valeur de pH dans le traitement T4 avec $7,17 \pm 0,05$. L'augmentation du pH au cours de l'essai est fort probablement due à la production dans lombricompost des éléments minéraux alcalinisant. L'analyse de variance effectuée montre une variation hautement significative entre les types de substrat de culture sur le pH $F = 25.319$ et $Pr < 0.0001$, et une variation hautement significative sur le pH de substrat de culture avec le temps $F = 418.178$ et $Pr < 0.0001$ (Annexe 6).



T1 (sable de dune+ précompost fumier et palme) ; T2 (sol de palmeraie+ précompost fumier et palme)
et

T3 (sol de palmeraie + précompost palme) ; T4 (sable de dune + précompost palme).

Figure 27. Variation de pH en fonction de type des substrats de culture.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet des types de substrat de culture, a révélé quatre groupes homogènes et deux groupes pour le facteur temps (Fig. 28, Annexe 40).

Pour le facteur type de substrat de culture les groupes sont :

- Le groupe (A) regroupe un seul traitement T2 avec une valeur moyenne de 7,5.
- Le groupe (AB) représente le traitement T3 avec une valeur moyenne de 7,4.
- Le groupe (B) représente le traitement T1 avec une valeur moyenne de 7,24.
- Le groupe (C) représente le traitement T4 avec une valeur moyenne de 7,05.

Pour le Facteur temps, les groupes sont :

- Le groupe (A) représente le temps de début de l'essai avec une valeur moyenne de 7,7.
- Le groupe (B) représente le temps de fin de l'essai avec une valeur moyenne de 6,9.

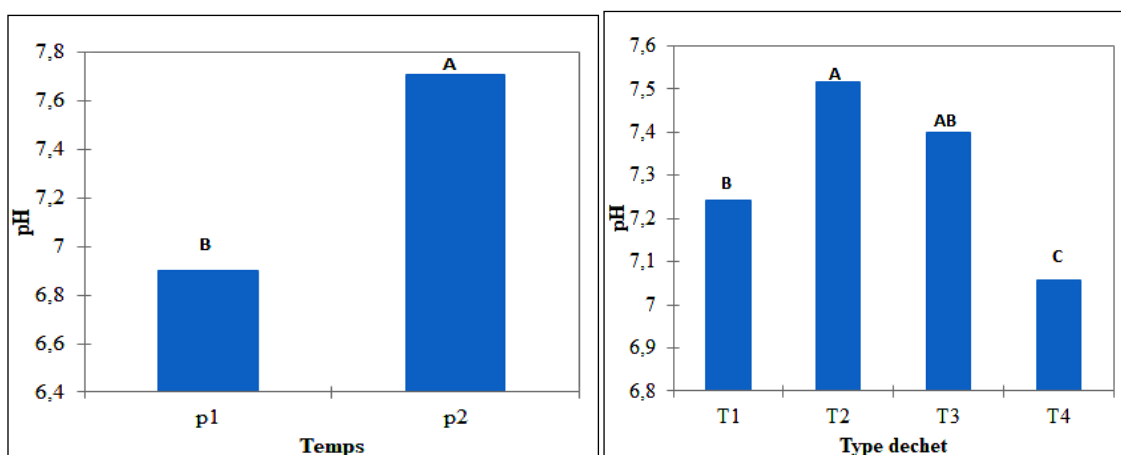


Figure 28. Effet des types de substrat de culture et de temps sur le pH.

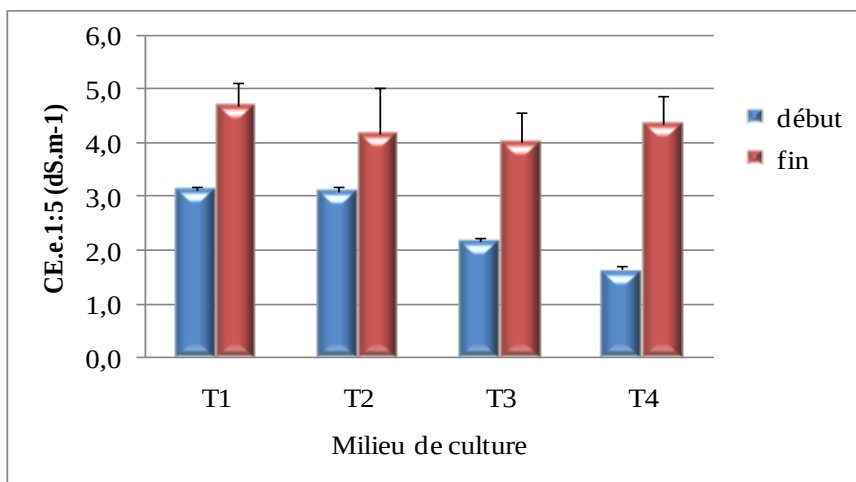
D'après l'étude de KOSTECKA *et al.* (2018), les lombrics peuvent favoriser le maintien de pH de lombricompost et même de l'augmenter, cela est en fonction de type de déchets. On constate que, l'augmentation du pH peut être due à la présence des éléments minéraux alcalinisant tel que le Ca^{++} . NAYAK et SAHU (2013) signalent que le pH des substrats augmente en présence des lombrics. BACHELIER (1978) signale que les vers de terre possèdent des glandes de Morren. Celles-ci sécrètent du carbonate de calcium sous forme de petits durcissements de calcite qui s'évacuent dans le tube digestif. Le pH de lombricompost est à peu près neutre (OUAHRANI et RACHID-MASBAH, 2001), entre 6,5 et 7,8 (FLAEF-SARL, 2016) et de 5,5 à 7,0 (RAMNARAIN *et al.*, 2019). D'après SINGH *et al.* (2005) quel que soit la valeur du pH initial du milieu de culture, après 1 mois sa valeur se stabilise à 7,0. Par ailleurs SUTHAR et SINGH (2008), trouve que les valeurs de pH étaient

plus faibles dans le lombricompost que dans le matériel initial qui est de 8.56 ± 0.06 et 7.43 ± 0.02 avec l'espèce *P. sansibaricus* et 7.59 ± 0.03 avec *P. excavatus*.

Le pH de différents substrats est proche du milieu de vie des lombrics, donc la mort des lombrics est due aux autres facteurs.

2.3.1.2. Variabilité de conductivité électrique

La salinité des substrats augmente au cours de l'essai dans tous les traitements. La valeur minimale de conductivité électrique ($CE_{e.1:5}$) a été enregistrée au début d'essai à T4 avec $1,64 \pm 0,06 \text{ dS.m}^{-1}$ et la valeur maximale a été enregistrée à la fin d'essai à T1 avec $4,47 \pm 0,44 \text{ dS.m}^{-1}$ (Fig. 29). En général, les traitements sont salés à très salés. Egalement, nous pouvons noter que le niveau très salé, $4,02 \pm 0,56 \text{ dS.m}^{-1}$, à la fin de l'essai en T3 a favorisé la natalité de 7,7%; Cela indique que, la salinité à ce niveau n'est pas un facteur limitant pour cet essai. L'analyse de variance effectuée, montre une variation hautement significative entre les types de substrat de culture sur la CE de celle-ci $F= 6.034$ et $Pr= 0.006$, et une variation hautement significative avec le temps sur la CE de substrat de culture $F= 101.981$ et $Pr < 0.0001$ (Annexe 7).



T1 (sable de dune+ précompost fumier et palme) ; T2 (sol de palmeraie+ précompost fumier et palme)
et

T3 (sol de palmeraie + précompost palme) ; T4 (sable de dune + précompost palme).

Figure 29. Variation de la conductivité électrique dans les substrats de culture.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet des types de substrat de culture, a révélé trois groupes

homogènes et deux groupes pour facteur temps (Fig. 30, Annexe 41).

Pour le facteur type de substrat de culture les groupes sont :

- Le groupe (A) regroupe un seul traitement T1 avec une valeur moyenne de $3,92 \text{ dS.cm}^{-1}$.
- Le groupe (AB) regroupe un seul traitement T2 avec une valeur moyenne de $3,64 \text{ dS.cm}^{-1}$.
- Le groupe (B) regroupe les traitements T3, T4 avec une valeur moyenne respectivement de l'ordre $3,09$ et $3,01 \text{ dS.cm}^{-1}$.

Pour le facteur temps, les groupes sont :

- Le groupe (A) représente les temps de début de l'essai avec une valeur moyenne de $4,32 \text{ dS.cm}^{-1}$.
- Le groupe (B) représente les temps de fin de l'essai avec une valeur moyenne de $2,52 \text{ dS.cm}^{-1}$.

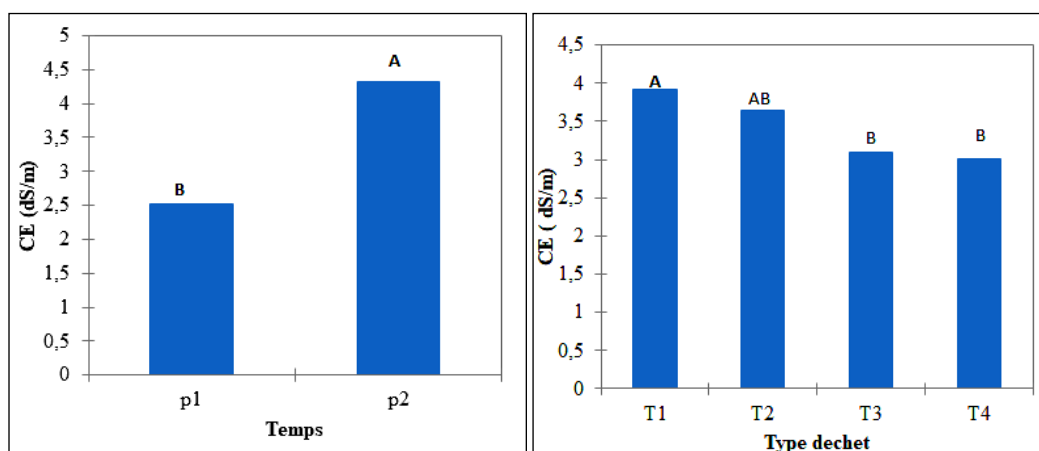


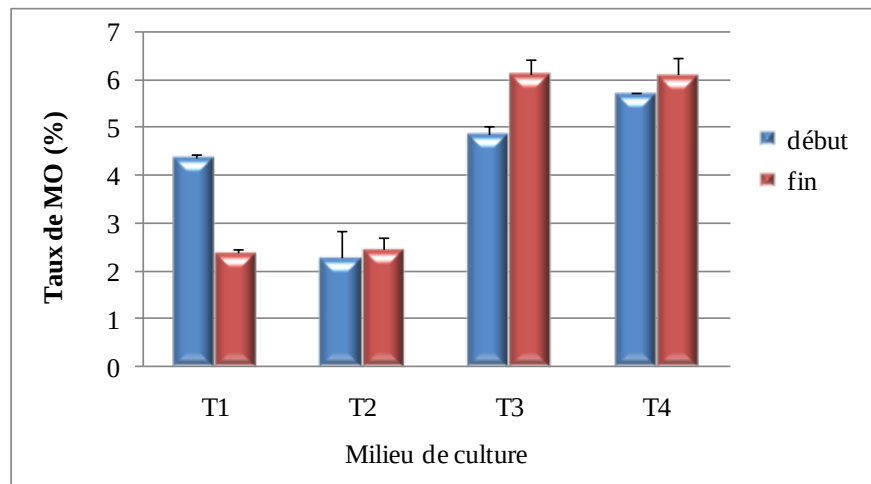
Figure 30. Effet des types de substrat de culture et de temps sur la conductivité électrique.

D'après l'étude de NAYAK et SAHU (2013), la conductivité de substrat initial augmente avec le temps et en présence des lombrics. Elle varie entre $6.9 \pm 0.18 \text{ mS/cm}$ et $7.8 \pm 0.08 \text{ mS/cm}$ (RAMNARAIN et *al.*, 2019). En revanche, KOSTECKA et *al.* (2018) montrent que les lombrics ont un effet positif sur la réduction de la salinité d'engrais résultant par 20%. D'après l'étude de PHUONG-NAM (2012), les vers étaient tolérants à des niveaux de CE de

10 à 12 mS/cm. On constate que la mortalité des lombrics dans les traitements de sable T1 et T4 peut être due probablement en autres à l'augmentation du stress salin et des ions spécifiques salins notamment Na^+ et Cl^- . L'espèce utilisée ne peut plus s'adapter à cette variation de salinité.

2.3.2. Variation des paramètres biochimiques

L'étude de la variation des paramètres biochimiques consiste à estimer l'impact des vers de terre sur les substrats de lombriculture de point de vue teneur et décomposition organique. L'évolution du taux de carbone organique reste variable entre le début et la fin de l'essai dans l'ensemble des substrats. Les valeurs sont comprises entre $1,33 \pm 0,54$ % et $3,55 \pm 0,31$ % (Fig. 31). Cependant, les teneurs en matières organiques (MO) sont compris entre $2,29 \pm 0,54$ % et $6,11 \pm 0,31$ % (Fig. 32). Nous constatons que dans le milieu T1 la teneur organique diminue à cause peut être de la forte minéralisation organique en sol sableux et la forte mortalité lombrics qui ne favorise pas l'enrichissement humique. La présence de fumier en T1 favorise l'activité microbiologique et la minéralisation de la matière organique. La faible quantité du fumier en T4 a réduit la minéralisation et la pauvreté du milieu a réduit l'activité des lombrics ce qui n'a pas permis à la matière organique de se décomposer. Les bonnes conditions hydro-édaphiques et nutritionnelles en T2 et T3 ont permis aux lombrics de favoriser l'humification donc, l'enrichissement des substrats en matière organique, notamment en T3 avec l'éclosion des cocons. L'analyse de la variance effectuée montre une variation hautement significative entre les différents types de substrat de culture avec le taux de la MO, $F = 219.647$ et $Pr < 0.0001$, et aucune variation significative enregistrée avec le temps $F = 0.138$ et $Pr = 0.715$ et le taux de la MO dans les substrats de culture $F = 36.043$ et $Pr < 0.0001$ (Annexe 8).



T1 (sable de dune+ précompost fumier et palme) ; T2 (sol de palmeraie+ précompost fumier et palme) et

T3 (sol de palmeraie + précompost palme) ; T4 (sable de dune + précompost palme).

Figure 31. Evolution de taux de la matière organique dans les substrats de culture.

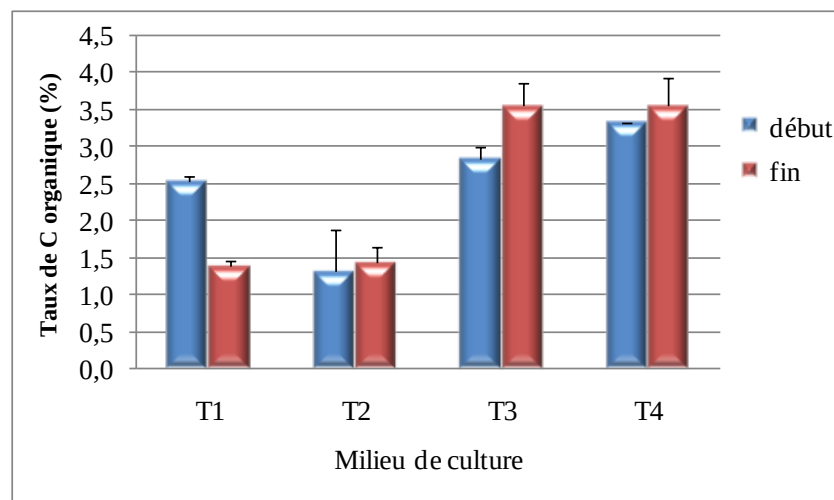


Figure 32. Evolution de taux de carbone organique dans les substrats de culture.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet des types de substrat de culture a montré trois groupes homogènes qui sont (Fig. 33, Annexe 42) :

- Le groupe (A) regroupe les traitements T4 et T3 avec une valeur moyenne respectivement de l'ordre de 5,91 et 5,49 %.
- Le groupe (B) regroupe un seul traitement T1 avec une valeur moyenne de 3,38 %.

- Le groupe (C) regroupe les traitements T2 avec une valeur moyenne 2,38 %.

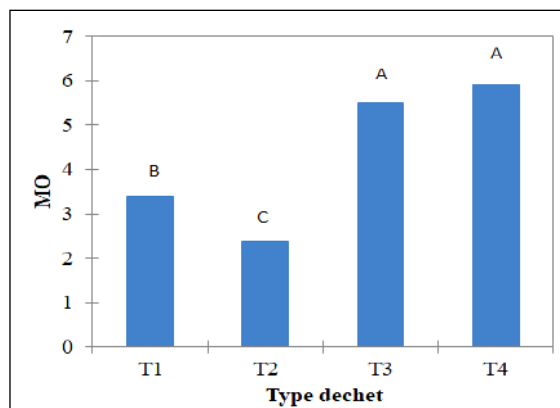


Figure 33. Effet des types de substrat de culture sur le taux de la matière organique.

Nos résultats d'essai concordent avec certains travaux de recherche comme ceux de SHANTHI (2018), NAYAK et SAHU (2013) qui montrent que le taux de carbone organique augmente en présence des lombrics et avec le temps. On constate que, ceci peut être dû à l'accumulation de cadavres des lombrics dans les substrats. En revanche, NAHRUL HAYAWIN et *al.* (2010) montrent que le taux de carbone organique enregistre une légère diminution due à la perte de carbone des substrats par respiration microbienne sous forme de CO₂ et par minéralisation de carbone organique.

3. Conclusion

L'étude des conditions de lombriculture montre que la natalité des lombrics est signalée seulement par le traitement de substrat à base de palme-sols avec une faible quantité du fumier (T3) où le taux de natalité est de $7,7 \pm 14,43$ %. Ce milieu de vie semble être idéal pour les lombrics par rapport aux autres milieux. Dans ces derniers, les lombrics maintiennent leurs poids. L'espèce choisie pour notre essai a réagi négativement aux milieux de culture même avec ce taux de natalité et d'éclosion des cocons. Le milieu de culture (T3) nécessite une amélioration pour l'espèce *Aporrectodea longa*.

Le pH de différents substrats de culture est proche du milieu de vie des lombrics, il est neutre à légèrement alcalin. A la fin de l'essai, le milieu T3 est très salé de $4,02 \pm 1,11$ dS.m⁻¹. Cela indique que la salinité n'est pas un facteur limitant dans cet essai. En général, l'espèce utilisée ne peut pas s'adapter à cette variation de salinité de point de vue poids. Les bonnes conditions hydro-édaphiques et nutritionnels en T3 ont permis aux lombrics de favoriser

l'humification de ce fait on a remarqué l'enrichissement des substrats en matière organique.

Mais vue la réaction des vers au milieu plus favorable pour l'espèce étudiée précédemment (*Lumbricus sp*) par rapport à l'espèce utilisée *Aporrectodea longa* qui s'avère moins adaptée. Pour cela est étant donné que, notre travail de doctorat est une suite et un complément de travail de Magister, nous avons opté pour l'espèce *Lumbricus terrestris* pour la promouvoir dans le choix des méthodes de lombriculture à Ouargla, et nous avons utilisé le substrat à base de palme-sols avec une faible quantité du fumier (T3) comme milieu de culture.

Chapitre VI. Etude des méthodes de lombriculture

1. Introduction

Les conditions abiotiques et biotiques favorables à lombriculture étant défini antérieurement, vont constituer une plateforme dans le choix des méthodes de lombriculture à adopter à Ouargla.

L'étude des méthodes de lombriculture consiste à effectuer des essais de comportement des lombrics par rapport aux méthodes de culture. Les résultats vont nous permettre de définir la meilleure méthode de culture des vers de terre du point de vue viabilité, poids de vers et réaction avec les substrats. Egalement, nous allons optimiser la densité des lombrics dans la meilleure méthode sélectionnée.

Enfin, sur la base des critères prédéfinis, nous allons faire une proposition de fiches techniques, de modèles de lombriculture pour Ouargla et une estimation de rentabilité financiers attendue.

2. Choix des méthodes de lombriculture

L'étude de choix des méthodes de lombriculture consiste à étudier par l'expérimentation trois méthodes à savoir celle de pot, boîte et de corbeille où nous avons testé la viabilité des lombrics, la variation de biomasse des lombrics ainsi que la variation des paramètres physico-chimiques et biochimiques de lombricompost.

2.1. Viabilité des lombrics

L'étude de la viabilité des lombrics a permis de voir que le nombre des lombrics varie entre le début et la fin de l'essai (Fig. 34). Dans certaines méthodes de lombriculture, le nombre de vers de terre a diminué, il est passé de 4 vers au début de l'essai dans les méthodes testées de lombriculture à 0 vers dans la méthode corbeille et 2 vers dans celle de boîte. Par contre dans la méthode pot, le nombre de vers a subi un accroissement, il atteint $4,33 \pm 0,58$ avec un taux de natalité de 8,25% et aucune mortalité. Les conditions de lombriculture non favorable dans la méthode de culture corbeille ont conduit à la dissémination totale des lombrics. La méthode de pot semble la plus recommandée pour Ouargla. L'analyse de la variance effectuée montre une variation hautement significative entre les méthodes de culture

avec le nombre de vers $F= 25.956$ et $Pr<0.0001$ et une variation hautement significative enregistrée avec le temps et le nombre des vers $F= 674.934$ et $Pr< 0.0001$ (Annexe 10).

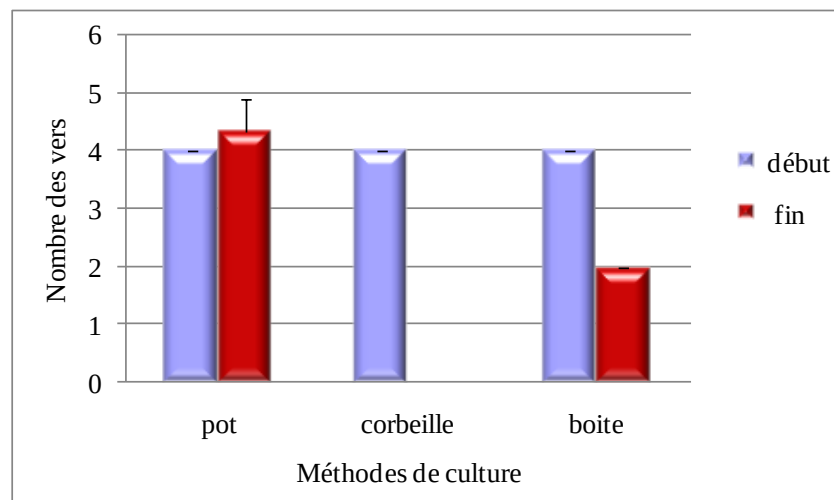


Figure 4. Variation de nombre des lombrics en fonction des méthodes de culture.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet des types de substrat de culture, a montré trois groupes homogènes, et deux pour le facteur temps (Fig. 35, Annexe 43).

Pour le facteur méthode de culture les groupes sont :

- Le groupe (A) représente la méthode pot avec une valeur moyenne de 4,16.
- Le groupe (B) regroupe une seule méthode boîte avec une valeur moyenne de 3.
- Le groupe (C) représente la méthode de corbeille avec une valeur moyenne de 2.

Pour le facteur temps, les groupes sont :

- Le groupe (A) représente les temps de début de l'essai avec une valeur moyenne de 4,1.
- Le groupe (B) représente les temps de fin de l'essai avec une valeur moyenne de 2,11.

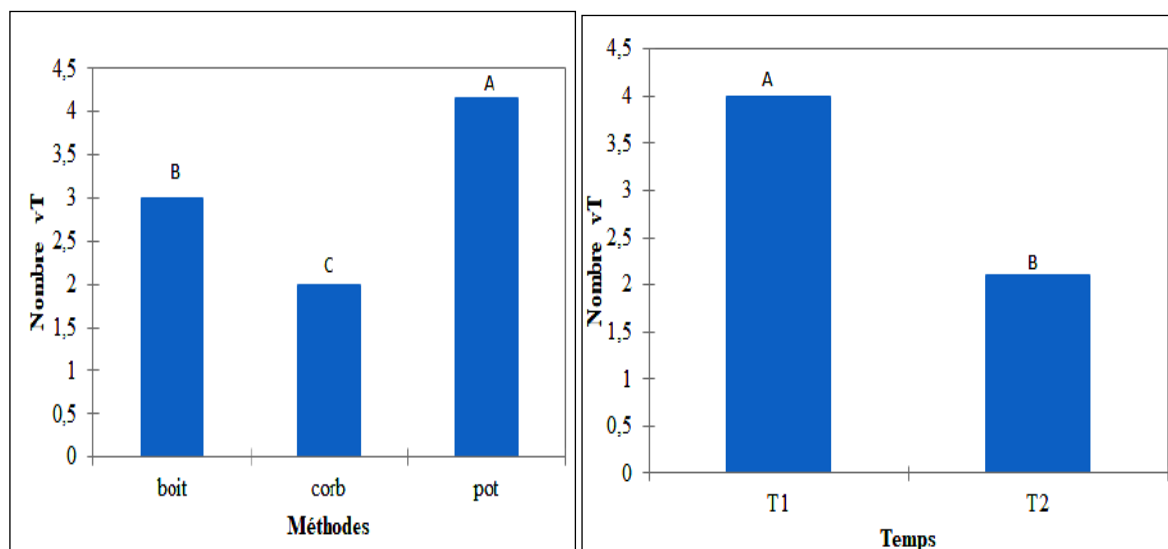


Figure 35. Effet des méthodes de culture et de temps sur le nombre de lombrics.

2.2. Variation de la biomasse des lombrics

Les résultats montrent que le poids des vers diminue dans l'ensemble des méthodes, mais avec des écarts variables. La biomasse s'annule dans la méthode des corbeilles en fin d'essai et diminue légèrement en pots pour atteindre $3,66 \pm 0,26$ g et finalement la réduction en boîte reste intermédiaire entre les méthodes précédentes (Fig. 36). Par rapport aux trois méthodes étudiées, celle de pot est à conseiller parce qu'elle donne la meilleure valeur. L'analyse de la variance effectuée montre une variation hautement significative entre les méthodes de culture avec le poids des lombrics $F = 127.000$ et $Pr < 0.0001$ et une variation hautement significative avec le temps et le poids des lombrics $F = 289.000$ et $Pr < 0.0001$ (Annexe 11).

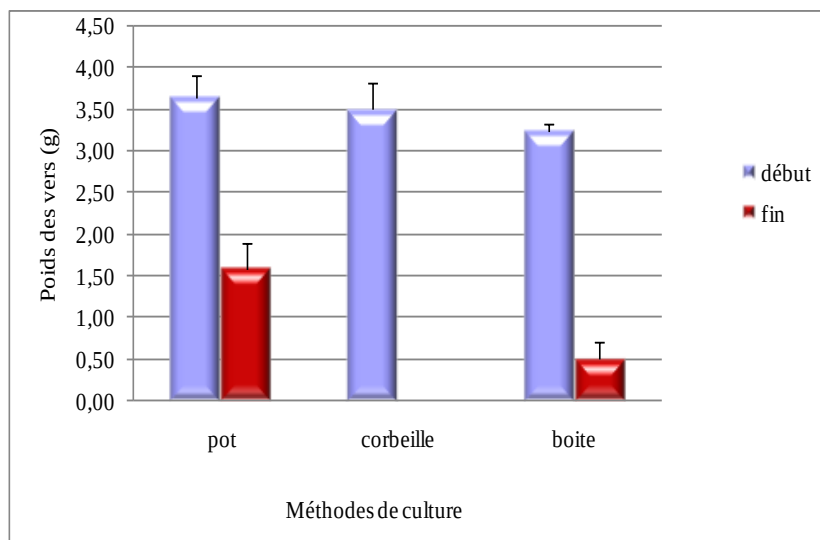


Figure 36. Variation de biomasse des lombrics en fonction des méthodes de culture.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet des types de substrat de culture, a montré deux groupes homogènes, et deux pour le facteur temps (Fig. 37, Annexe 44).

Pour le facteur méthode de culture, les groupes sont :

- Le groupe (A) représente la méthode de pot avec une valeur moyenne de 2,62g.
- Le groupe (B) regroupe les méthodes de boîte et de corbeille avec une valeur moyenne de 1,88 et 1,75g respectivement.

Pour le facteur temps, les groupes sont :

- Le groupe (A) représente les temps de début de l'essai avec une valeur moyenne de 3,47g;
- Le groupe (B) représente les temps de fin de l'essai avec une valeur moyenne de 0,7g.

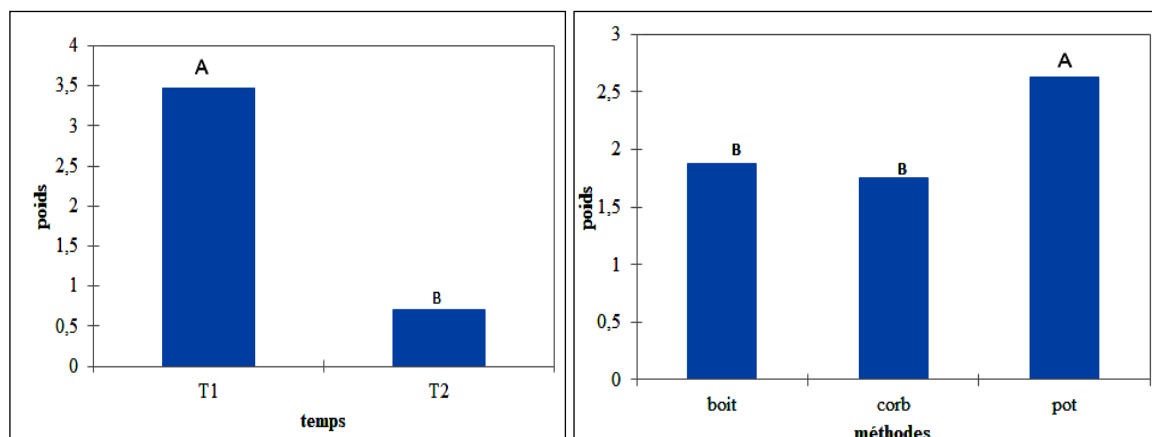


Figure 375. Effet des méthodes de culture et de temps sur le poids des lombrics.

Le poids des vers enregistré est faible, ce qui nécessite une amélioration des conditions du milieu d'élevage de vers ou probablement la biomasse initiale des lombrics. Egalement, le choix du type de déchet et de fumier à utiliser car ils influent positivement sur les lombrics (KEMASSI, 2015). La chute de poids peut être due à la présence de certaines substances retardant la croissance (GARG et GUPTA, 2011).

2.3. Variation des paramètres physico-chimiques et chimiques

2.3.1. Paramètres physico-chimiques

2.3.1.1. pH

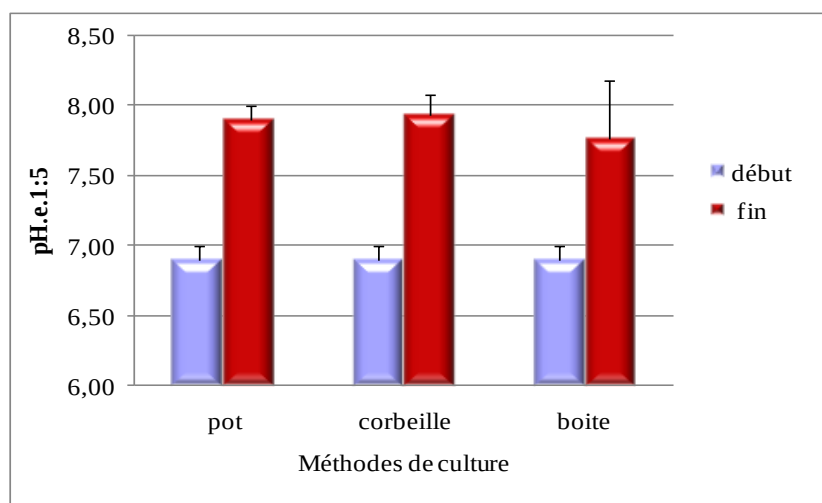


Figure 38. Variation de pH en fonction des méthodes de culture.

Les résultats montrent que le pH a subi une augmentation dans l'ensemble des méthodes de culture avec des proportions rapprochées. Le pH est passé de $6,9 \pm 0,1$ au début de l'essai à une valeur maximale de $7,93 \pm 0,15$ avec la méthode des corbeilles en fin de l'essai (Fig. 38). L'analyse de la variance effectuée n'a montré aucune variation significative entre les méthodes de culture avec le pH $F=0.296$ et $Pr=0.749$ et une variation hautement significative avec le temps $F=106.606$ et $Pr<0.0001$ et le pH dans les substrats de culture $F=0.296$ et $Pr=0.749$ (Annexe 12).

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet de facteur temps a montré deux groupes Homogènes (Fig. 39, Annexe 45) qui sont :

- Le groupe (A) représente les temps de fin de l'essai avec une valeur moyenne de 7,87;
- Le groupe (B) représente les temps de début de l'essai avec une valeur moyenne de 6,9.

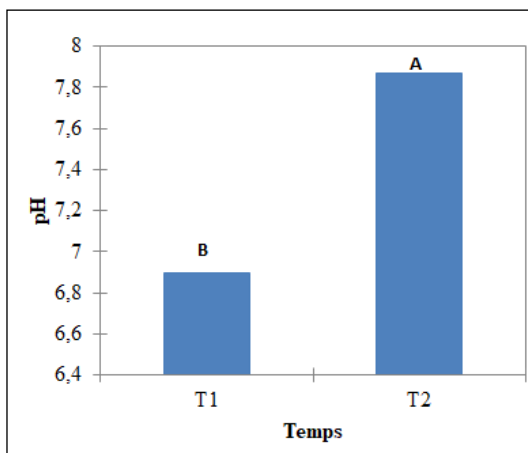


Figure 39. Effet des méthodes de culture et de temps sur le pH.

Les causes de variation du pH de lombricompost sont multiples. Selon SINGH et *al.* (2005), le pH de lombricompost est de 7. Il semble que les ions d'ammonium augmentent le pH de lombricompost (NAHRUL HAYAWIN et *al.*, 2010). SONG et *al.* (2014) enregistrent une diminution du pH de 8,42 à 7,57. La présence de Na_2CO_3 favorise l'augmentation de pH (BACHELIER., 1978). Les valeurs du pH pour les trois méthodes sont proches et restent convenables pour la vie et la reproduction des lombrics. On constate que l'augmentation du pH n'est pas responsable de la chute des poids et de la mortalité des lombrics mais cela est dû

à d'autres facteurs. La corrélation entre le pH et le poids des lombrics présente un coefficient Pearson négatif qui est $R = -0,881$, l'augmentation de pH réduit significativement le poids des lombrics (Fig. 40). La corrélation entre le pH et le nombre des lombrics possède un coefficient négatif qui est $R = -0,568$, l'augmentation de pH réduit le nombre des lombrics (Annexe. 17).

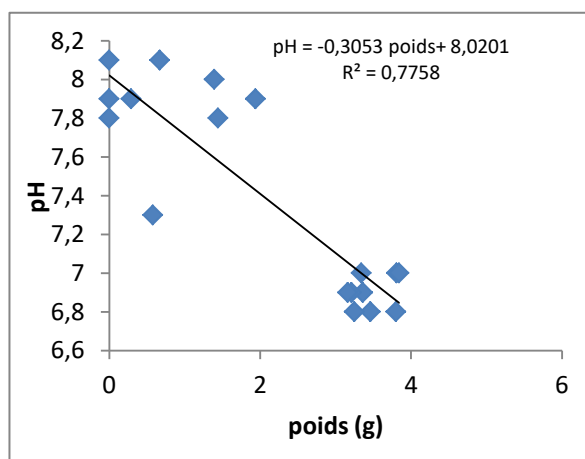


Figure 40. Relation entre le poids et le pH.

2.3.1.2. Conductivité électrique

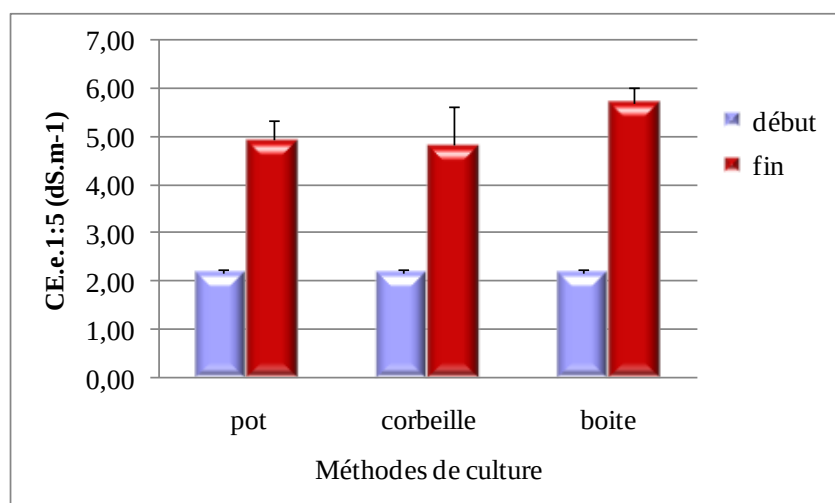


Figure 41. Variation de la conductivité électrique en fonction des méthodes de culture.

Les résultats montrent que la salinité a augmenté dans l'ensemble des traitements. La $CE_{e.1:5}$ est passé de $2,17 \pm 0,08 \text{ dS.m}^{-1}$ au début d'essai pour atteindre à la fin de l'essai une valeur maximale de $5,71 \pm 0,33 \text{ dS.m}^{-1}$, avec la méthode des boîtes. La plus faible augmentation a été enregistrée avec la méthode de corbeille par $4,83 \pm 0,81 \text{ dS.m}^{-1}$ (Fig. 41).

Les conditions pédoclimatiques semblent favoriser la salinisation des substrats. L'analyse de la variance effectuée n'a montré aucune variation significative entre les méthodes de culture sur la CE de substrat de culture $F= 2.194$ et $Pr=0.154$ et une variation hautement significative avec le temps sur la CE de cette dernière $F= 249.626$ et $Pr< 0.0001$ (Annexe 13, Annexe 46).

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet de facteur temps, a montré deux groupes homogènes qui sont (Fig. 42, Annexe 46) :

- Le groupe (A) représente les temps de fin de l'essai avec une valeur moyenne de 5,12 dS/m ;
- Le groupe (B) représente les temps de début de l'essai avec une valeur moyenne de 2,17 dS/m.

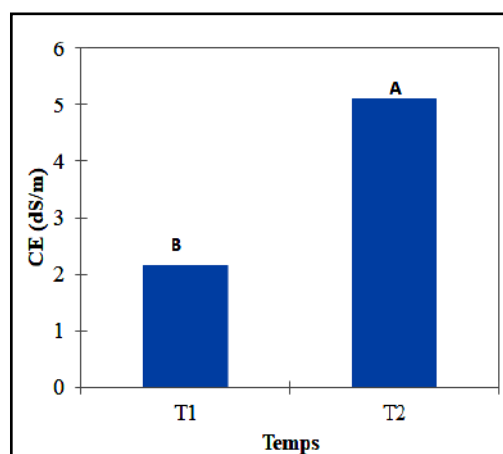


Figure 42. Effet de temps sur la conductivité électrique.

L'accumulation des sels peut être due à la largeur de la surface des boîtes et des corbeilles par rapport aux pots, ce qui entraîne une forte évaporation dans les milieux de culture de ces dernières et l'apparition de petits cristaux blancs (Photo. 19). L'activité fousseuse des lombrics augmente avec l'augmentation de taux d'humidité (WEN et *al.*, 2020). Si le sol est sec les lombrics s'enroulent pour survivre (PFIFFNER, 2013).

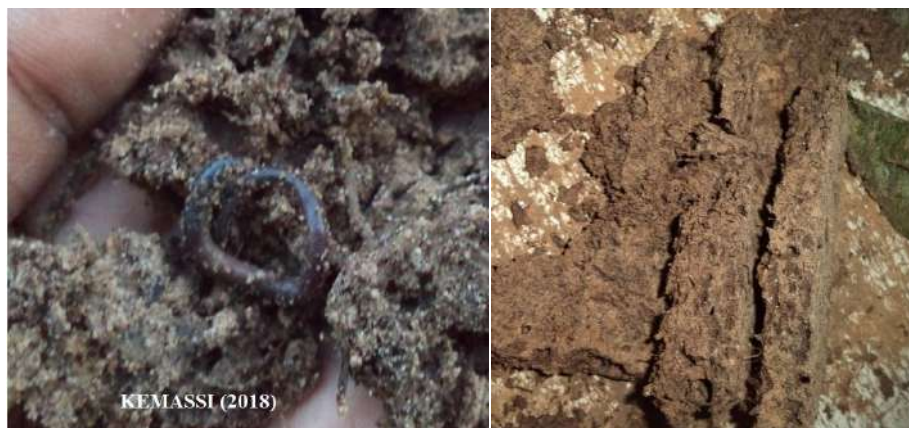


Photo 19. Etat de lombrics et de lombricompost (cas de méthode en boîte et en corbeille)

Certaines études montrent qu'en présence des lombrics la CE diminue avec le temps. Cela dépend des minéraux et des ions disponibles qui sont générés lors de l'ingestion et de l'excrétion par les vers de terre (GARG et *al.*, 2006). D'après l'étude de PHUONG-NAM (2012), les vers étaient tolérants à des niveaux de CE de 10 à 12 mS/cm. Les vers sont tolérants au NaCl mais celle-ci diminue en présence de Na_2CO_3 qui favorise l'alcalinisation du sol (BACHELIER, 1978). le sel Na_2SeO_3 est toxique pour les vers (SHAO et *al.*, 2019). L'augmentation de la CE est due à l'accumulation de différents sels minéraux disponibles (YADAV et GARG, 2013).

La chute de poids et la mortalité des lombrics dans la méthode de corbeille et de boîte sont causées par l'augmentation de la salinité, la présence de type des sels nuisibles et/ou le dessèchement des substrats au cours de l'essai ; même avec une imbibition presque journalière. Le pot garde son humidité car l'augmentation de profondeur réduit l'évaporation, de là on constate que 20 cm de profondeur est une profondeur minimale limitée. Les dispositifs de lombriculture pratique peuvent aller jusqu'au 2,5 m de profondeur (AMIC et DALMASSO, 2012). Toutefois, nos recherches sur le terrain fixent une profondeur maximale de 20 cm pour les vers utilisés où la nappe phréatique est superficielle.

La corrélation entre la conductivité électrique et le poids des lombrics présente un coefficient Spearman négatif qui est $R = -0,898$, l'augmentation de la salinité de substrat de culture réduit significativement le poids des lombrics (Fig. 43). La corrélation entre la conductivité électrique et le nombre des lombrics procède un coefficient de Pearson négatif ; qui est $R = -0,570$; l'augmentation de la CE réduit significativement le nombre des lombrics

(Annexe.17).

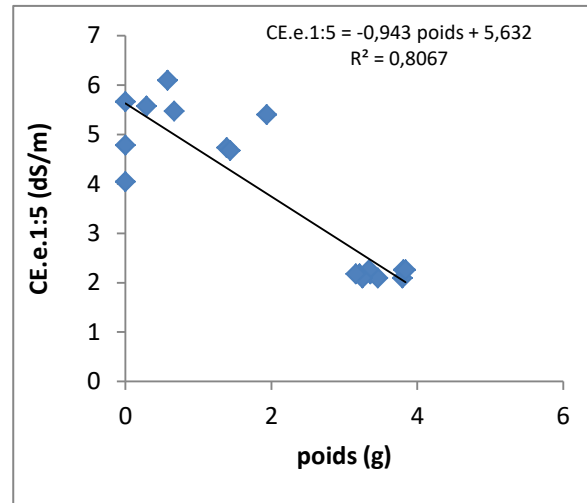


Figure 43. Relation entre le poids et la conductivité électrique

2.3.2. Paramètres biochimiques

Les résultats d'étude montrent des variations biochimiques dans le taux de carbone et la matière organique, l'azote total et le rapport C/N.

Le taux de carbone et de matière organique enregistre une légère augmentation avec le temps. Le taux de carbone organique est passé de $2,84 \pm 0,09\%$ à $3,93 \pm 0,44 \%$ avec les traitements de boîte, à la fin de l'essai (Fig. 44). La matière organique a augmenté également dans tous les traitements où le taux est passé de $4,88 \pm 0,16 \%$ au début d'essai à un maximum de $6,77 \pm 0,75 \%$ dans la méthode boîte en fin d'essai (Fig. 45).

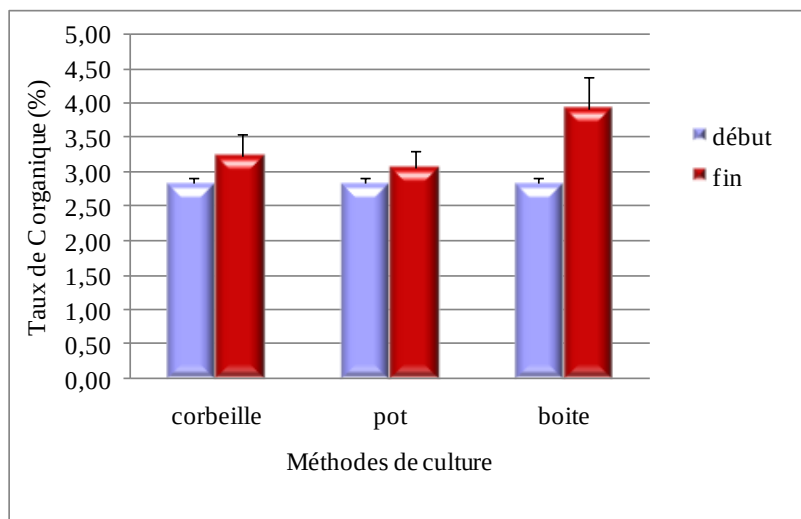


Figure 44. Variation du taux de carbone organique en fonction des méthodes de culture.

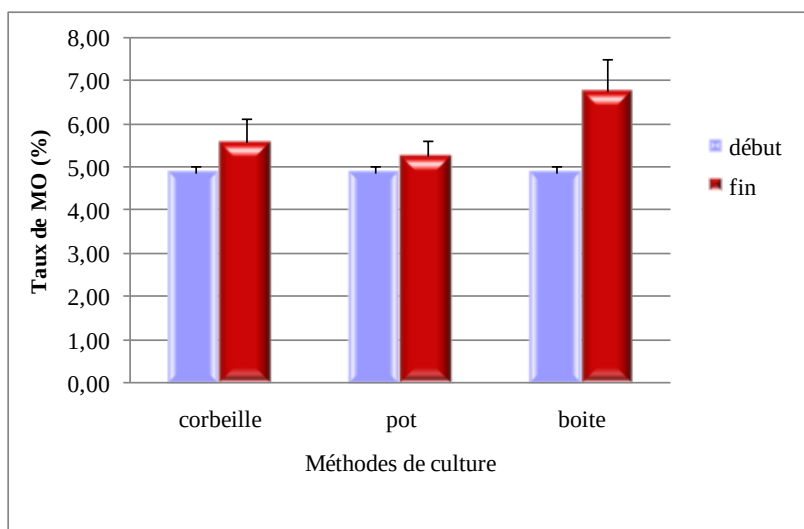


Figure 45. Variation du taux de la matière organique en fonction des méthodes de culture.

L'analyse de la variance effectuée montre une variation significative entre les méthodes de culture avec le taux de MO $F= 4.833$ et $pr= 0.029$ et une variation hautement significative avec le temps et le taux de la MO dans les substrats de culture $F= 03.086$ et $pr<0.000$ (Annexe 14).

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet des types de méthode de culture, a montré trois groupes homogènes, et deux pour le facteur temps (Fig. 46, Annexe 47).

Pour le facteur méthode de culture les groupes sont :

- Le groupe (A) représente la méthode de corbeille avec une valeur moyenne de 5,82 %.
- Le groupe (AB) représente la méthode de pots avec une valeur moyenne de 5,22%.
- Le groupe (B) représente la méthode de boite avec une valeur moyenne de 5,075 %.

Pour le facteur temps, les groupes sont :

- Le groupe (A) représente les temps de fin de l'essai avec une valeur moyenne de 5,87 %;
- Le groupe (B) représente les temps de début de l'essai avec une valeur moyenne de 4,87 %.

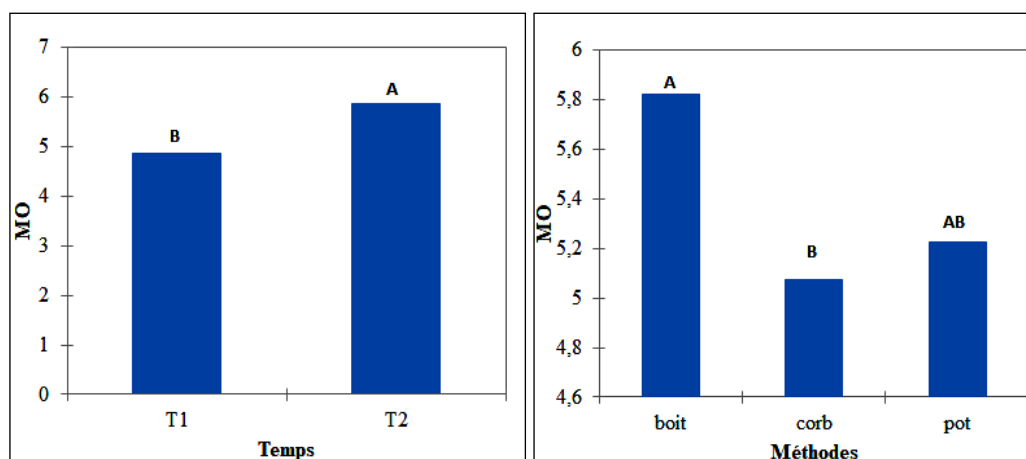


Figure 46. Effet des méthodes de culture et de temps sur le taux de la MO.

L'augmentation de taux de la matière organique dans les trois méthodes de culture est due probablement à l'accumulation des matières humiques provenant probablement des cadavres des vers. Les autres résultats des recherches restent variables. MISRA et *al.* (2005) par exemple, ont enregistré un taux de matière organique plus important de l'ordre de 9,3 % pour la méthode de boite. Les travaux de SUTHAR et SINGH (2008), et RAMNARAIN et *al.* (2019), montrent que le carbone et la matière organique de lombricompost diminue par rapport au substrat initial. Par contre OUAHRANI et RACHED-MOSBAH (2001) montrent que, le taux de matière et de carbone organique augmente avec le temps. En revanche BOUGHABA (2012) montre que l'augmentation de ce taux est observée pendant les cinq premier mois de culture puis elle diminue. WU et *al* (2019) montrent que la salinité influe négativement sur la minéralisation de carbone organique au cours de lombricompostage. La

corrélation entre le taux de la matière organique et le poids des lombrics possède un coefficient de Pearson négatif qui est $R = -0,593$. Ce qui montre que l'augmentation du poids des lombrics réduit significativement le taux de la MO (Annexe. 14).

Les valeurs d'azote total ont subies des variations. En traitement de pot, l'azote a diminué légèrement jusqu'à $0,12 \pm 0,05$ % par rapport au substrat initial à cause peut être de la lixiviation azoté. Cependant, les valeurs ont augmentées en fin d'essai dans les méthodes boîte et corbeille pour atteindre une valeur maximale dans cette dernière de $0,16 \pm 0,01$ % (Fig. 47).

L'analyse de la variance effectuée n'a montré aucune variation significative entre les méthodes de culture sur le taux d'azote $F = 1.185$ et $Pr = 0.339$ et aucune variation significative avec le temps $F = 1.017$ et $Pr = 0.333$ (Annexe 15).

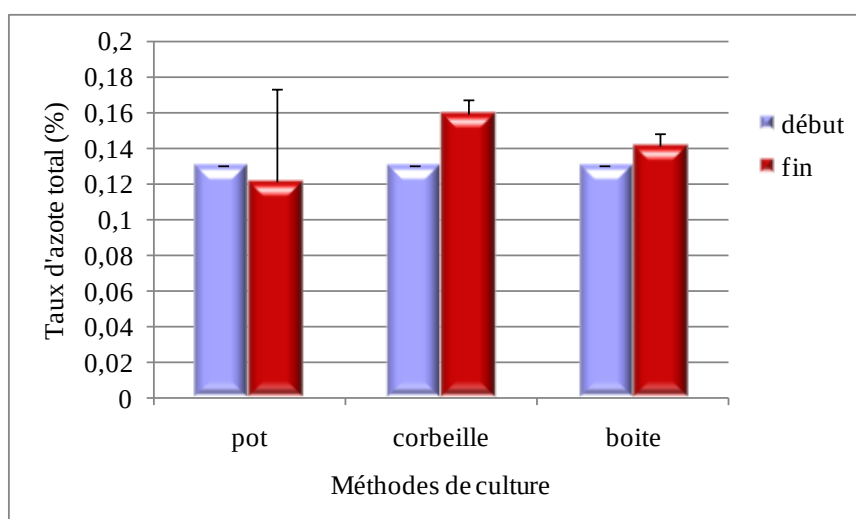


Figure 47. Variation du taux d'azote totale en fonction des méthodes de culture.

Nos résultats en générale semblent cadrer avec ceux de NAYAK et SAHU (2013), qui montrent que le taux d'azote augmente en présence des lombrics. D'après OUAHRANI et RACHED-MOSBAH. (2001), en fin d'essai, le taux d'azote enregistre une légère augmentation par rapport au substrat initial. Il varie de 1,25 à 1,8% (RAMNARAIN et al, 2019). En revanche BOUGHABA (2012) montre que le taux d'azote diminue au cours de dégradation des substrats par les vers. Cette variation de la dynamique azotée reste liée en générale au taux de minéralisation de la matière organique et au taux de lixiviation azoté. La corrélation entre le taux de l'azote et le nombre des lombrics procède un coefficient de

Pearson négatif ; qui est $R = -0,502$; l'augmentation de nombre des lombrics réduit significativement le taux de l'azote (Annexe.17).

Le rapport C/N augmente au cours de lombriculture (Fig.48) avec la méthode de corbeille et de boîte, par contre pour la méthode de pot, il reste constant. Les valeurs de rapport C/N varient de $21,8 \pm 0,74$ et de $33,1 \pm 21,5$ avec la méthode de corbeille. Ces rapports dans l'ensemble des méthodes montrent que la décomposition de la matière organique est lente (Annexe 28).

L'analyse de la variance effectuée n'a montré aucune variation significative entre les méthodes de culture sur le rapport C/N de substrats de culture $F = 0.925$ et $Pr = 0.423$ et aucune variation significative enregistrée avec le temps $F = 1.388$ et $Pr = 0.262$ (Annexe 16).

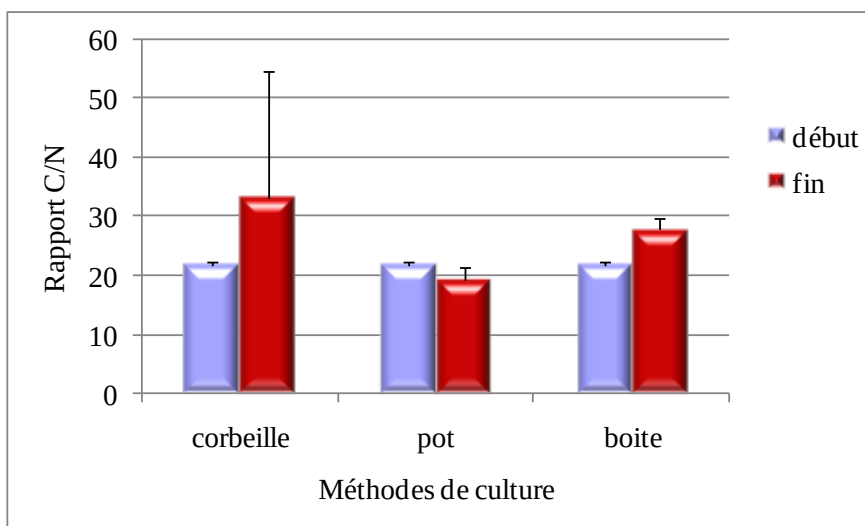


Figure 48. Variation du taux d'azote totale en fonction des méthodes de culture.

COULIBALY et *al.* (2011) ; BOUGHABA (2012) ; YADAV et GARG (2013); SONG et *al.* (2014) ; BARTHOD et *al.* (2020) constatent qu'en présence des lombrics, le rapport C/N diminue avec le temps. GARG et *al.* (2006) ce rapport varie entre 16,2 et 55,5. D'après l'étude de WU et *al.* (2019), la salinité influe négativement sur la dégradation de substrat initial. On constate que l'augmentation peut être due à la mauvaise minéralisation de la matière organique à cause de la présence des facteurs défavorables, tel que l'augmentation de la salinité.

2.4. Variation du taux d'humidité

Le taux d'humidité de substrat subit une diminution avec le temps dans tous les traitements. Cela favorise l'accumulation des sels et explique l'augmentation de la salinité dans les traitements. Sa valeur varie entre 44,24 % avec la méthode de corbeille après un jour, et 2,88 % après six jours, (Fig. 49). De 2 à 5 jours, ce taux diminue brusquement avec les méthodes de culture en boîtes et en corbeilles par rapport à la méthode en pots. Après 4 jours d'imbibition, avec la méthode de pot, le taux d'humidité est plus élevé par rapport aux autres méthodes. En revanche, le taux d'humidité du sol reste élevé, avec une légère augmentation. Il est passé de 28,95 % après un jour d'imbibition à 32,89 % après quatre jours. Ceci est dû probablement à l'humidité ascendante de la nappe phréatique superficielle. Les lombrics de la région de Ouargla vivent dans des sols non saturés en eau. On constate que la diminution de taux d'humidité dans les traitements par rapport au milieu naturel contribue probablement à la mortalité des lombrics. De ce fait, la culture des lombrics exige l'installation d'un dispositif proche des conditions naturelles d'humidité.

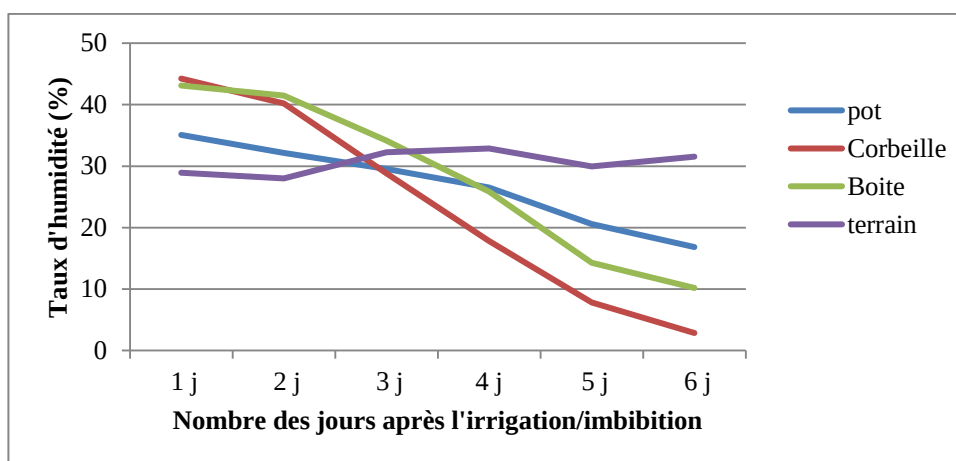


Figure 49. Variation de taux d'humidité dans les méthodes de cultures.

3. Choix de la densité des lombrics

3.1. Viabilité des lombrics

Les résultats de viabilité des lombrics montrent que le nombre des lombrics subit une diminution par rapport au début avec les densités 2 et 4 vers/pot. L'effectif total varie de 1 ± 1 à 2 avec la densité 2 vers/pot, et de $1,3 \pm 1,5$ à 4 avec la densité 4 vers/pot. Cependant, avec le traitement T3 les valeurs varient de 3 à 4,3 avec un taux de natalité de 44,44%, le nombre moyen de cocons est de $3,7 \pm 4,72$ et aucune mortalité n'est observée avec ce traitement (Fig. 50). On constate que la mortalité des lombrics dans la densité 2 vers/pot peut être due à l'effet de groupe alors que pour la densité de 4 vers/pot cela est due à l'insuffisance du substrat de l'élevage et de la densité de la mise en culture. L'analyse de la variance montre une variation significative entre les densités des vers sur le nombre des vers $F = 5.134$ et $Pr = 0.024$ et aucune variation significative n'est enregistrée avec le temps $F = 3.197$ et $Pr = 0.099$ (Annexe 18).

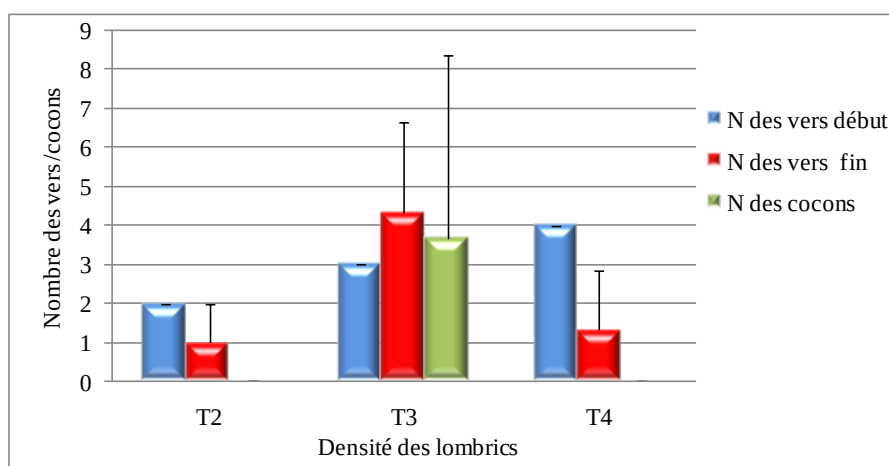


Figure 50. Viabilité des lombrics en fonction de nombre des lombrics.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet de la densité des lombrics, a montré trois groupes homogènes sont (Fig. 51, Annexe 48) :

- Le groupe (A) représente la densité T3 avec une valeur moyenne de 3,67.
- Le groupe (AB) représente la densité T4 avec une valeur moyenne de 2,67.
- Le groupe (B) représente la densité T2 avec une valeur moyenne de 1,5.

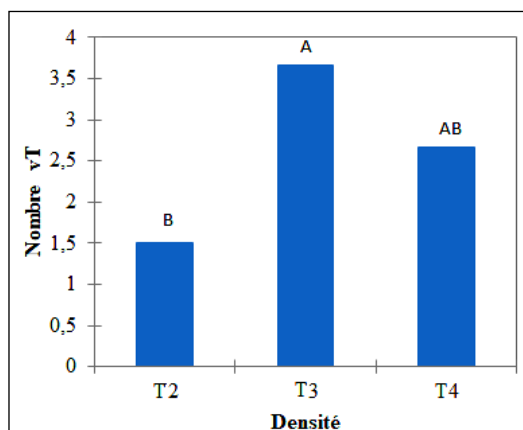


Figure 51. Effet de la densité des lombrics sur le nombre des lombrics.

Selon HOUNDONUGBO et *al.* (2017), l'efficacité de la production des vers dépend de la richesse des matières organiques constituant le substrat d'élevage et de la densité de mise en culture. Une tendance évolutive croissante du nombre de vers ainsi que la biomasse, avec une différence hautement significative ($P < 0,05$), est observée pour tous les traitements par rapport au témoin. COULIBALY et *al.* (2011) signalent que le nombre des lombrics et des cocons diminue avec l'augmentation de nombre des vers ; le meilleur résultat enregistré est avec la densité de 10 vers/kg pour le nombre des vers, et de 5 vers/kg pour le nombre des cocons obtenus.

Dans notre essai, le traitement T3 (3 vers par pot) enregistre le meilleur résultat par rapport aux autres traitements du point de vue natalité et production des cocos (Photo. 20 et 21).



Photo 20. Lombrics de traitement T3 en fin de lombriculture.



Photo 21. Cocons collectés en fin de lombriculture.

3.2. Variation de biomasse des lombrics

Les résultats montrent que la biomasse des lombrics varie de $1,26 \pm 0,15$ g avec le traitement T2 au début d'essai à $4,83 \pm 1,46$ g avec le traitement T3 en fin d'essai avec une moyenne de 2,26 g. Le poids des lombrics diminue avec le temps dans le traitement T4, alors que pour le traitement T2, le poids reste constant. Par ailleurs, le traitement T3 enregistre une augmentation de 2,67 fois le poids initial (Fig. 52). On constate que l'augmentation du poids des lombrics dans la densité 3vers/pot est due à suffisamment d'espace et de nourriture.

L'analyse de la variance effectuée montre une variation significative entre les densités des vers sur le poids des lombrics $F= 4.885$ et $Pr= 0.028$ et aucune variation significative enregistré avec le temps sur le poids $F= 1.885$ et $Pr= 0.195$ (Annexe 19).

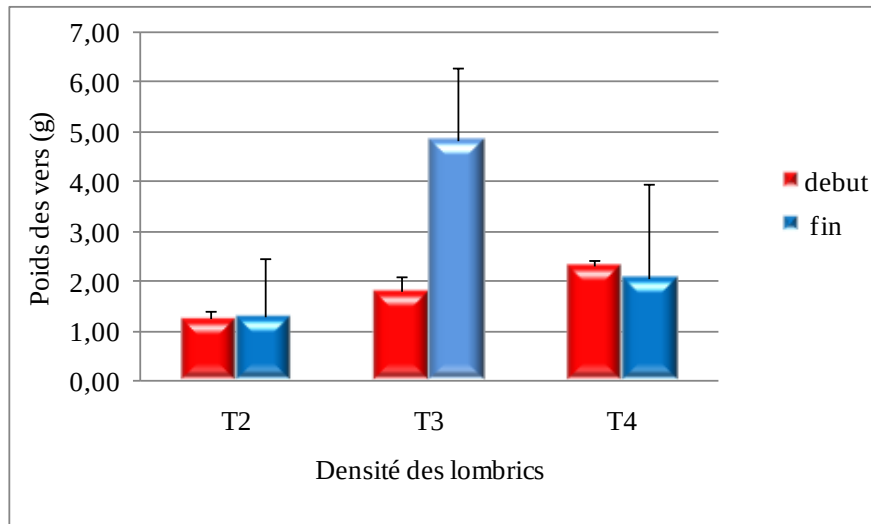


Figure 52. Variation de biomasse en fonction de poids des lombrics.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet de la densité des lombrics, a montré trois groupes homogènes (Fig. 53, Annexe 49).

- Le groupe (A) représente la densité T3 avec une valeur moyenne de 3,317 g.
- Le groupe (AB) représente la densité T4 avec une valeur moyenne de 2,180 g.
- Le groupe (B) représente la densité T2 avec une valeur moyenne de 1,275 g.

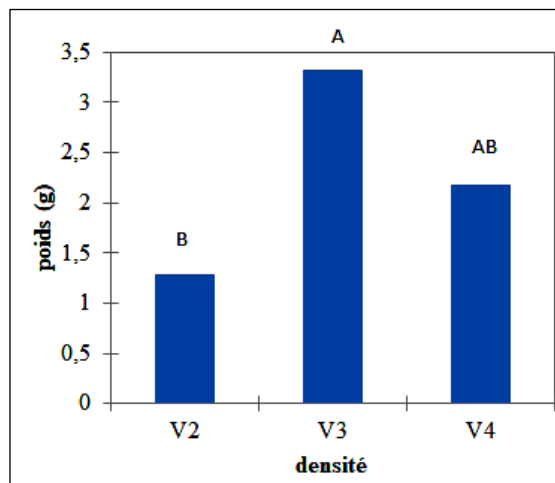


Figure 53. Effet de la densité des lombrics sur le poids des lombrics.

D'après NEUHAUSER et *al.* (1980 in KALE, 1993b), la production de quelques espèces des vers de terre élevée de biomasse peut atteindre une augmentation de 40 à 90 fois sur une période de 3 à 6 mois avec suffisamment d'espace et de nourriture. COULIBALY et *al.* (2011) signalent que la biomasse des lombrics diminue avec l'augmentation de nombre des vers, la valeur la plus haute enregistrée est de 10 vers/kg de substrat. Cela est peut être dû à l'épuisement de l'alimentation des vers (NAHRUL HAYAWIN et *al.*, 2010). Dans notre essai, l'espèce *Lumbricus terrestris* réagit positivement avec la densité 3 vers/pot.

3.3. Variation des paramètres physico-chimiques et chimiques

3.3.1. Paramètres physico-chimiques

3.3.1.1. pH

Les résultats montrent que le pH de lombricompost augmente au cours de l'essai dans tous les traitements. Le pH est passé de $6,9 \pm 0,1$ au début de l'essai à un niveau maximal de $7,65 \pm 0,09$ en fin de l'essai avec le traitement T4. A la fin de l'essai, les valeurs enregistrées sont très légèrement alcalin à légèrement alcalin (Fig. 54). L'analyse de la variance n'a montré aucune variation significative entre les densités des vers sur le pH $F=1.588$ et $Pr=0.244$ et une variation hautement significative sur le pH de substrat de culture avec le temps $F=261.980$ et $Pr<0.0001$ (Annexe 20).

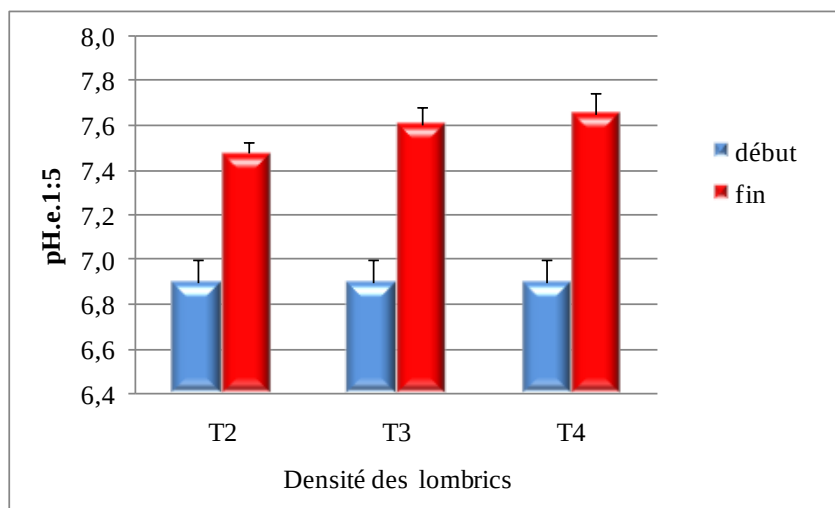


Figure 54. Variation de pH en fonction de nombre des lombrics.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet de facteur temps, a montré deux groupes (Fig. 55, Annexe

50) :

- Le groupe (A) représente la fin de lombriculture T2 avec une valeur moyenne de 7,58.
- Le groupe (B) représente le début de de lombriculture T1 avec une valeur moyenne de 6,9.

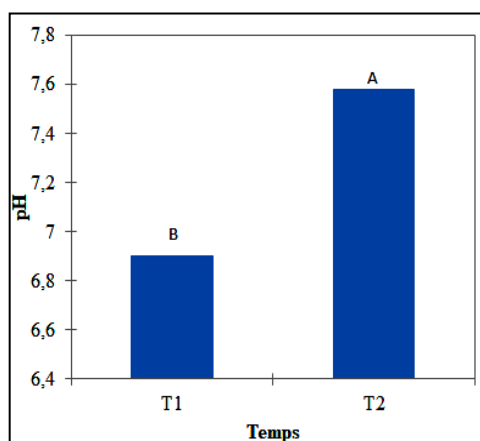


Figure 55. Effet du temps sur le pH de lombricompost.

Dans notre essai, les valeurs du pH $e.1:5$ dans les différents traitements sont le résultat de l'effet de l'irrigation et ne présentent pas un effet néfaste sur le poids et le nombre des lombrics. SUTHAR et SINGH (2008) montrent qu'en fin de lombricompost, le pH est proche de 7,5. Les vers de terre sont sensibles aux changements de pH $e.1:5$. Ils préfèrent des conditions neutres. Ils ne peuvent pas survivre si le pH est inférieur à 6 (GAJALAKSHMI et ABBASI, 2004). D'après COULIBALY et *al.* (2011), au cours de lombricompostage, le pH de lombricompost est basique ceci quel que soit la densité des lombrics, il diminue avec l'augmentation de nombre des vers. GOMEZ-BRANDON et *al.* (2013) montrent que, le pH varié de 7, 57 à 8,35. NAHRUL HAYAWIN et *al.* (2010) montrent qu'en présence des lombrics le pH de substrat initial augment.

3.3.1.2. Conductivité électrique

Les résultats montrent que la salinité diminue considérablement dans l'ensemble des traitements à cause peut-être de la dynamique descendante des sels. La CE $e.1:5$ qui est passé de $2,17 \pm 0,08$ dS.m⁻¹ au début d'essai à $0,59 \pm 0,06$ dS.m⁻¹ et $0,59 \pm 0,01$ dS.m⁻¹ avec les traitements T3 et T4 respectivement en fin de l'essai (Fig. 56). L'analyse de la variance effectuée n'a montré aucune variation significative entre les densités des vers sur la CE F=

1.246 et $Pr = 0.322$ et une variation hautement significative avec le temps sur la CE de substrat de culture $F = 2246.758$ et $Pr < 0.0001$ (Annexe 21).

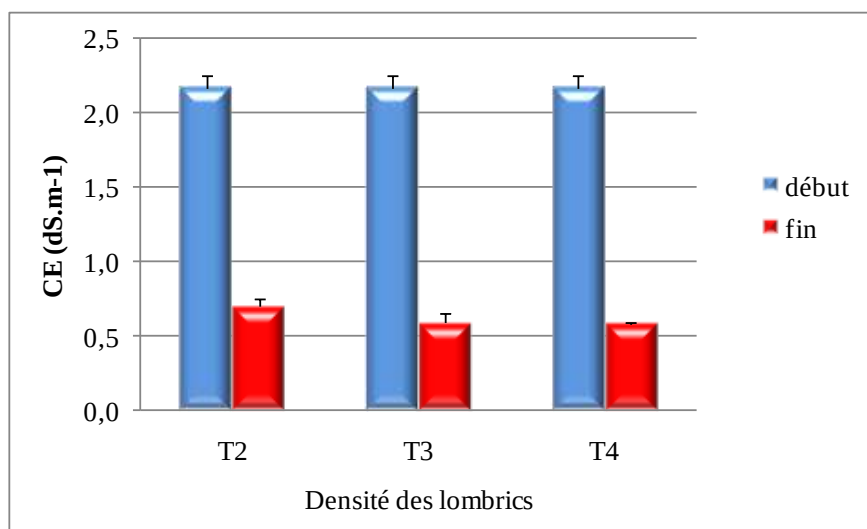


Figure 56. Variation de la conductivité électrique en fonction du nombre des lombrics.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet de facteur temps, a montré deux groupes homogènes (Fig. 57, Annexe 51) :

- Le groupe (A) représente le début de lombriculture avec une valeur moyenne de $2,17 \text{ dS.m}^{-1}$.
- Le groupe (B) représente la fin de lombriculture avec une valeur moyenne de $0,62 \text{ dS.m}^{-1}$.

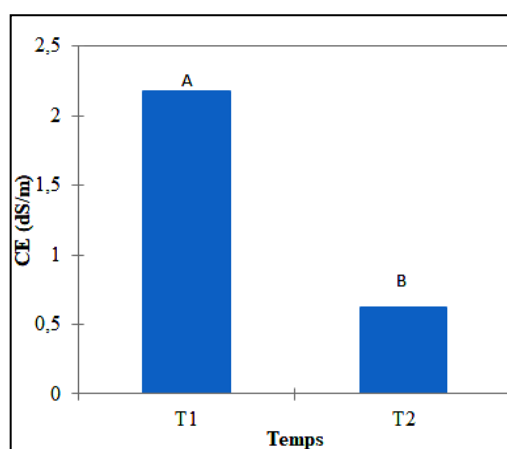


Figure 57. Effet de la densité des lombrics sur la $CE_{e.1:5}$ de lombricompost.

Les valeurs de la $CE_{e,1:5}$ dans les différents traitements sont proches les unes des autres. L'humidification du milieu de culture par submersion favorise la diminution de la salinité dans tous les traitements. Ce niveau de salinité est convenable à la culture des lombrics. De ce fait, la réduction de poids et de nombre des lombrics n'est pas liée à la salinité du sol. GARG et al. (2006) montrent que, la $CE_{e,1:5}$ de lombricompost est plus faible que le substrat initial.

3.3.2. Paramètres biochimiques

Les résultats d'étude montrent des variations biochimiques dans le taux de carbone et la matière organique, l'azote total et le rapport C/N.

Les résultats de l'essai montrent que le taux de carbone et de la matière organique a subi une diminution dans l'ensemble des traitements. Le taux de carbone organique est passé de $2,84 \pm 0,09$ % au début d'essai à un niveau minimum de $2,07 \pm 0,1$ % en T3 à la fin de l'essai (Fig.58). Le taux de la matière organique est passé, lui aussi, de $4,88 \pm 0,16$ % dans le substrat initial à une valeur minimale de $3,56 \pm 0,35$ % en T3 à la fin de l'essai (Fig.59).

L'analyse de la variance effectuée n'a montré aucune variation significative entre les densités des vers sur le taux de la matière organique de substrat de culture $F= 1.210$ et $Pr = 0.332$ et une variation hautement significative sur le taux de la MO avec le temps $F= 26.896$ et $Pr < 0.000$ (Annexe 22).

Le taux de carbone et de la matière organique diminue dans les différentes densités cela est due à la minéralisation des matières organiques et aux pertes de carbone des substrats par respiration microbienne sous forme de CO_2 .

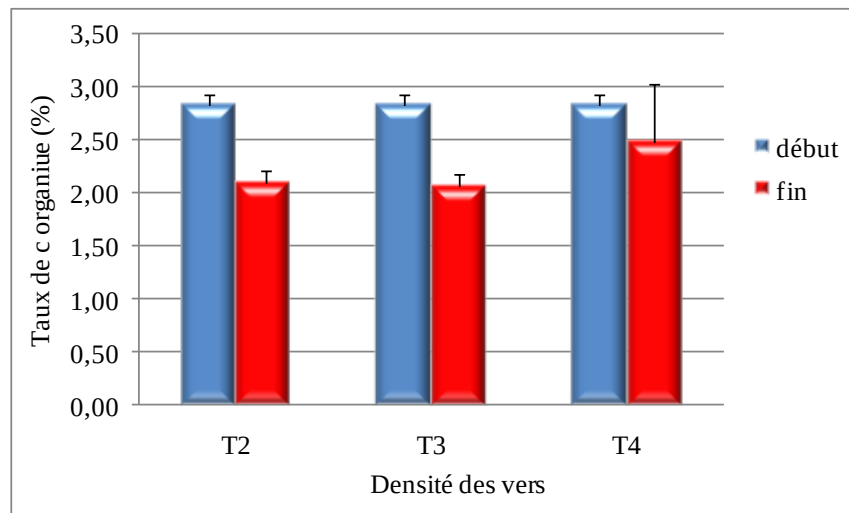


Figure 56. Variation du taux de carbone organique en fonction de nombre des lombrics.

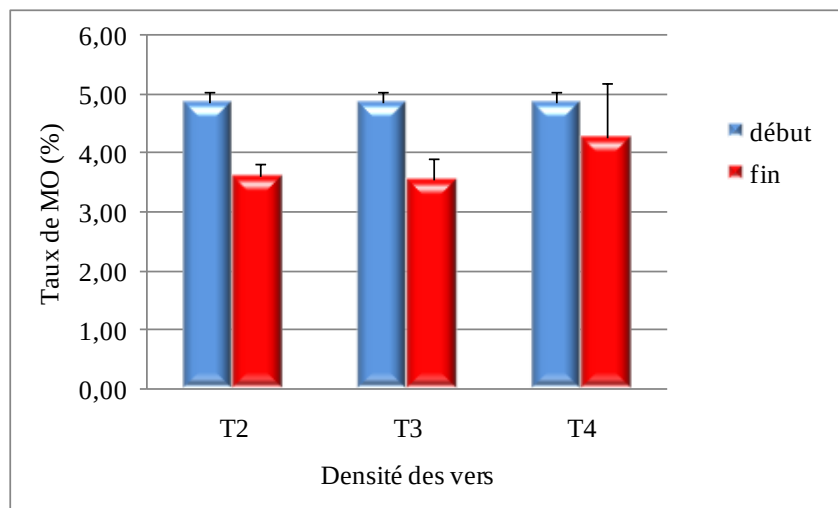


Figure 59. Variation du taux de la matière organique en fonction du nombre des lombrics.

Le test- Tukey (HSD) qui analyse les différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% relatif à l'effet de facteur temps, a montré deux groupes homogènes (Fig. 60, Annexe 52):

- Le groupe (A) représente le début de lombriculture avec une valeur moyenne de 4,87 %.
- Le groupe (B) représente la fin de lombriculture avec une valeur moyenne de 3,8 %.

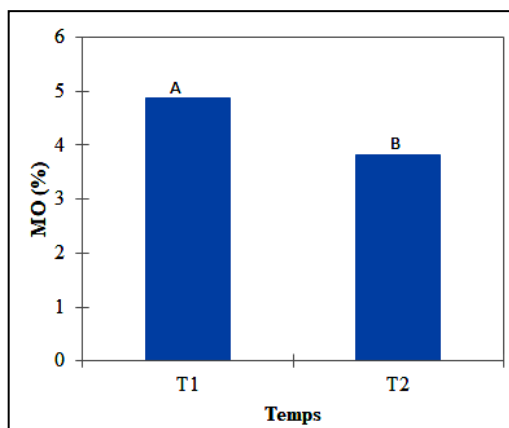


Figure 60. Effet de la densité des lombrics sur la MO de lombricompost.

SUTHAR et SINGH (2008) ; OUAHRANI et RACHED-MOSBAH (2001) montrent que la teneur en carbone organique a une réduction considérable dans lombricompost. D'après l'étude de (GOMEZ-BRANDON et *al.*, 2013), le taux de carbone organique enregistre une légère diminution. Ce taux est plus faible dans le lombricompost que dans la matière première, ce qu'indiquent que les vers de terre ont accéléré la décomposition de la matière organique (RAMNARAIN et *al.*, 2019). COULIBALY et *al.* (2011) montrent que le taux de carbone organique diminue avec le temps et avec l'augmentation de nombre des vers. Donc, la mise en place de l'essai dans des conditions naturelles favorise l'activité des lombrics. La corrélation entre le taux de MO et le poids présente un coefficient de Spearman négatif $R = -0,4994$. L'augmentation du poids des lombrics réduit significativement le taux de la matière organique (Annexe 25).

Les teneurs d'azote total ont subi des variations (Fig. 61). Les valeurs d'azote ont subi une diminution en T4 et T2 où nous avons enregistré dans ce dernier traitement une valeur minimale de $0,04 \pm 0,01$ %. L'évolution de l'azote totale au cours de lombriculture, montre aussi qu'il y a une augmentation dans le traitement T3 estimé à $0,18 \pm 0,13\%$.

L'analyse de la variance effectuée n'a montré aucune variation significative entre les densités des vers avec le taux d'azote dans les substrats de culture $F = 1.641$ et $Pr = 0.234$ et aucune variation significative avec le temps sur le taux d'azote $F = 0.334$ et $Pr = 0.574$ (Annexe 23).

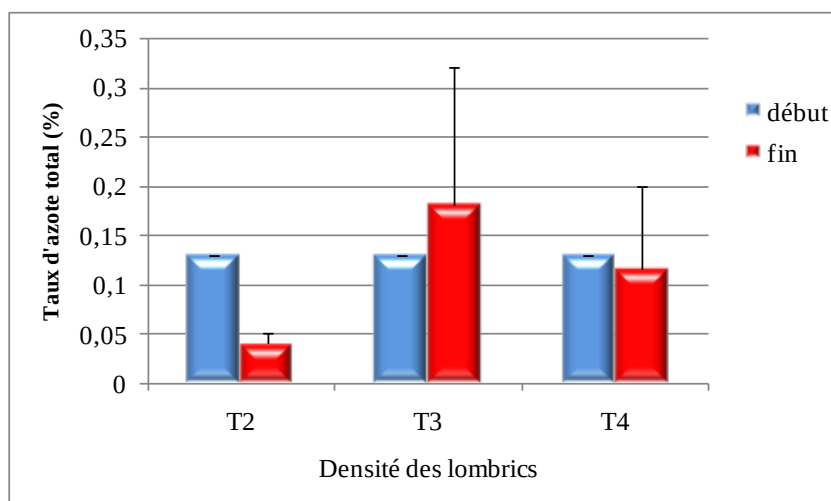


Figure 61. Variation du taux d'azote total en fonction de nombre des lombrics.

En générale, les études montrent que le taux d'azote augmente à la fin des essais. D'après OUAHRANI et RACHED-MOSBAH (2001), à la fin de l'essai, le taux d'azote enregistre une légère augmentation par rapport au substrat initial. COULIBALY et *al.* (2011) montrent que le taux d'azote augmente avec le temps et avec l'augmentation du nombre des vers. BOUGHABA (2012) montre que l'augmentation est due à leur fixation microbienne dans les substrats. Cependant la diminution d'azote peut être due à leur perte par volatilisation de l'ammoniac et de composés azotés volatiles d'origine organique, comme les amines volatiles ou bien par le lessivage des nitrates provenant du processus de nitrification, et par la volatilisation des produits de la dénitrification (NO , N_2O , et...), subséquente à la nitrification (BOCHOVE, 1993). La corrélation entre le taux d'azote et le nombre des lombrics présente un coefficient de Pearson positif qui est $R=0,5809$. Ce qui montre que le nombre des lombrics augmente significativement avec l'augmentation de taux d'azote (Annexe 25).

Les résultats montrent que la décomposition des matières organiques est variable dans les différents traitements. Les valeurs de rapport C/N varient de $21,8 \pm 0,74$ avec le traitement T3 et $54,3 \pm 10,8$ avec le traitement T2. Ce rapport reste presque constant au cours de lombriculture avec le traitement T3 et augmente avec le traitement T2 (Fig. 62) et cela en fin d'essai. La bonne décomposition de la matière organique est enregistrée avec la densité 3 vers/pot par rapport aux autres densités. L'augmentation du rapport C/N peut être due à la diminution de taux d'azote par volatilisation de l'ammoniac ou bien par le lessivage des nitrates.

L'analyse de la variance effectuée n'a montré aucune variation significative entre les densités des vers sur le rapport C/N $F= 0.854$ et $Pr= 0.450$ et aucune variation significative enregistrée avec le temps sur ce dernier $F= 3.607$ et $Pr= 0.082$ (Annexe 24).

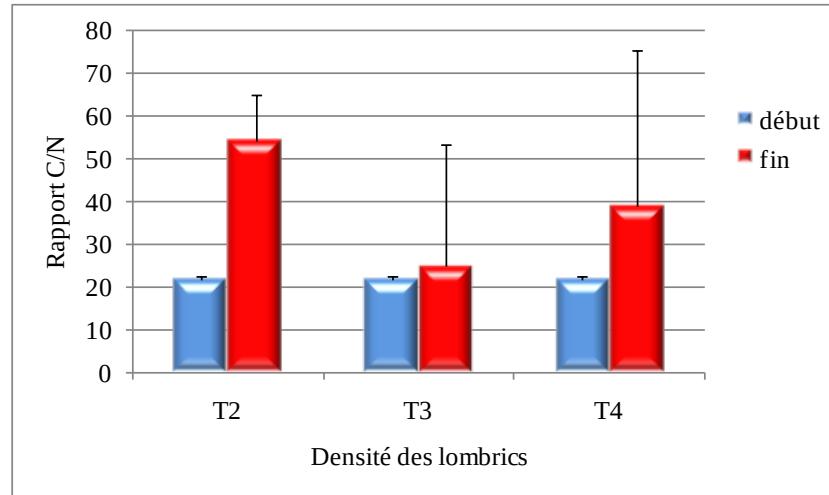


Figure 62. Variation du rapport C/N en fonction de nombre des lombrics.

Le rapport C/N est un des critères utilisés pour évaluer le substrat d'élevage des vers de terre (FRANCIS et *al.*, 2003). Ce rapport diminue en présence des vers (OUAHRANI et RACHED-MOSBAH, 2001 ; SUTHAR et SINGH, 2008). Ce rapport est de 13 à 16 (RAMNARAIN et *al.*, 2019). COULIBALY et *al.* (2011) montrent que le rapport C/N diminue avec le temps et avec l'augmentation de nombre des vers.

4. Modèle proposé de lombriculture

Finalement, la proposition de modèles de lombriculture sera possible pour l'environnement de Ouargla grâce aux résultats de nos recherches et les normes internationales de l'élevage des vers de terre. Nous allons procéder dans notre approche en plusieurs étapes :

1. exposer les dispositifs de lombriculture utilisés à échelle internationale,
2. choisir les dispositifs adaptés à Ouargla et similaires à nos essais significatifs,
3. Définir le mode de conduite de lombriculture :
 - a. Les paramètres pédoclimatiques adéquates
 - b. Le poids de pré-compost par dispositif,

- c. La nature et la préparation du pré-compost,
 - d. La densité initiale des lombrics
 - e. La récolte des lombrics
4. Estimer la rente prévisionnelle de lombriculture

4.1. Dispositifs de lombriculture

Les fermes lombricoles dans le monde utilisent plusieurs méthodes de lombriculture, parmi elles, nous pouvons nommer (Photo 22, 2, 3 et 4) :

- Lombriculture dans des bacs en bois,
- Lombriculture en bac bétonnée,
- Lombriculture en bac plastique,
- Lombriculture en andain.



Photo 22. Lombriculture dans des bacs en bois
(versattitude.blogspot.com)



Photo 3. Lombriculture en bac bétonné (AMIC et DALMASSO, 2012).



Photo 2. Lombriculture en bac plastique (MULCIBA et *al.*, 2017)



Photo 4. Lombriculture en andain (HERCY, 2011).

4.2. Dispositif proposé à Ouargla

Dans le cadre de cette étude, nous proposons deux dispositifs, le premier installé sur sol et le second enfoui dans le sol des palmeraies.

4.2.1. Dispositif sur le sol

Le dispositif sur le sol peut être installé dans le microclimat des palmeraies ou bien à l'ombre hors palmeraie. Nous recommandons d'éviter les conteneurs en plastique, et d'utiliser ceux en bois pour stimuler l'activité et la production des lombrics. Le dispositif sur le sol doit présenter les critères suivants (Fig. 63) :

- L'utilisation des bacs en bois pour maintenir l'humidité, d'un diamètre (D) et d'une hauteur (h) satisfaisante.
- L'utilisation d'un système goutte à goutte pour l'humectation de substrat.
- En dehors des palmeraies, l'ombrage des unités de lombriculture s'avère important pour créer un microclimat.

-Couvrir aussi de dispositif par un couvercle qui empêche la pénétration de la lumière et limite le contact avec les conditions climatiques.

-Protéger les unités de lombriculture contre les fourmis par des plantes insectifuges ou des produits autorisés en agriculture biologique telle que la glu (LAGET et *al.*,2015) ou la cendre de bois ou de la chaux (LPO, 2016 ;).

-Pour un hectare environ 1600 bacs peuvent être installés.

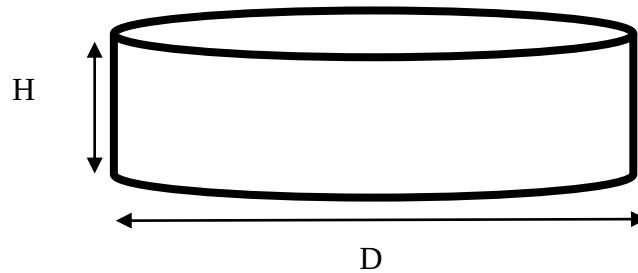
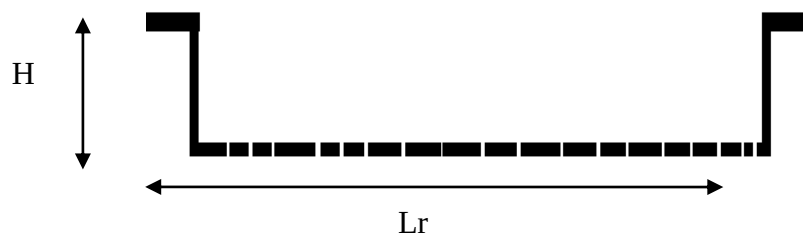


Figure 63. Vue de face du dispositif sur le sol

4.2.2. Dispositif enfouie dans le sol

Le dispositif est constitué de conteneurs de lombriculture cubiques de hauteur (H), de longueur (Lg) et largeur (Lr) satisfaisante, disposant au fond d'orifices de drainage. Ils sont enterrés, complètement ou partiellement, dans le sol (Fig. 64 et 65). Pour un hectare environ 500 planches de lombriculture sont nécessaires.



H: 0.2 m; Lr: 1 m.

Figure 64. Vue de la coupe latérale du dispositif.

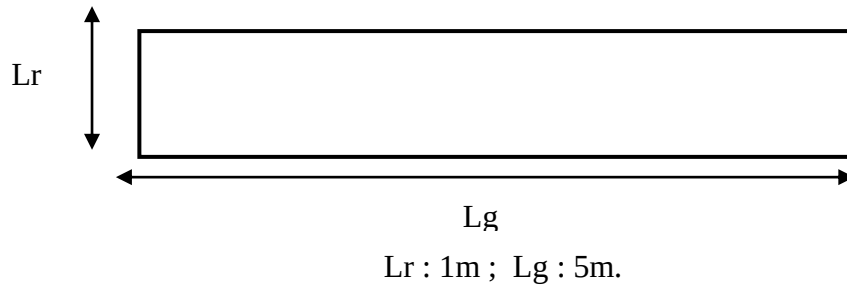


Figure 65. Vue longitudinale au-dessus du dispositif.

4.3. Mode de conduite de lombriculture

4.3.1. Paramètres pédoclimatiques

Les dispositifs doivent être installés dans des conditions pédoclimatiques particulières pour réussir lombriculture. D'après les résultats de notre étude et les normes internationales, les paramètres pédoclimatiques indispensables au développement des lombrics sont :

➤ **Température** : La température d'air où le lombriculture est installé doit être ambiante pour les vers, parce que les lombrics travailleront efficacement à des températures allant de 15 °C à 25 °C (MORIN et *al.*, 2004). De ce fait, pendant la période de Mars à Novembre, la culture des lombrics exige une climatisation si lombriculture est hors palmeraie.

➤ **Humidité du sol** : D'après nos résultats, il faut maintenir l'humidité de pré-compost environ 30 et 35% dans le cas de l'espèce *Lumbricus terrestris*. Si la culture est hors palmeraie, on propose que l'humectation soit faite chaque trois jours où nous recommandons un système d'arrosage goutte à goutte (Fig. 66).

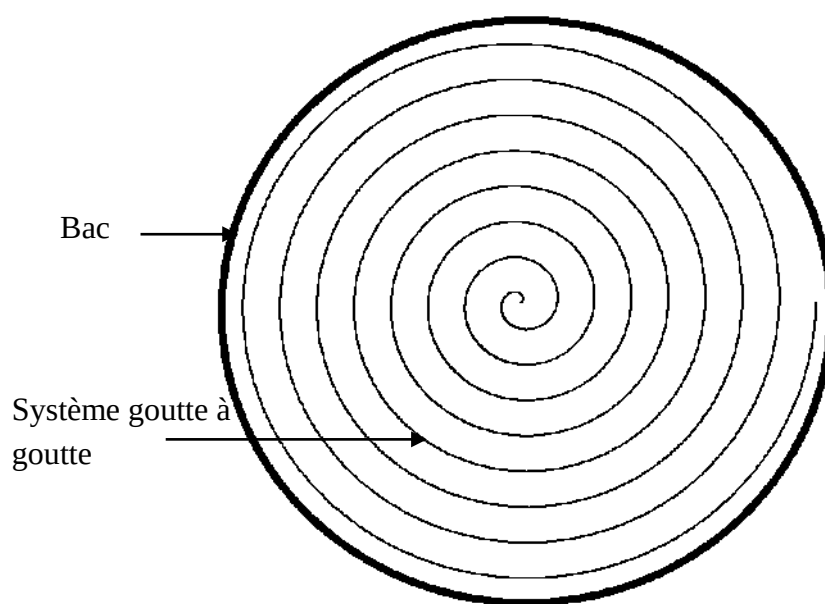


Figure 66. Système d'humidification de lombriculture.

4.3.2. Poids de pré-compost par dispositif

Le volume de pot est de $10^{-3} \times 4 \text{ m}^3$ ce qui correspond à 800g de substrat de culture. La quantité de pré-compost nécessaire pour une planche de 1 m de largeur, 5 m de longueur et 0,2 m de profondeur est de 20 kg. Pour un hectare environ 500 planches de lombriculture sont nécessaires donc environ 10 t de pré-compost.

Dans le cas d'un bac cylindrique de 1 m d'hauteur (dont 15 -20 cm enterré) et de 2 m de diamètre dont le volume est de $3,14 \text{ m}^3$; la quantité de pré-compost nécessaire est de 62,8 kg en poids humide. Pour un hectare environ 1600 bacs peuvent être installés, donc environ 100,48 t de pré-compost sont nécessaires.

AMIC et DALMASSO (2012) signalent que les bacs de lombriculture sont de 45 m de long sur 2 m de large et 2,5 m de profondeur (dont 1,5 m enterré).

4.3.3. Nature et préparation du pré-compost

Le substrat de culture est préparé comme suit :

➤ **Broyage de déchets** : les déchets de palmier sont séchés et broyés en petits morceaux à l'aide d'un broyeur avec des mailles à 2 mm de taille.

➤ **Trempage** : après le broyage de déchets, il faut tremper ces derniers dans l'eau pendant une semaine pour faciliter leur dégradation et leur digestion par les lombrics.

➤ **Fabrication de pré-compost** : le substrat de culture des lombrics est constitué d'un mélange de : 1 volume de pré-compost avec 4 volumes du sol de palmeraie. La préparation du pré-compost est réalisée comme suit :

✓ Les substances sont constituées de 4 volumes de déchets de palmiers dattiers (cornefs avec palmes) ; et d'un volume de fiente de volaille broyée ;

✓ les deux substances sont homogénéisées et conservées dans des sacs en plastique perforés durant 10 jours pour accélérer leur dégradation.

4.3.4. Densité des lombrics

La densité initiale proposée pour la lombriculture est de 3 vers adultes pour 800 g de substrat de culture. Une planche de 1m^3 nécessite 750 vers, soit 125×10^3 vers pour un hectare. Un bac cylindrique de $3,14\text{ m}^3$ nécessite environ 2355 vers. Donc, un hectare nécessite environ 3768×10^3 vers.

4.3.5. Récolte des lombrics

La récolte des lombrics se fait après 4 mois de culture manuellement ou bien par récolteuse. Une planche de 1m^3 nécessite 0,5kg des vers de terre, soit environ 250 kg pour un hectare. De ce fait, Une planche produit environ 1,4 kg des vers et de 700 kg pour un hectare. Un bac cylindrique de $3,14\text{ m}^3$ nécessite environ 1,5kg des vers et produit environ 4 kg des vers. Donc, un hectare nécessite environ 2400 kg de vers et en produit environ 6408 kg.

4.4. Rente prévisionnelle de lombriculture

Le prix d'un kilogramme des lombrics peut atteindre 120 euros. La ferme lombricole de Provence vend 1 kg de lombrics à 44 euros (FLP, 2021). La ferme Lombricole du pays de Josselin vend les 250 g des lombrics à 30 € (FLJ, 2021). De ce fait, on a estimé pour un bac cylindrique la rente moyenne est d'environ 328 € (55000 DZD), pour un hectare, elle est de 524800 €. Alors que, pour une planche la rente moyenne est environ 114 € (19000 DZD) soit de 57000 € pour un hectare.

5. Conclusion

L'étude des méthodes de lombriculture montrent, après les essais effectués, que le comportement des lombrics par rapport aux méthodes de culture est variable. Les essais montrent que la méthode des pots donne les meilleurs résultats : le nombre des lombrics diminue avec les méthodes de culture en boîte et en corbeille et une augmentation légèrement observée en pot. Ainsi le poids des lombrics diminue avec le temps dans tous les traitements. Néanmoins, cette diminution reste minime dans les pots. Les valeurs du pH pour les trois méthodes sont proches et restent convenables pour la vie et la reproduction des lombrics. Alors que la $CE_{e,1:5}$ augmente avec le temps dans tous les traitements. La chute de poids et la mortalité des lombrics dans la méthode de corbeille et de boîte peuvent être causées par l'augmentation de la salinité. Une légère augmentation de taux d'azote enregistrée avec les méthodes de boîte et de corbeille, et une diminution pour la méthode de pot. La culture des lombrics exige l'installation d'un dispositif proche des conditions naturelles notamment l'humidité et un niveau de salinité plus faible.

L'étude de choix de la densité des lombrics montre que la culture de l'espèce *Lumbricus terrestris* avec la densité 3 vers par pot enregistre le meilleur résultat de point de vue natalité, production des cocons et décomposition de la matière organique. Cette densité enregistre une augmentation de 2,67 fois le poids initial. L'installation de lombriculture sur le terrain favorise le maintien d'un pH et d'une salinité convenable à la culture des lombrics. Le nombre des lombrics augmente significativement avec l'augmentation de taux d'azote, et l'augmentation du poids des lombrics réduit significativement le taux de la matière organique. Enfin, sur la base des critères prédéfinis, nous proposons pour Ouargla des dispositifs en forme de pot qui optimisent la viabilité, la biomasse des lombrics et leurs réactions avec le substrat de lombriculture. Les estimations de rentabilité financière attendue semblent prometteuses.

Conclusion générale

Conclusion générale

A la lumière des résultats de nos travaux de recherche, et au terme de cette modeste contribution, nous pouvons conclure que les sols des palmeraies d'études sont squelettiques, non salés à salés, légèrement à très fortement alcalins, non calcaires et riches en matières organiques. Les lombrics semblent bien adaptés aux les conditions hydro-édaphiques où ils occupent seulement les 20 premiers centimètres des sols de palmeraies pour fuir l'asphyxie et le stress salin. Les résultats montrent que le nombre de vers juvéniles est plus élevé par rapport aux vers adultes dans toutes les palmeraies d'étude. Ce qui indique que la période hivernale d'échantillonnage coïncide avec celle de l'éclosion des cocons.

L'étude des conditions de lombriculture montre que la natalité des lombrics est optimale dans le traitement de substrat à base de palme-sols avec une faible quantité du fumier. Dans ce milieu, les lombrics maintiennent leurs poids. Quoique les résultats montrent qu'en général, l'espèce choisie pour notre essai a réagi négativement aux milieux de culture même avec ce taux de natalité et de l'éclosion des cocons. Le milieu de culture nécessite une amélioration pour l'espèce *Aporrectodea longa*. Le pH de différents substrats de culture est proche du celui de milieu de vie des lombrics, il est légèrement alcalin. La salinisation de lombricompost réduit la biomasse des lombrics. En conséquence, l'espèce utilisée ne peut pas s'adapter à cette variation de salinité. Les conditions hydro-édaphiques et nutritionnels du substrat à base de palme-sols ont permis aux lombrics d'évoluer dans de bonnes conditions d'humidité et d'enrichir le substrat en matière organique. Ce milieu de culture est considéré en définitif comme le plus adéquat pour lombriculture de point de vue des taux de mortalité, de natalité et de salinité.

L'étude des méthodes de lombriculture sur l'espèce *Lumbricus terrestris* montrent, après les essais effectués, que le comportement des lombrics par rapport aux méthodes de culture est variable. Les essais montrent que la méthode des pots donne les meilleurs résultats en nombre et poids des lombrics. Les valeurs du pH pour cette méthode restent convenables pour la vie et la reproduction des lombrics. Néanmoins, l'augmentation de la salinité dans celle-ci semble réduire le poids des lombrics. La culture des lombrics exige l'installation d'un dispositif proche des conditions naturelles notamment d'humidité et de salinité.

L'étude de choix de la densité des lombrics montre que la culture de l'espèce *Lumbricus terrestris* avec la densité 3 vers par pot enregistre le meilleur résultat du point de

vue natalité, production des cocons, biomasse, décomposition de la matière organique et minéralisation azotée.

Enfin, sur la base des critères prédéfinis, nous proposons pour Ouargla deux dispositifs inspirés de la forme de pot et utilisés en lombriculture à savoir les dispositifs planche et bac cylindrique. Ils seront installés sur les sols des palmeraies ou enfouis en partie dans ces derniers. L'estimation de biomasse produite révèle un rendement lombric maximal dépassant 6 t/ha dans le dispositif de bac cylindrique et une rente financière importante en devise par rapport au marché européen.

La méthode de lombriculture proposée à l'issue de cette étude reste un modèle préliminaire qu'il faut améliorer. Il est nécessaire de chercher la profondeur de compost dans lombricomposteur toléré par les vers dans lombriculture ; de tester d'autre type de vers pour optimiser la lombriculture ; d'optimiser la récolte lombric par des essais de temps de culture ; d'optimiser les paramètres du milieu de culture (pH, salinité et calcaire...etc.).

Egalement, la présence des lombrics dans les palmerais de Ouargla, nous encourage à recommander des études sur la valorisation des autres ressources organiques sahariennes par les lombrics, la bio-remédiation par les vers de terre des eaux usées et des déchets organiques urbains, les interactions existantes au cours de lombriculture entre les vers de terre et la pédo-faune ainsi que la pédo-flore. Aussi, de faire des études agro-économiques sur lombriculture et la valorisation de déchets de palmiers par le processus de lombricompost, et de mettre en place des projets visant à transformer les déchets végétaux en engrais de qualité (le compost et lombricompost).

Les résultats de lombriculture obtenus dans la région de Ouargla et les prévisions attendues à l'échelle agro-environnementale et socio-économique nous encourage à préconiser le développement de la culture des vers de terre qui va assurer le développement de deux secteurs alimentaires stratégiques : la pisciculture et l'agriculture biologique. En fin, les résultats obtenus ouvriront la voie pour d'autres travaux futurs sur la valorisation des ressources biologiques sahariennes et contribueront ainsi au développement durable de l'agriculture saharienne et la conservation de son environnement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. ABUL-SOUD M., HASSANEIN M. K., ABLMAATY S.M., MEDANY M. and ABU-HADID A.F., 2009- Vermiculture and vermicomposting technologies use in sustainable agriculture in Egypt, Egypt. J. Agric. Res., 87 (1): 389 – 401.
2. ALIOUA Y., BISSATI S., KHERBOUCHE O., 2012-PLACE DES ARAIGNÉES DANS L'ÉCOSYSTÈME PALMERAIE DE LA CUVETTE DE OUARGLA (NORD-EST ALGÉRIEN), Revue des BioRessources, 2(1) : 21-32. (<https://www.researchgate.net.>).
3. AMIC A. et DALMASSO C., 2012- Unité de valorisation complète de déchets oléicoles par lombricompostage : Production de produits à haute valeur ajoutée : lombricompost, savon, collagène et lombrics, Université Aix-Marseille, 49p.
4. ASGARI SAFDAR H. and MORADI KOR N., 2014- Vermicompost and vermiculture: structure, benefits and usage, International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, Vol 2, Issue 3, 2014: 775-782.
5. AUBERT G., 1978- Méthodes d'analyses des sols, C.R.D.P., Marseille, 189p.
6. AZIZI R., 2017- Etude comparative entre le compost et lombricompost a base des déchets végétaux dans la cuvette de Ouargla, Mémoire de Master, Univ. KASDI MERBAH, Ouargla, 59p.
7. BACHELIER G., 1971 - La vie animale dans les sols, INA, Paris, 82p.
8. BACHELIER G., 1978- La faune des sols son écologie et son action. O.R.S.T.O.M, Paris, 400p.
9. BACSUJLAKY M. and HEBERT M., 2013- Composting with worms, University of Alaska Fairbanks, HGA-01020, 4p.
10. BAIZE D., 2000. Guide des analyses en pédologie choix- expression- présentation- interprétation. Ed. INRA France. 247p.
11. BARTHOD J., DIGNAC M.F., LE MER G., BOTTINELLI N., WATTEAU F., KÖGEL-KNABNER I and RUMPEL C., 2020- How do earthworms affect organic matter decomposition in the presence of clay-sized minerals?, Soil Biology and Biochemistry 143, 10p.
12. BAZRI K., OUAHRANI G., GHERIBI-AOULMI Z et DÍAZ COSÍN D. J., 2013- La diversité des lombriciens dans l'Est algérien depuis la côte jusqu'au désert, ecologiamediterranea – 39 (2), 13p.
13. BELHADJ H., DOUMANDJI-MITICHE B. & GUENDOUZ-BENRIMA A., 2014- ORTHOPTEROLOGIC FAUNA OF OUARGLA OASIS, International Journal of Zoology and Research (IJZR), TJPRC, Vol. 4, Issue 4, Aug 2014: 11-26 .

14. BENARABI H., 2018- Impact d'un complexe des microorganismes sur lombricompost de quelques amendements organiques, Mémoire de Master, Univ. KASDI MERBAH, Ouargla, 55p.
15. BERKAL I., 2016- Dynamique spatiotemporelle de la salinité de sols sableux irrigués en milieu aride. Application à une palmeraie de la cuvette de Ouargla en Algérie, Thèse de Doctorat, ENSA, Alger, 169 p.
16. BERKELAAR et MOTIS ,2009- Génération de revenus et autres avantages du lombricompostage , EDN n° (104),10p.
17. BIERNBAUM J A, 2015- Vermicomposting and Vermiculture Systems for Cold Climates, 10p.
18. BOCHOVE E. V., 1993- L'ÉTUDE DU CYCLE DE L'AZOTE DANS LE PROCESSUS DE COMPOSTAGE: LE CAS DU FUMIER DE BOVIN, Thèse. Doct, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC, 190p.
19. BOUGHABA R., 2012- ETUDE DE LA GESTION ET VALORISATION DES FIENTES PAR LE LOMBRICOMPOSTAGE DANS LA WILLAYA DE CONSTANTINE, Thès. Mag, Université de Mentouri, Gestion des déchets,Constantine, 100p.
20. BYAMBAS P, 2020- PERPECTIVE DE DEVELOPPEMENT DE LA LOMBRICULTURE A EUDRILUS EUGENIAE POUR L'ALIMENTATION DES VOLAILLES AU GABON, Thèse DOCT, UNIVERSITE DE LIEGE, SCIENCES VETERINAIRES, Wallonie,142p.
21. BYAMBAS P., LEMTIRI A., HORNICK J L., NDONG T B., FRANCIS F., 2017- Rôles et caractéristiques morphologiques du ver de terre *Eudrilus eugeniae* (synthèse bibliographique), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 21(2), 160-170.
22. CALVET., 2003- Le sol : Propriétés et fonctions tome 1 Constitution, Structure Phénomènes aux interfaces. France Agricole, Paris, 456p.
23. CAPITAL SOL, 2005- Influence de la fertilisation basique calcique et magnésienne sur la population lombricienne, la Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux Grasses et Magnésiennes, N° 16 printemps 2005, 4p.
24. CHAOUI H., 2010- Vermicompostage (ou lombricompostage) : Le traitement des déchets organiques par les vers de terre. n° 10-010, Ontario, 8p.
25. CLUZEAU D., PERES G., THOMAS F., 2011- L'importance de la biodiversité du sol : le cas du ver de terre, Eau et Rivières de Bretagne - Colloque 2011 - L'eau et les sols :14-22.
26. COULIBALY S., KOUASSI K I., TONDOH E J ., ZORO B I A ., 2011- Impact of the Population Size of the Earthworm *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) on the Stabilization of Animal Wastes during Vermicomposting, PHILIPP AGRIC SCIENTIST, Vol. 94 N°. 4, 88-95.

27. DADAMOOUSSA M L., 2007- « Les Effets Induits des Différents Programmes de Développement Agricole sur la Préservation de l'Ecosystème Saharien. - Cas de la Région de Ouargla - », Mémoire de Magister, Université KasdiMerbah - Ouargla, 113p.
28. DADDI BOUHOUN M., SAKER M L., OULD EL HADJ M D., BRINIS L., 2011- Impact des niveaux des croutes gypseuses sur la dynamique des sels dans les sols irrigués de la cuvette de Ouargla (Sud Est Algérien), 1er Séminaire International sur la Ressource en eau au Sahara : Evaluation, Economie et Protection. Le 19 et 20 janvier 2011, Univ. KASDI Merbah-Ouargla: 433-435.
29. DADDI BOUHOUN M., SAKER M L., HACINI M., BOUTOUTAOU D., OULD EL HADJ M D., 2013- THE SOIL DEGRADATION IN THE OUARGLA BASIN: A STEP TOWARDS THE DESERTIFICATION OF THE PALM PLANTATIONS (NORTH EAST SAHARA ALGERIA), International Journal of Environment & Water, Vol 2, Issue 1, 2013:93-98.
30. DADDI BOUHOUN., 2010- Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (sud-est algérien). Th. Doc. Univ. BADJI Mokhtar, Annaba, 373p.
31. DALLERAC M., 2005- Influence de la fertilisation basique calcique et magnésienne sur la population lombricienne. N°16, Ed. ChambreSyndicale, Paris, 4p.
32. DJIDEL M., 2008- Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie), Thèse. Doc., Univ. BADJI Mokhtar, Annaba, 208p.
33. DSA (Direction des Services Agricolesde Ouargla), 2019- Statistiques.
34. DUCASSE, 2015- La valorisation des déchets organiques de la métropole de Lyon par la technique du lombricompostage, Mémoire licence, Univ. Lyon III JEAN MOULIN, France, 58p.
35. DURAND J. H. et GUYOT J., 1955- Irrigation des cultures dans l'Oued Righ. Travaux de l'IRS. Tome 13. Univ. D'Alger.
36. FACI M.,BABAHANI S., SENOUSSE A., 2017- Diagnostic des pratiques culturales dans l'agrosystème phœnicicole (Cas de la région de Ouargla), Journal Algérien des Régions Arides (JARA) , n° 14, 15p. , <https://www.researchgate.net>
37. FLAEF S., 2016 - MANUEL DE LOMBRICULTURE POUR LE LOMBRICOMPOSTAGE, Ferme Lombricole Agro Ecosystèmes Farihitsara, Madagascar, 28p.

38. FLJ , 2021- La ferme Lombricole du pays de Josselin , FRANCE, www.lombriculture.net.(12 /01/2021).
39. FLP , 2021- La ferme lombricole de provence , les Pennes-Mirabeau, FRANCE, www.ferme-lombricole.fr. (12 /01/2021).
40. FRAB et APABA, 2012- Prophylaxie des Volailles en AB : médecines alternatives, FRAB et APABA, Midi-Pyrénées, 9p.
41. FRANCIS F, HAUBRUGE É , THANG P T, KINH L V, LEBAILLY P, GASPAR C, 2003- Technique de lombriculture au Sud Vietnam, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 7 (3–4): 171–175.
42. GAJALAKSHMI S and ABBASI S A., 2004- Earthworms and vermicomposting, *Indian Journal of Biotechnology* Vol 3, October 2004, pp 486-494.
43. GARG V K et GUPTA R, 2011- Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74 (2011) 19–24.
44. GARG V K., YADAVY K., SHEORAN A., CHAND S.,KAUSHIK P., 2006- Livestock excreta management through vermicomposting using an epigeic earthworm *Eisenia foetida*, *Environmentalist* 26: 269–276.
45. GAUER M., 2007 - Biologie animale, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 55p.
46. GAZEAU G., 2012- Le Lombricompost. Septembre 2012. Fiche n°24. CRA& PACA. 4p.
47. GOMEZ-BRANDON, LORES M., DOMINGUEZ J., 2013- Changes in chemical and microbiological properties of rabbit manure in a continuous-feeding vermicomposting system, *Bioresource Technology* 128: 310–316.
48. GOOGLE MAPS, 2020.
49. GUEZOUL O., HACINI N., ABABSA L., SEKOUR M. & SOUTTOU K., 2013- Diversité entomofaunistique dans deux types de palmeraies à Ouargla , 2^{ème} Workshop sur l'agriculture saharienne "Situation actuelle et contraintes" , le 12 novembre 2013 , Université KasdiMerbah, Ouargla, 22p (manifest.univ-ouargla.dz).
50. HAMADOUCHE R., 2015- Contribution à l'étude de la biodiversité des lombriciens dans les hauts plateaux sétifiens (Nord Est Algérien), Mémoire. Master, Univ. Frères Mentouri, gestion durable des écosystèmes et protection de l'environnement, Constantine, 53p.
51. HAMDI-AÏSSA B.et GIRARD M.C., 2004- Apport des données satellitales pour l'évaluation de l'impact sur l'environnement du risque salinisation dans l'écosystème désertique (cuvette de Ouargla, Algérie), Ouargla ,4p.
52. HAMDI-AÏSSA, 2001- Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et variabilité spatiale. Th. Doc. Inst. National Agronomique, Paris-Grignon. 308p.

53. HENKEN and COCANOUGHER, 2007- Constructing a Worm Compost Bin, University of Kentucky - college of agriculture, 5p.
54. HERCY C., 2011- Se mettre aux vers, MARS 2011 • CHEVAL PRATIQUE • N° 252, 62-65p.
55. HERGER P et VETTER F., 2003- regenwürm. Zentrum für angewandte Ökologie Schattweid, Natur-Museum Luzern. Wolhusen, 49 p.
56. HOUARI I M., NEZLI I. E. et BOUREGAA S., 2014- Description géologique et géométrique des formations aquifères de la cuvette de Ouargla, Algerian journal of aridenvironment, vol. 4, n° 1: 12-19.
57. HOUNDONOUGBO K., CHIKOU A., SODJINOU E., ADITE A., BONOU C., MENSAH G.A. et LALEYE P., 2017- Effet de la densité de charge et de différents types de substrat sur la productivité du ver de fumier *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) pour l'alimentation des sujets d'élevage, Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(5): 1967-1978.
58. HUSSAINI A., 2013- Vermiculture bio-technology: An effective tool for economic and environmental sustainability, , African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 7(2): 56-60.
59. IDDER A., IDDER T., NEZLI I.,HAMDI-AISSA B.,CHELOUFI H., DOSSO M et PHILIPPON O, 2014- compartimentation et accumulation estivale des sels neutres dans les aridisols sableux nus de la cuvette d'Ouargla (Sahara Algérien), Lebanese Science Journal, Vol. 15, No. 1: 41-50.
60. IDDER M. A.,2001- La préservation de l'écosystème palmeraie; une priorité absolue (cas de la cuvette de Ouargla),séminaire international sur l'écodéveloppement durable en zones arides et semi-arides ECODEV 2001, centre universitaire Ouargla &CRSTRA, Ghardaïa 06-07-08 février 2001,337 -343.
61. IDDER M.A ., 2011- Lutte biologique en palmiers algériennes :cas de la cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi*), de la pyrale des dattes (*Ectomyelois certoniae*) et de boufaroua (*Oligonychus afrasiaticus*) .Thèse. Doct, sciences Agronomique, ENSA, El Harrach ,Alger ,140p.
62. IDDER T., IDDER A., CHELOUFIH., BENZIDA A., KHEMIS R.,MOGUEDET G., 2013- La surexploitation des ressources hydrique au Sahara algérien et ses conséquences sur l'environnement un cas typique : l'oasis de Ouargla (Sahara septentrional) ; TSM n° 5: 31-39.
63. JAMNI M., BEN MAACHIA S., NEMSI A., BEN CHEKROUN F., RAHMAHI A., ELBARDI S., ABDESSALEM N ., MEFTEH A K .,2018- Transformer les déchets du palmier dattier en compost pour préserver l'oasis de Chenini , Fiches bonnes pratiques Oasiennes, CARI, 4 p.
64. JULIA J. M., and PALIWAL R., 1993- Rearing and Culturing Earthworms, Earthworm Resources and Vermiculture ZOOLOGICAL· SURVEY OF INDIA:13-15.

65. KAABECHE M., 1990- Les groupements végétaux de la région de Bou Saada (Algérie), Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. Th. Doc. Univ. Paris-Sud. Orsay, 134 p.
66. KALE R D., 1993 a- Regeneration, Predators and Parasites of Earthworms, Earthworm Resources and Vermiculture, ZOOLOGICAL SURVEY OF INDIA: 101-103.
67. KALE R D., 1993 b- Vermiculture: Scope for New Biotechnology, Earthworm Resources and Vermiculture, ZOOLOGICAL SURVEY OF INDIA: 105-108.
68. KARABI M., 2017- FONCTIONNEMENT MICROBIOLOGIQUE DES SOLS OASIENS. CAS DE QUELQUES SOLS DE LA REGION DE OUARGLA, Thèse. Doct, Université KASDI MERBAH, OUARGLA, 250 p.
69. KARCHE J, ROSSIGNOL C et SAUTOT L., 2011- Etude sur le compostage des déchets de cantine au LEGTA de Dannemarie-sur-Crête Diagnostique et proposition de solutions, AGRO SUP DIJON, 20 p.
70. KEMASSI S., 2015- Etude de l'impact des vers de terre sur l'évolution de la matière organique en régions sahariennes : Cas de la cuvette de Ouargla, Mémoire. Magister, Univ. KASDI MERBAH, Ouargla, 130 p.
71. KHADRAOUI A., 2006- RESSOURCES EN EAU AU SAHARA ET LEUR IMPACT ENVIRONNEMENTAL, Journées Internationales sur la Désertification et le Développement Durable, 10-12 juin 2006, Université Mohammed Kheider & CRSTRA & EUR OPA Risques Majeurs, Biskra: 47-52.
72. KÖNIG C., 2007- Les vers de terre. Futura-Sciences (www.futura-sciences.com)
73. KOSTECKA J., GARCZYŃSKA M., PODOLAK A., PĄCZKA G., KANIUCZAK J., 2018- Kitchen Organic Waste as Material for Vermiculture and Source of Nutrients for Plants, Journal of Ecological Engineering, Volume 19, Issue 6, 267–274.
74. KOULL N et HALILAT M T., 2016- Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie), Étude et Gestion des Sols, Volume 23:9-20.
75. LAGET E., GUADAGNINI M., PLENET D., SIMON S., ASSIE G., BILLOTE B., BORIOLO P., BOURGOUIN B., FRATANTUONO M., GUERIN A., HUCBOURG B., LEMARQUAND A., LOQUET B., MERCADAL M., PARVEAUD C-E., RAMADE L., RAMES M-H., RICAUD V., ROUSSELOU C., SAGNES J-L., ZAVAGLI F., 2015- Guide pour la conception de systèmes de production fruitière économes en produits phytopharmaceutiques. GIS Fruits et Ministère de l'agriculture, Paris, 264 p.
76. LPO , 2016- Le jardinage biologique , bulletin Refuges LPO, France, (www.hoerdt.fr/wp-content/uploads/2016/Jardinage%20Biologique.pdf).
77. MARIOTTE P., BAYON R C L., EISENHAUER N., GUENAT C., BUTTLER A., 2016- Subordinate plant species moderate drought effects on earthworm communities in grasslands, Soil Biology & Biochemistry 96: 119-127.

78. MARTIN C., NAIM P., CARION J F., DHOLLAND F., 2011- Les lombriciens : outils de gestion des agro-systèmes. 14 et 15 décembre 2011, ACCES et NANTES, Versailles – Lyon, 27 p.
79. MASMOUDI A., 2012- Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région Saharienne : Cas des Oasis des Ziban, Thèse. Doct, Université Mohamed Khider, Biskra, 137p.
80. MATHIEU C., AUDOYE P., CHOSSAT J C., 2007- Bases techniques de l'irrigation par aspersion. Ed.TEC & DOC, Paris, 474 p.
81. MATHIEU C., PIELTAIN F., 2009 - Analyse chimique des sols: méthodes choisies. Ed. Tec & Doc Lavoisier, 317 p.
82. MISRA R.V., ROY R.N., HIRAOKA H., 2005- Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, FAO, Rome, 35p.
83. MOORE J D., OUMET R., REYNOLDS W., 2009- Premières mentions de vers de terre dans trois écosystèmes forestiers du Bouclier canadien, le naturaliste canadien, Vol. 94 N° 133, 31-37.
84. MORIN É., DUSSAULT C., COMTOIS C., 2004 - guide pratique le lombricompostage une façon écologique de traiter les résidus organiques ; éco-quartier & environnement Québec. Québec. 20p.
85. MULCIBA P., ARQUET R., LOÏC M. E. et MOUTOUSSAMY M., 2017- Vermiculture produire des vers de terre destinés au vermicompostage, Fiche n° 1,INRA-Centre Inra Antilles-Guyane – URZ - PTEA – Com/GS, 4.
86. NAHRUL HAYAWIN Z ., ABDUL KHALIL H P S ., JAWAID M., HAKIMI IBRAHIM M ., ASTIMAR A A., 2010- Exploring chemical analysis of vermicompost of various oil palm fibre wastes, Springer, 30:273–278.
87. NAIGEON, 2005- Épuration des eaux usées : le lombrifiltre, procédé expérimenté avec succès dans un village de l'Hérault, lombri-station, 14p.
88. NATURLAND., 2010- Vermikompost hochwertiger Düngerzur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, Naturland, Germany. 23 p.
89. NAYAK S K., SAHU S K., 2013- vermicomposting of poultry litter using eudrilus eugeniae, INTERNATIONAL QUARTERLY JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES, Vol. III: 267 - 271;
90. NEZLI I.E., ACHOUR S et HAMDI-AÏSSA B., 2009- Approche hydrogéochimique a l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'oued m'Ya (Ouargla) Courrier du Savoir – N°09, Univ. MOHAMEDKHIDER -Biskra :57-62.
91. NEZLI I.E., ACHOUR S., DJABRI L., 2007- Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued m'Ya (Ouargla). Larhyss Journal, 06 :121-134.

92. OMEIRI N., 2014- Gestion intégrée de la fertilité d'un sol salé au sein d'un agro - écosystème oasien: cas de la palmeraie du ksar de Ouargla, SESSION 4 : TECHNIQUES CULTURALES ET OPTIMISATION DES FACTEURS DE PRODUCTION, Revue des Régions Arides n° 35 (3/2014) - Actes du 4ème Meeting International "Aridoculture et Cultures Oasisennes : Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes : perspectives pour un développement durable des zones arides,17-19/12/2013 :1371 -1380.
93. ONM., 2020- Données météorologiques de la station pluviométrique de Ouargla (2008-2018).
94. OUAHRANI G., RACHED-MOSBAH O., 2001- Essai de Valorisation des Déchets Organiques par Lombricompostage, Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse, 83-86.
95. OWOJORI OJ., REINECKE AJ., ROZANOV AB 2008- Effects of salinity on partitioning, uptake and toxicity of zinc in the earthworm *Eisenia fetida*. Soil Biology & Biochemistry 40: 2385–2393.
96. PELOSI C., 2008., Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre *lumbricus terrestris* au champ contribution à l'étude de l'impact de systèmes de culture sur les communautés lombriciennes. Th. Doc., Ecole doctoral. ABIES. Paris.141 p.
97. PFIFFNER L ., 2013 - Regenwürmer baumeister fruchtbarer böden. FiBL .Schweiz. 6p.
98. PFIFFNER L., 2007- Bodenfruchtbarkeit Bodenlebewesen Regenwurm – so lebt er, FiBL & Liebegg, Gränichen. 2p.
99. PHUÔNG-NAM N., 2012 , Vermicomposting of Organic Solid Wastes as a Biological Treatment for Sanitation, der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, Vietnam, 128p.
100. RAKHMATULLAEV A., GAFUROVA L., EGAMBERDIEVA D., 2010- Ecology and Role of Earthworms in Productivity of Arid Soils of Uzbekistan, Dynamic , Dynamic Soil, Dynamic Plant ©2010 Global Science Books, 4 (Special Issue 1): 72-75.
101. RAMNARAIN Y I R ., ANSARI A A., ORI L., 2019- Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*, International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture (2019) 8:23–36
102. RODIER J. et CHARLOT G., 2005- L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau : eaux naturelles - eaux résiduaires, Dunod, paris, 700p.
103. ROGAYAN J D., HAROLD E., PAJE A., LYNDON K., JESTONI J., BALLON L., CORPUS W., GREGORIO H., 2010- Vermiculture & Vermicomposting, Undergraduate Term Paper, Ramon Magsaysay Technological Univ. San Marcelino, Zambales, 24p.
104. ROUVILLOIS-BRIGOL M., 1975 - Le pays de Ouargla (Sahara algérien). Variations et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Département Géographie Univ. Paris-Sorbonne, Paris, 389 p.

105. SALHI A., 2017- Transformations spatiales et dynamiques socio-environnementales de l'oasis de Ouargla (Sahara algérien). Une analyse des perspectives de développement, Thèse. Doct, Ecole Doctorale Aix-Marseille Université, France, 476p.
106. SCHMUTZ R., 2013- Vers de terre architectes des sols fertiles. N°1619. FiBL, Suisse, 6 p.
107. SELLAPATI., SAIL., 1993- Populatiob, Biomass and Secondary Production in Earthworms, EARTHWORM RESOURCES AND VERMICULTURE, ZOOLOGICAL SURVEY OF INDIA, 57-78.
108. SENAPATI B K., LAVELLE P., GIRI S., PASHANASI B., ALEGRE J., DECAËNS T, JIMENEZ J J., ALBRECHT A., BLANCHART E., MAHIEUX M., ROUSSEAUX L., THOMAS R., PANIGRAHI P K., VENKATACHALAM M., 1999- In-soil Earthworm Technologies for Tropical Agroecosystems, EARTHWORM MANAGEMENT IN TROPICAL AGROECOSYSTEMS, CABI, USA: 199- 236.
109. SHAMIM JAIRAJPURI M., 1993- Earthworms and vermiculture : an introduction, earthworm resources and vermiculture:1-5.
110. SHANTHI K., 2018-Evaluation of maturity parameters of vermicomposts prepared from different bio-degradable wastes, Int. J. of. Life Sciences, Volume 6(2): 487-493.
111. SHAO X., HEC J., LIANG R., LU Y., SHI Y., WANG Y., ZHENG X., ZHANG S., WANG T., 2019- Mortality, growth and metabolic responses by 1H-NMR-based metabolomics of earthworms to sodium selenite exposure in soils, Ecotoxicology and Environmental Safety 181: 69–77.
112. SINGH N B., KHARE A K., BHARGAVA D S., BHATTACHARYA S., 2005- Effect of initial substrate pH on vermicomposting using *Perionyx excavatus* (perrier, 1872), applied ecology and environmental research 4 (1): 85-97.
113. SINHA R K., VALANI D., CHAUHAN K., AGARWAL S., 2010- Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin, Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development Vol. 2(7), 113-128.
114. SONGX., LIUM., WUD., QIL., YEC., JIAOJ., HUF. - 2014, Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues, Waste Management 34 :1977–1983.
115. SUDHIR D., MAHAVASH F., SANTOSH M., SUMUKH S., GAUTAM S., ANGELA V., 2010- Application of vermi-filter-based Effluent Treatment Plant (Pilot scale) for Biomanagement of Liquid Effluents from the Gelatine Industry, Global Science Books, 83-86p.
116. SUTHAR S., SINGH S., 2008- Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*), Int. J. Environ. Sci. Tech., 5 (1), 99-106.

117. TREMBLAY., 2014- Exploitation et élevage des vers de terre pour le marché des appâts vivants, Document d'information DADD-20. Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation. 12 p.
118. VAUTHIER M., 2012- Evaluation des effets des modes d'exploitation et de la fertilisation sur les quatre catégories de lombrics au sein d'un système polyculture-élevage, Mémoire de MASTER, Univ-Lorraine, 48 p.
119. versattitude.blogspot.com (17/03/2021).
120. VIGOT M., CLUZEAU D., 2014- Guide pratique auxiliaires de cultures Les vers de terre, Chambre d'Agriculture de la Vienne, 11p.
121. WEN S., Shao M A., Wang J., 2020- Earthworm Burrowing Activity and Its Effects on SoilHydraulic Properties under Different Soil Moisture Conditions from the Loess Plateau, China, Sustainability 2020, 12, 9303, 13 p.
122. WU Z, YIN B, SONG X, QIUJ J, CAO L and ZHAO Q., 2019- Effects of Salinity on Earthworms and the Product During Vermicomposting of Kitchen Wastes, Int. J. Environ. Res, 16, 4737, 12 p.
123. www.hezieko.com (12/1/2021).
124. YADAV A and GARG V K ., 2013- Nutrient recycling from industrial solid wastes and weeds by vermiprocessing using earthworms, *P edosphere* 23(5): 668–677.
125. ZAHROUNA A., 2011- ressources en eau du système aquifère du Sahara septentrional (SASS). 1er Séminaire International sur la Ressource en eau au Sahara : Evaluation, Economie et Protection, Ouargla : 73-76.

ANNEXES

Annexes

Annexe 1.Caractérisation des palmeraies d'études

	Ksar- Bamrare	Ksar-Mehsane	Bni Tour- Balla
Type de palmeraie	Ancienne	Ancienne	Ancienne
Culture	Palmier dattier	Palmier dattier	Palmier dattier Culture maraichère Arbres fruitiers
Type d'irrigation	Submersion	Submersion	Submersion
Irrigation	Une fois /semaine	Une fois /semaine	Une fois /semaine
Fertilisation	Oui	Non	Oui
Type des fertilisant	Organique	-	Organique
Amendement de sable	Non	Non	Oui
Travail de sol	Non	Non	Oui
Désherbage	Oui	Oui	Oui
Lutte phytosanitaire	Oui	Oui	Oui

Annexe2.Analyse de la variance : pH_{e.1:5}

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Palmeraie	2	0,037	0,018	0,771	0,026
Temps	2	0,394	0,197	8,262	0,001
Couche	1	0,251	0,251	10,516	0,002
palmeraie*temps	4	0,271	0,068	2,847	0,036
palmeraie*couche	2	0,241	0,121	5,061	0,011
temps*couche	2	0,045	0,023	0,954	0,394

Annexe3.Analyse de la variance : CE_{e.1:5}

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Palmeraie	2	1,903	0,952	4,011	0,026
Temps	2	3,517	1,758	7,411	0,002
Couche	1	1,432	1,432	6,035	0,018
palmeraie*temps	4	0,940	0,235	0,991	0,424
palmeraie*couche	2	0,644	0,322	1,356	0,269
temps*couche	2	0,410	0,205	0,864	0,429

Annexe 4.

Variables	niveau nappe	N totale indévidus	pH sol	CE (25°C) sol
niveau nappe	1			
N totale indévidus	-0,321	1		
pH sol	-0,360	0,029	1	
CE (25°C) sol	0,243	-0,204	-0,449	1

Annexe 5. Analyse de la variance : pois des lombrics

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	10,547	10,547	172,760	< 0,0001
Type déchet	3	2,083	0,694	11,372	0,000
Temps*Type déchet	3	2,083	0,694	11,372	0,000

Annexe 6. Analyse de la variance : pH_{e.1:5}

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	3,920	3,920	418,178	< 0,0001
Type déchet	3	0,712	0,237	25,319	< 0,0001
Temps*Type déchet	3	1,122	0,374	39,896	< 0,0001

Annexe 7. Analyse de la variance : CE_{e.1:5}

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	19,451	19,451	101,981	< 0,0001
Type déchet	3	3,453	1,151	6,034	0,006
Temps*Type déchet	3	2,213	0,738	3,868	0,030

Annexe 8. Analyse de la variance : MO

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	0,011	0,011	0,138	0,715
Type déchet	3	51,212	17,071	219,647	< 0,0001
Temps*Type déchet	3	8,404	2,801	36,043	< 0,0001

Annexe 9. Corrélation entre les différents paramètres mesuré.

Variables	poids VT	nombre des vers	pH	CE (25°C)	MO
poids VT	1				
nombre des vers	0,345	1			
pH	-0,638	-0,652	1		
CE (25°C)	-0,735	-0,299	0,643	1	
MO	0,294	0,321	-0,298	-0,248	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Annexe 10. Analyse de la variance : nombre des lombrics

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	34,500	34,500	674,934	< 0,0001
Méthode	2	2,654	1,327	25,956	< 0,0001
temps*méthode	2	1,550	0,775	15,165	0,001

Annexe 11. Analyse de la variance : poids des lombrics

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	16,056	16,056	289,000	< 0,0001
Méthode	2	14,111	7,056	127,000	< 0,0001
temps*méthode	2	14,111	7,056	127,000	< 0,0001

Annexe 12. Analyse de la variance : pH_{e.1:5}

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	4,205	4,205	106,606	< 0,0001
Méthode	2	0,023	0,012	0,296	0,749
temps*méthode	2	0,023	0,012	0,296	0,749

Annexe 13. Analyse de la variance : CE_{e.1:5}

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	39,200	39,200	249,626	< 0,0001
Méthode	2	0,689	0,344	2,194	0,154
temps*méthode	2	0,689	0,344	2,194	0,154

Annexe 14. Analyse de la variance : MO

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	4,456	4,456	23,086	0,000
Méthode	2	1,866	0,933	4,833	0,029
temps*méthode	2	1,866	0,933	4,833	0,029

Annexe 15. Analyse de la variance : N totale

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	0,000	0,000	1,017	0,333
Méthode	2	0,001	0,001	1,185	0,339
temps*méthode	2	0,001	0,001	1,185	0,339

Annexe 16. Analyse de la variance : C/N

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	109,560	109,560	1,388	0,262
Méthode	2	146,005	73,003	0,925	0,423
temps*méthode	2	146,005	73,003	0,925	0,423

Annexe 17. Corrélation entre les différents paramètres mesuré.

Variables	Poids	N vers	pH	CE	MO	C/N	N
Poids	1						
N vers	0,803	1					
pH	-0,881	-0,568	1				
CE	-0,898	-0,570	0,867	1			
MO	-0,593	-0,349	0,602	0,707	1		
C/N	-0,071	0,135	0,267	0,348	0,457	1	
N	-0,436	-0,502	0,238	0,171	0,001	-0,838	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Annexe 18. Analyse de la variance : nombre des vers

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	3,911	3,911	3,197	0,099
Densité	2	12,559	6,279	5,134	0,024
temps*densité	2	9,868	4,934	4,034	0,046

Annexe 19. Analyse de la variance : poids des lombrics

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	2,722	2,722	1,885	0,195
Densité	2	14,111	7,056	4,885	0,028
temps*densité	2	12,111	6,056	4,192	0,042

Annexe 20. Analyse de la variance : pH_{e.1:5}

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	2,074	2,074	261,980	< 0,0001
Densité	2	0,025	0,013	1,588	0,244
temps*densité	2	0,025	0,013	1,588	0,244

Annexe 21. Analyse de la variance : CE_{e.1:5}

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	10,793	10,793	2246,758	< 0,0001
Densité	2	0,012	0,006	1,246	0,322
temps*densité	2	0,012	0,006	1,246	0,322

Annexe 22. Analyse de la variance : MO

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	5,125	5,125	26,896	0,000
Densité	2	0,461	0,230	1,210	0,332
temps*densité	2	0,461	0,230	1,210	0,332

Annexe 23. Analyse de la variance : Azote totale

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	0,001	0,001	0,334	0,574
Densité	2	0,015	0,007	1,641	0,234
temps*densité	2	0,015	0,007	1,641	0,234

Annexe 24. Analyse de la variance : C/N

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Temps	1	1360,929	1360,929	3,607	0,082
Densité	2	644,789	322,395	0,854	0,450
temps*densité	2	644,789	322,395	0,854	0,450

Annexe 25. Corrélation entre les différents paramètres mesurés.

Variables	poids	Nombre vT	pH	CE	MO	N	C/N
Poids	1						
Nombre vT	0,636	1					
pH	0,347	-0,160	1				
CE	-0,323	0,220	-0,960 c	1			
MO	-0,499	0,005	-0,744	0,759	1		
N	0,392	0,581	-0,087	0,120	-0,068	1	
C/N	-0,141	-0,342	0,438	-0,430	-0,235	-0,849	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Annexe 26. Echelles d'interprétation de Calcaire Total (BAISE, 2000).

CaCO ₃ (%)	Sol
CaCO ₃ <1%	Non calcaire
1<CaCO ₃ <5%	Peu calcaire
5<CaCO ₃ <25%	Modérément calcaire
25<CaCO ₃ <50%	Fortement calcaire
50<CaCO ₃ <80%	Très fortement calcaire
CaCO ₃ >80%	Excessivement calcaire

Annexe 27. Classification de SAR et degrés d'alcalinisation des sols US salinity laboratory staff 1953 (MATHIEU et al., 2007).

SAR	Degrés d'alcalinisation
SAR ≤ 10	faible en sodium
10 < SAR ≤ 18	Moyenne en sodium
18 < SAR ≤ 26	riche en sodium
SAR > 26	Très riche en sodium

Annexe 28. Classement des sols en fonction de leur rapport C/N LAC (2008 in CALVET, 2003).

C/N<6	Très faible	Sol à décomposition rapide de la matière organique.
6<C/N<8	Faible	
8<C/N<11	Normal	Bonne décomposition de la matière organique.
11<C/N<12	Légèrement élevé	
12<C/N<14	Elevé	Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique.
C/N> 14	Très élevé	

Annexe 29. Classification de la teneur en matière organique Djili (2000 in BERKAL, 2016).

%	Classes
≤ 1	Très faibles
1 % < MO ≤ 2 %	Faibles
2 % < MO ≤ 3 %	Moyennes
3 % < MO ≤ 4 %	Forte
> 4	Très fortes

Annexe 30. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation (DAOUD et HALITIM, 1994 in MASMOUDI, 2012).

CE ds/m	Concentration (g/l)	Evaluation USA	Evaluation russe	Evaluation de Durand pour l'Algérie
CE<0.25	<0.2	Faiblement salée	Bonne qualité	Non saline
0.25<CE<0.75	0.2-0.5	Moyennement salée		
0.75<CE<2.25	0.5-1.5	Fortement salée	Risque de salinisation	Salinité moyenne
2.25<CE<5	1.5-3	Très fortement salée		
5<CE<20	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Très forte salinité
				Salinité excessive

Annexe 31. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation US salinitylaboratory staff 1953 (MATHIEU et al., 2007)

CE ds/m	Evaluation de la salinité
CE<0.25	Faible
0.25<CE<0.75	Modéré
0.75<CE<2.25	Modéré à élevé
2.25<CE<4	élevé
4<CE	Très élevé

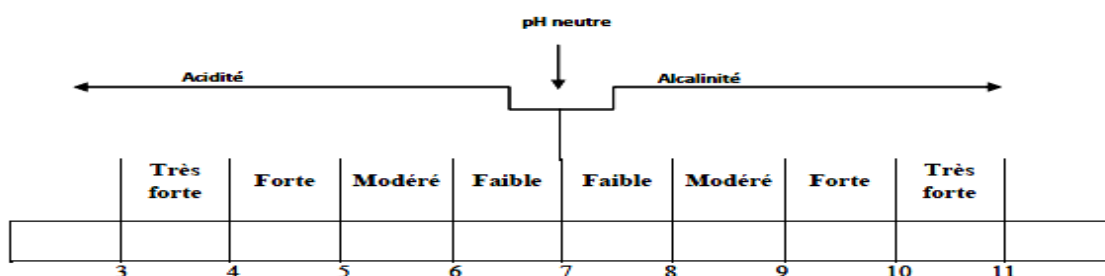
Annexe 32. Classification du pH_{eau} (Baize, 2000).

pH	Classes ou domaines
< 3,5	Hyper acide
3,5 – 4,2	Très acide
4,2-5	Acide
5-6,5	Peu acide
6,5-7,5	Neutre
7,5-8,7	Basique
> 8,7	Très basique

Annexe 33. Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 (MATHIEU et PIELTAIN, 2009).

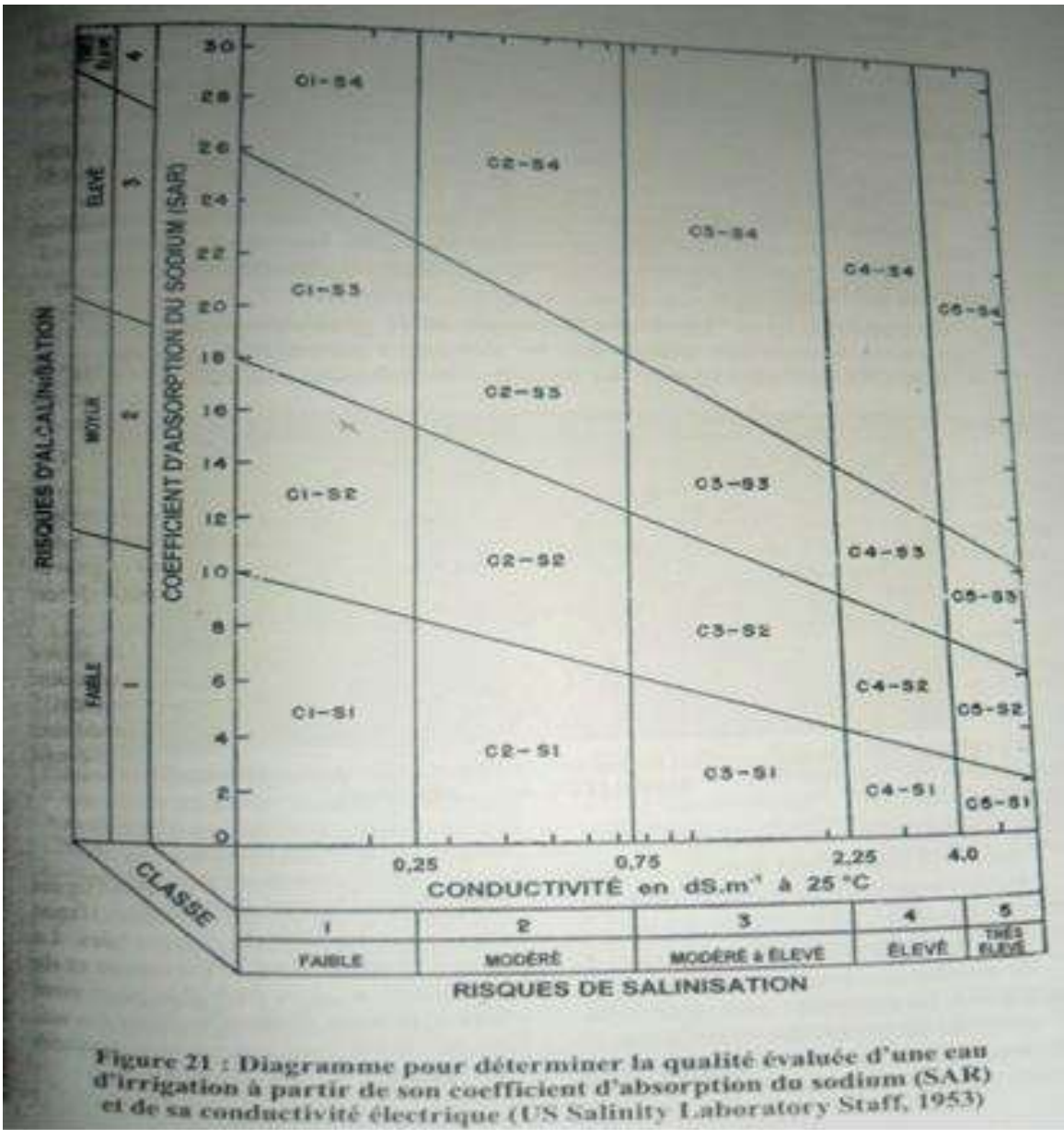
CE dS/m à 25°C	Degrés de salinité
$CE \leq 0,6$	Sols non salés
$0,6 < CE \leq 1,2$	Sols peu salés
$1,2 < CE \leq 2,4$	Sols salés
$2,4 < CE \leq 6$	Sols très salés

Annexe 34. Normes d'interprétation du pH-eau du sol MATHIEU et PIELTAIN (2009).



Annexe 35. Diagramme Riverside modifiée pour déterminer la qualité évaluée d’une eau d’irrigation

(MATHIEU et *al.*, 2007).



Annexe36. Nombre des vers par contenant (MULCIBA et *al.*, 2017)

Contenant (litres)	25	100	180	300	1 500
Nombre minimal de vers	10	50	100	250	2 500
Déchets végétaux et animaux	Un volume de déchets végétaux, pour 9 volumes de déchets animaux.				

Annexe 37.

Modalité	Moyenne	Groupes
couche1	8,336	A
couche2	8,200	B

Modalité	Moyenne	Groupes
Février	8,389	A
Janvier	8,211	B
Décembre	8,205	B

Annexe 38

Modalité	Moyenne	Groupes
Balla	0,986	A
Mahsane	0,675	B
Bamrare	0,536	B

Modalité	Moyenne	Groupes
Balla	0,986	A
Mahsane	0,675	B
Bamrare	0,536	B

Annexe 39

Modalité	Moyenne	Groupes
p1	2,500	A
p2	1,174	B

Modalité	Moyenne	Groupes
T3	2,298	A
T2	1,825	B
T4	1,742	B
T1	1,483	B

Annexe 40

Modalité	Moyenne	Groupes
p2	7,708	A
p1	6,900	B

Modalité	Moyenne	Groupes
T2	7,517	A
T3	7,400	B
T1	7,242	B
T4	7,058	C

Annexe41

Modalité	Moyenne	Groupes	
p2	4,321	A	
p1	2,521		B

Modalité	Moyenne	Groupes	
T1	3,924	A	
T2	3,649	A	B
T3	3,099		B
T4	3,012		B

Annexe 42

Modalité	Moyenne	Groupes	
T4	5,916	A	
T3	5,495	A	
T1	3,390		B
T2	2,385		C

Annexe 43

Modalité	Moyenne	Groupes	
T1	4,000	A	
T2	2,111		B

Modalité	Moyenne	Groupes	
Pot	4,167	A	
Boit	3,000		B
Corb	2,000		C

Annexe 44

Modalité	Moyenne	Groupes	
T1	3,470	A	
T2	0,701		B

Modalité	Moyenne	Groupes	
Pot	2,623	A	
Boit	1,882		B
Corb	1,752		B

Annexe 45

Modalité	Moyenne	Groupes	
T2	7,867	A	
T1	6,900		B

Annexe 46

Modalité	Moyenne	Groupes	
T2	5,125	A	
T1	2,174		B

Annexe 47

Modalité	Moyenne	Groupes	
T2	5,872	A	
T1	4,877		B

Modalité	Moyenne	Groupes	
Boit	5,821	A	
Pot	5,226	A	B
Corb	5,075		B

Annexe 48

Modalité	Moyenne	Groupes	
V3	3,667	A	
V4	2,667	A	B
V2	1,500		B

Annexe 49

Modalité	Moyenne	Groupes	
V3	3,317	A	
V4	2,180	A	B
V2	1,275		B

Annexe 50

Modalité	Moyenne	Groupes	
T2	7,579	A	
T1	6,900		B

Annexe 51

Modalité	Moyenne	Groupes	
T1	2,174	A	
T2	0,625		B

Annexe 52

Modalité	Moyenne	Groupes	
T1	4,877	A	
T2	3,809		B

Glossaire

APABA: Association pour la promotion de l'agriculture biologique en Aveyron.

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

C /N : Carbone/ Azote

C.E.i: Conductivité électrique des eaux d'irrigation

C.E.n: Conductivité électrique des eaux phréatiques

CE.e1:5: Conductivité électrique

CI : Continental Intercalaire (CI)

CT : Le Complexe Terminal (CT)

DSA:Direction des Services Agricoles

FRAB : Fédération régionale des agriculteurs biologiques

I.G.N: Institut Géographique National

MO : Matière organique

ONM : Office national de la métrologie de Ouargla

pH.e1:5 : pH de extrait 1:5 des sols

pHi: pH des eaux d'irrigation

pHn: pH des eaux phréatiques

RS : résidus secs

S.A.R. : Sodium adsorption ratio

FLP : Ferme Lombricole de Provence

FLJ: Ferme Lombricole du pays de Josselin

Liste des tableaux

Tableau 1. Données climatiques moyennes de la région d'Ouargla entre 2008 et 2018 (ONM, 2020).....	5
Tableau 2. Rapport du pré-compost/sol pour l'essai de viabilité optimale.	42
Tableau 3. Caractérisations des 'eaux d'irrigation dans les sites d'étude.....	50
Tableau 4. Caractérisation des sols des palmeraies.....	57

Liste des figures

Figure 1. Localisation de la région d'étude de Ouargla (KOULL et HALILAT, 2016).....	4
Figure 2. Diagramme Ombrothermique de BAGOULS et GAUSSEN (1953) appliqué à la région de Ouargla (2008 -2018).	8
Figure 3. Etage bioclimatique de Ouargla	8
Figure 4. Les organes reproducteurs (GAUER., 2007).....	18
Figure 5. La reproduction chez le lombric (GAUER, 2007).....	18
Figure 6. Carte topographique de la cuvette de Ouargla (I.G.N, 1960 in DADDI BOUHOUN, 2010).....	28
Figure 7. Approche méthodologique d'étude	34
Figure 8. Dispositif expérimental de viabilité optimale.....	42
Figure 9. Dispositif expérimentale des méthodes de lombriculture.	43
Figure 10. Dispositif expérimentale de l'essai de densité des lombrics.....	45
Figure 11. pH des eaux d'irrigation.....	50
Figure 12. Salinité des eaux d'irrigation	50
Figure 13. Classifications des eaux d'irrigation sur le diagramme de RIVERSIDE modifier par Durant.	51
Figure 14. Représentation des eaux d'irrigation sur le diagramme de Piper	52
Figure 15. Variations du niveau de la nappe phréatique dans les palmeraies d'études.....	53
Figure 16. pH et salinité des eaux phréatique dans les palmeraies.	55
Figure 17. pH _{e.1 :5} dans les palmeraies.....	57
Figure 18. Salinité dans les palmeraies.	58
Figure 19. Evolution du pH _{e.1:5} moyens dans les couches des sols.....	60
Figure 20. Effet de temps et de la couche du sol sur le pH _{e.1 :5}	60
Figure 21. Evolution du CE _{e.1:5} moyen des sols (couche 1 ; couche 2).....	62
Figure 22. Effet de palmeraie, de temps et la couche du sol sur la CE _{e.1 :5}	62
Figure 23. Evolution du niveau global des lombrics.	64
Figure 24. Viabilité des lombrics en fonction de type de substrat	67
Figure 25. Variation de biomasse des lombrics en fonction de type de substrats.....	68
Figure 26. Effet des types de substrat de culture et de temps sur le poids.	69

Figure 27. Variation de pH en fonction de type des substrats de culture.	70
Figure 28.Effet des types de substrat de culture et de temps sur le pH.	71
Figure 29.Variation de la conductivité électrique dans les substrats de culture.	72
Figure 30. Effet des types de substrat de culture et de temps sur la conductivité électrique. ..	73
Figure 31. Evolution de taux de la matière organique dans les substrats de culture.....	75
Figure 32. Evolution de taux de carbone organique dans les substrats de culture.....	75
Figure 33. Effet des types de substrat de culture sur le taux de la matière organique.	76
Figure 34. Variation de nombre des lombrics en fonction des méthodes de culture.	79
Figure 35. Effet des méthodes de culture et de temps sur le nombre des lombrics.	80
Figure 36. Variation de biomasse des lombrics en fonction des méthodes de culture.....	81
Figure 37. Effet des méthodes de culture et de temps sur le poids des lombrics.....	82
Figure 38. Variation de pH en fonction des méthodes de culture.	82
Figure 39. Effet des méthodes de culture et de temps sur le pH.	83
Figure 40. Relation entre le poids et le pH.	84
Figure 41. Variation de la conductivité électrique en fonction des méthodes de culture.....	84
Figure 42. Effet de temps sur la conductivité électrique.....	85
Figure 43. Relation entre le poids et la conductivité électrique	87
Figure 44. Variation du taux de carbone organique en fonction des méthodes de culture.	88
Figure 45. Variation du taux de la matière organique en fonction des méthodes de culture. ..	88
Figure 46. Effet des méthodes de culture et de temps sur le taux de la MO.....	89
Figure 47. Variation du taux d'azote totale en fonction des méthodes de culture.	90
Figure 48. Variation du taux d'azote totale en fonction des méthodes de culture.	91
Figure 49. Variation de taux d'humidité dans les méthodes de cultures	92
Figure 50. Viabilité des lombrics en fonction de nombre des lombrics.	93
Figure 51. Effet de la densité des lombrics sur le nombre des lombrics.	94
Figure 52. Variation de biomasse en fonction de poids des lombrics.	96
Figure 53. Effet de la densité des lombrics sur le poids des lombrics.....	96
Figure 54. Variation de pH en fonction de nombre des lombrics.	97
Figure 55. Effet du temps sur le pH de lombricompost.	98
Figure 56. Variation de la conductivité électrique en fonction de nombre des lombrics.....	99
Figure 57. Effet de la densité des lombrics sur la $CE_{e,1:5}$ de lombricompost.	99
Figure 58.Variation du taux de carbone organique en fonction de nombre des lombrics.....	101
Figure 59. Variation du taux de la matière organique en fonction de nombre des lombrics.	101
Figure 60. Effet de la densité des lombrics sur la MO de lombricompost.	102
Figure 61. Variation du taux d'azote total en fonction de nombre des lombrics.....	103
Figure 62. Variation du rapport C/N en fonction de nombre des lombrics.	104
Figure 63. Vue de face du dispositif sur le sol.....	107
Figure 64.Vue de la coupe latérale du dispositif.....	107
Figure 65. Vue longitudinale au-dessus du dispositif.	108
Figure 66. Système d'humidification de lombriculture	109

Liste des photos

Photo 1. L'accouplement chez les lombrics (TREMBLAY, 2014).....	18
Photo 2. Lombriculture en bac plastique (MULCIBA et <i>al.</i> , 2017).....	24
Photo 3. Lombriculture en bac bétonnée (AMIC et DALMASSO, 2012).	24
Photo 4. Lombriculture en andain (HERCY, 2011).....	25
Photo 5. Image satellitaire Google des sites d'échantillonnage au cuvette de Ouargla (GOOGLE MAPS, 2020).....	29
Photo 6. Conteneurs en plastique (a: corbeille, C: Boite, E: Pot).	31
Photo 7. Fumier de volailles broyé.....	32
Photo 8. palmes broyées.	32
Photo 9. Aspect morphologique de l'espèce <i>Lumbricus terrestris</i>	32
Photo 10. Aspect morphologique de l'espèce <i>Aporrectodea longa</i>	32
Photo 11. Fosse d'échantillonnage des lombrics.	36
Photo 12. Sondage des nappes et échantillonnage des eaux phréatiques.	37
Photo 13. Déchets de palmes trompés dans l'eau.	38
Photo 14. Pré-compostage de déchets.	39
Photo 15. Essai des méthodes de lombriculture.....	44
Photo 16. Essai de densité des lombrics.	45
Photo 17. Lombrics échantillonnés.	64
Photo 18. Lombricompost et les lombrics en fin de culture.....	67
Photo 19. Etat de lombrics et de lombricompost (cas de méthode en boite et en corbeille)....	86
Photo 20. Lombrics de traitement T3 en fin de lombriculture.	95
Photo 21. cocons collectés en fin de lombriculture.	95
Photo 22. Lombriculture dans des bacs en bois (versattitude.blogspot.com).....	105

Table des matières

المُلخَص

Résumé

Summary

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

PREMIERE PARTIE : CADRE D'ETUDE ET PROBLEMATIQUE

Chapitre I. Cadre d'étude et problématique.....	3
--	----------

1. Introduction.....	3
-----------------------------	----------

2.Cadre d'étude	3
------------------------------	----------

2.1. Localisation.....	3
------------------------	---

2.2. Conditions climatiques.....	4
----------------------------------	---

2.3. Températures	5
-------------------------	---

2.4. Précipitations	6
---------------------------	---

2.5. Évaporation.....	6
-----------------------	---

2.6. Vents	6
------------------	---

2.7. Insolation	7
-----------------------	---

2.8. Classification du climat.....	7
------------------------------------	---

2.8.1. Diagramme d'ombrothermique du Gaussen	7
--	---

2.8.2. Climagramme d'Emberger	7
-------------------------------------	---

2.9. Sol	9
----------	---

2.10. Hydrogéologie.....	10
--------------------------	----

2.10.1. Nappe phréatique	10
--------------------------------	----

2.10.2. Nappe du complexe terminal	11
--	----

2.10.3. Nappe du continentale intercalaire	12
--	----

2.11. Agriculture	12
-------------------------	----

2.12. Faunes du sol	14
---------------------------	----

3.Etude de lombriculture	15
---------------------------------------	-----------

3.1. Bioécologie des lombrics	15
-------------------------------------	----

3.1.1. Systématique	15
---------------------------	----

3.1.2. Critères de détermination des espèces.....	16
---	----

3.1.3.Reproduction et longévité	16
---------------------------------------	----

3.1.4. Bioécologie des lombrics	19
---------------------------------------	----

3.2. Nutrition	19
3.3. Impacts des facteurs abiotiques sur les lombrics.....	20
3.3.1. Facteurs hydriques.....	20
3.3.2. Facteurs édaphiques.....	21
3.4. Prédateurs et parasites des vers	22
3.6. méthodes de lombriculture	22
3.6.1. Elevage en contenants	22
3.6.2. Elevage en andain	24
4. Etude des lombrics à Ouargla	25
5. Conclusion.....	26
 DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES	
CHAPITRE II. Matériels d'étude	28
1. Choix de la zone d'étude	28
2. Choix des sites d'étude.....	29
3. Matériels expérimentaux	30
3.1. Conteneurs	30
3.2. Sol.....	31
3.3. Amendements organiques	31
3.4. Lombrics	32
3.5. Eau.....	32
CHAPITRE III. Méthodes d'étude.....	33
1. Approche méthodologique.....	33
2. Etude bioécologique des lombrics	35
2.1. Etude hydro-édaphique du milieu naturel des lombrics.....	35
2.1.1. Collection et échantillonnage des lombrics	35
2.1.2. Caractérisation hydrique.....	36
2.2. Caractérisation édaphique	37
3. Etude de la densité des lombrics	37
4. Etude de l'impact de l'environnement sur lombriculture	37
4.1. Préparation de pré-compost.....	38
4.2. Installation des essais	39

4.3. Etude de la viabilité optimale des lombrics dans le rapport pré-compost de fumier/ type de sol.....	40
4.4. Choix des méthodes de lombriculture	42
4.5. Choix de la densité des lombrics	44
5. Méthodes d'analyse	46
5.1. Méthodes d'analyse des eaux	46
5.1.1. Degré de salinité:.....	46
5.1.2. pH :	46
5.1.3. Charge saline :.....	46
5.1.4.Faciès chimique:	46
5.2. Méthodes d'analyses du sol et de substrats de culture	47
5.2.1.pH e. _{1:5}	47
5.2.2. Conductivité électrique (CE e. _{1:5}):.....	47
5.2.3. Dosage de l'azote total	48
5.2.4. Dosage du carbone organique et de la matière organique	48
5.2.5. Dosage du calcaire total	48
6. Analyse des résultats	48

TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre IV. Etude bioécologique des lombrics.....	49
1. Introduction	49
2. Caractérisation hydrique.....	49
2.1. Caractérisation des eaux d'irrigation.....	49
2.2. Etude de la nappe phréatique.....	53
2.2.1Niveau des eaux phréatiques	53
2.2.2. Caractérisation physico-chimique des eaux phréatiques	54
3. Caractérisation édaphique	55
4.Variation des paramètres physico-chimiques	59
4.1. pH du sol.....	59
4.2. Evolution de la conductivité électrique	61
5.Etude de la densité des lombrics	64
6.Conclusion.....	65
Chapitre V. Etude des conditions de lombriculture	66

1.Introduction.....	66
2. Optimisation de la viabilité des lombrics	66
2.1. Etude de la viabilité des lombrics.....	66
2.2. Etude de la variation de biomasse des lombrics	68
2.3. Variation des paramètres physico-chimiques et biochimiques	70
2.3.1. Variabilité des paramètres physico-chimiques.....	70
2.3.2. Variation des paramètres biochimiques	74
3. Conclusion.....	76
Chapitre VI. Etude des méthodes de lombriculture.....	78
1. Introduction	78
2. Choix des méthodes de lombriculture	78
2.1. Viabilité des lombrics	78
2.2. Variation de la biomasse des lombrics	80
2.3. Variation des paramètres physico-chimiques et chimiques	82
2.3.1. Paramètres physico-chimiques	82
2.3.2. Paramètres biochimiques.....	87
2.4. Variation du taux d'humidité	92
3.Choix de la densité des lombrics	93
3.1. Viabilité des lombrics.....	93
3.2. Variation de biomasse des lombrics	95
3.3. Variation des paramètres physico-chimiques et chimiques	97
3.3.1. Paramètres physico-chimiques	97
3.3.2. Paramètres biochimiques.....	100
4. Modèle proposé de lombriculture	104
4.1. Dispositifs de lombriculture	105
4.2. Dispositif proposé à Ouargla	106
4.2.1. Dispositif sur le sol.....	106
4.2.2. Dispositif enfouie dans le sol.....	107
4.3. Mode de conduite de lombriculture	108
4.3.1. Paramètres pédoclimatiques	108
4.3.2. Poids de pré-compost par dispositif.....	109
4.3.3. Nature et préparation du pré-compost.....	110

4.3.4. Densité des lombrics	110
4.3.5. Récolte des lombrics	110
4.4. Rente prévisionnel de lombriculture.....	111
5. Conclusion.....	111
Conclusion générale	112
Références bibliographiques	114
Annexes	120
Glossaire.....	133
Liste des tableaux.....	134
Liste des figures.....	134
Liste des photos.....	136