

Directeur de la revue: HALILAT Mohamed Taher
(Recteur de l'Université de Ouargla)
Directeur de la publication: KHELIFA Abdelkader
Directeur scientifique de la publication: BISSATI Samia
Rédacteur en chef: OULD EL HADJ Mohamed Didi

ISSN 2170-1318

ADRESSE DE LA DIRECTION DE LA PUBLICATION

Algerian Journal of Arid Environment

Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi arides

Faculté des sciences de la nature et de la vie

BP 511, Université Kasdi Merbah-Ouargla

30000 Ouargla, Algérie

Tél.: (+213) 29 71 65 71/29 71 56 89 Fax.: (+213) 29 71 56 89

Web: www.ouargla-univ.dz E-mail: ecosys.infos@yahoo.fr

URL: <http://revues.univ-ouargla.dz/index.php/acceill/algerian-journal-of-arid-and-environment-ajae>

DOI: S10.12816/0008911; <http://www.crossref.org/missingmd?datatype=j&prefix=10.12816>



**Université Kasdi Merbah-Ouargla
(Algérie)**

Algerian Journal of Arid Environment

**Revue des Sciences de la nature et de la vie
Editée par l'Université Kasdi Merbah-Ouargla (Algérie)**

*Laboratoire de Protection des Ecosystèmes
en Zones Arides et Semi Arides (Ecosys)*

ISSN 2170-1318

Directeur de la revue: Pr. HALILAT Mohamed Taher
(Recteur de l'Université de Ouargla)

Directeur de la publication: Dr KHELIFA Abdelkader

Directeur scientifique de la publication: Pr. BISSATI Samia

Rédacteur en chef: Pr. OULD EL HADJ Mohamed Didi

Volume 7, numéro 1, juin 2017



ALGERIAN JOURNAL OF ARID ENVIRONMENT
 REVUE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
 LABORATOIRE DE PROTECTION DES ECOSYSTEMES EN ZONES ARIDES ET SEMI ARIDES
 UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA
 ISSN 2170-1318



<p style="text-align: center;">Directeur de la revue</p> <p style="text-align: center;">Pr. HALILAT Mohamed Taher</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Directeur de la publication</p> <p style="text-align: center;">Mr KHELIFA Abdelkader</p> <p style="text-align: center;">Directeur scientifique de la publication</p> <p style="text-align: center;">Pr. BISSATI Samia</p> <p style="text-align: center;">Rédacteur en chef</p> <p style="text-align: center;">Pr. OULD EL HADJ Med Didi</p> <p style="text-align: center;">Comité de rédaction</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr. CHELOUFI Hamid - Pr. SAKER Med Lakhdar - Pr. DADDI BOUHOUN Mustapha - Dr BOUAL Zakaria <p style="text-align: center;">Mise en page</p> <p style="text-align: center;">Mr CHAABENA Ahmed</p> <p style="text-align: center;">Comité scientifique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr. OULD EL HADJ M. D., Algérie - Pr. DADDA MOUSSA B., Algérie - Pr. MESSAITFA A., Algérie - Pr. HADJ-MAHAMMED M., Algérie - Pr. SOLTANI N., Algérie - Pr. BOUGHEDIRI L., Algérie - Pr. DOUMANDJI S., Algérie - Pr. DOUMANDJI-MITICHE B., Algérie - Pr. LAAMARI M., Algérie - Pr. HALITIM A., Algérie - Pr. BENALAOUA S., Algérie - Pr. SAMRAOUI B., Algérie - Pr. COTE M., France - Pr. MICHAUD P., France - Pr. SERGE MARLET C., France - Pr. CHERITI A., Algérie - Pr. TAMISIER A. J., France - Pr. BOUTIN C., France - Pr. HAMDIA AISSA B., Algérie - Pr. TRAORE S. A., Burkina Faso - Pr. O/ EL HADJ-KHELIL A., Algérie - Pr. SIBOUKER O., Algérie - Pr. TOUCHAN R., USA - Pr. BOUTATAOU D., Algérie - Pr. ADAMOUCHE A., Algérie - Dr ESNAULT M. A., France - Dr M'SADAK Y., Tunisie - Dr SANON S., Burkina Faso - Dr BOURAS N., Algérie 	<p style="text-align: center;">ADRESSE DE LA DIRECTION DE LA PUBLICATION</p> <p style="text-align: center;"><i>Algerian Journal of Arid Environment</i></p> <p style="text-align: center;">Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi arides Faculté des sciences de la nature et de la vie BP 511, Université Kasdi Merbah-Ouargla 30000 Ouargla, Algérie</p> <p style="text-align: center;">Tél. : (+213) 29 71 65 71/29 71 56 89 Fax. : (+213) 29 71 56 89 Web: www.ouargla-univ.dz E-mail: ecosys.infos@yahoo.fr</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Instructions aux auteurs</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Les articles peuvent être rédigés dans deux langues (arabe, français ou anglais). Ils doivent subir deux expertises, à la fois scientifique et linguistique, avant acceptation. 2.- Le nombre total de pages de l'article dépend de sa nature : Originale (15 pages), synthèse (8 pages) et étude de cas (6 pages). Les articles doivent présenter des résultats non publiés, et ceux de synthèse et d'étude de cas doivent être synthétiques sans illustrations. 3.- Leurs soumissions doivent parvenir à l'adresse électronique en format TNR pour le texte et JPG pour les illustrations. 4.- L'auteur correspondant recevra après expertise et acceptation un tiré à part sous format PDF et un exemplaire de revue gratuitement. 5.- Pour permettre une pérennité et une large diffusion à la revue un abonnement sera proposé sur le site de l'université et dans la revue aux particuliers, institutions et étudiants avec des tarifs étudiés selon la catégorie et la destination. 6.- Le texte doit être en forme TNR taille 12 avec numérotation des lignes. Le titre de l'article en langue de rédaction et en anglais de forme TNR taille 14 gras, est suivi des nom et prénom des auteurs en forme TNR taille 12 avec adresses et Email en forme TNR taille 11, avec un astérisque sur l'auteur correspondant. 7.- Les résumés doivent être rédigés en langue de rédaction, en arabe ou anglais, de forme TNR taille 10, italique. Ils doivent comporter cinq mots clés au maximum. 8.- Les illustrations légendées ne doivent pas dépasser cinq illustrations avec mention dans le texte et numérotées en chiffres arabes (figure, photo 1, 2, etc.) et chiffres romains (tableau I, II, etc.). 9.- Les références bibliographiques ne doivent pas être sélectives d'articles de revues, de livre et d'article de livres seulement. Ils seront classés par leur ordre d'apparition dans le texte et appelées dans ce dernier par leur numéro placé entre crochets : <ul style="list-style-type: none"> - Exemple de revue : Maduakor H., 1991 - Efficient fertilizer. Fertilizer Research, 29: 65-79. - Exemple de livre : Steel R., Torrie J., 1960 - Principles and procedures. McGraw-Hill, London, 433 p. - Exemple d'article de livre: Tal M. Selection for stress tolerance. In : Evans D.A., Shap N.R., Ammirato P.V., eds. Handbook for plant cell culture. New York : Macmillan, 1992 : 101-112. <hr/> <p>Les thèmes des articles publiés dans <i>Algerian Journal of Arid Environment</i> concernent tout ce qui touche au développement et à la gestion durable de l'environnement des régions arides et semi arides de la planète.</p> <p style="text-align: right;">Rédacteur en chef</p> <p style="text-align: right;">Pr. OULD EL HADJ Med Didi</p>
--	---

Algerian Journal of Arid Environment

“AJAE”

vol. 7, n°1 - 2017

Sommaire

- Etude de l'effet de substitution du fumier par le phragmite (*Phragmites communis* Trin.) sur la qualité du compost à base de sous produits du palmier dattier**
TIRICHINE Aissa, ABID Abdel Fatah., DAHLIZ Abderrahmane, HAFOUDA Lamine, MEROUCHI Wardia et KHALED Halima 4
- Influence des facteurs environnementaux et anthropiques sur la régénération naturelle du chêne-liège (*Quercus suber*) au Nord-Ouest de la Tunisie durant la période (1983-2009)**
JDAIDI Nouri, CHAABANE abbes, KHEMIRI Imen et HASNAOUI Brahim 18
- Diagnostic de fonctionnement d'un pivot adopté dans une grande exploitation irriguée du Nord-Est tunisien**
M'SADAK Youssef, MANAI Afoua, BEN MABROUK Aniset HAMZA Mahmoud Elies 29
- Etude cinétique de la croissance de *Saccharothrix algeriensis* dsm 44581 en fermenteur batch en présence d'acide benzoïque et d'acide humique**
BOURAS Nouredine, MEKLAT Atika, TOUMATIA Omrane, MOKRANE Salim, BRANDAM Cédric, OULD EL HADJ Mohamed Didi, LEBRIHI Ahmed, MATHIEU Florence et SABAOU Nasserline 45
- Comportement agronomique hors sol des plants de tomate sur substrats de culture à base de tourbe en mélange avec compost sylvicole**
BEMBLI Houda, M'SADAK Youssef 57
- Effet de milieux de culture sur la croissance et la production de chloramphénicol chez deux souches de *Saccharothrix* sp. PAL54 et PAL42 isolées d'un sol de la palmeraie de Ghardaïa**
BOUALI Hadjer, HAMZA Karima, BOURAS Nouredine, AOUCHE Adel, MEKLAT Atika, MOKRANE Salim, HAMZA Kahina et SABAOU Nasserline 71
- Ressources hydriques: traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie**
BOUCHAALA Laid, CHARCHAR Nabil et GHERIB Abde Elfettah 84
- Biodiversité et répartition des moustiques (Diptera: Culicidae) dans les oasis de la région de Biskra (Sud-Est Algérien)**
BENHISSEN Saliha, HABBACHI Wafa et OUAKID Mohamed Laid 96
- Infestation des agrumes par la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera, Trypetidae) a Tlemcen-Algérie**
SETTAOUI Soumia, TAIBI Ahmed, HAMMADI Fatih et DOUMANDJI Salaheddine 102
- Quelques aspects histo-morphologiques du pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans le nord occidental de l'atlas tellien (Tlemcen - Algérie)**
BERRICHI Mohamed, CHIKH Mohamed, HADDAD Ahmed, ALLAM Fatfallah, GUEFFAR Mohamed et BELKHODJA Yacine 111

ETUDE DE L'EFFET DE SUBSTITUTION DU FUMIER PAR LE PHRAGMITE (*Phragmites communis* TRIN.) SUR LA QUALITE DU COMPOST A BASE DE SOUS PRODUITS DU PALMIER DATTIER

TIRICHINE Aissa*, ABID Abdel Fatah., DAHLIZ Abderrahmane, HAFOUDA Lamine, MEROUCHI Wardia et KHALED Halima.

INRAA, Station expérimentale de Sidi Mehdi, Touggourt, Algérie

E-mail: tissa97@gmail.com*, abid.abdou2009@gmail.com, dahlizabdo@yahoo.fr, hafoudalamine@yahoo.fr, khhalima2004@gmail.com

(Received 08 March 2017– Accepted 22 May 2017)

Résumé.- L'étude porte sur la réalisation des composts à base des sous produits du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques et biologiques de ses composts en fonction des pourcentages de deux sources d'azote, le fumier et le roseau en vert (*Phragmites communis* Trin.). En se référant aux indicateurs de maturité des composts décrits dans la bibliographie, les caractéristiques étudiées des 4 traitements réalisés témoignent de la maturité des composts obtenus et démontrent la faisabilité de leur utilisation agronomique. Les pourcentages décroissants de fumier ont agi sur le processus de compostage en donnant des composts à caractéristiques relativement distinctes.

Mots clés: Compostage, amendement organique, palmier dattier, oasis, *Phragmites communis*.

STUDY OF THE SUBSTITUTION EFFECT OF MANURE BY PHRAGMIT (*Phragmites communis* TRIN.) ON THE QUALITY OF DATE PALM BY-PRODUCTS COMPOST.

Abstract.- The study focuses on production of composts prepared with date palm (*Phoenix dactylifera* L.) by-products and on evaluation of chemical, physical and biological properties of these composts according to percentages of two nitrogen sources, manure and green reed (*Phragmites communis* Trin.). Referring to maturity indices of composts described in the bibliography, the studied characteristics of the four conducted treatments show the maturity of composts and demonstrate the feasibility of their agronomic use. The decreasing percentages of manure affects the composting process and gives composts with relatively distinct characteristics.

Key words: Composting, Organic amendment, Date palm, oasis, *Phragmites communis*.

Introduction

La pratique agricole dans la vallée d'Oued Righ est sujette à divers entraves auxquels l'agriculteur déplore des efforts considérables pour les gérer et maintenir ainsi le bon fonctionnement de son exploitation. Parmi ces entraves, il est à signaler certains qui sont relatifs au sol.

Les sols sahariens sont connus par leur faible teneur en matière organique [1,2]. KOULL (2006) note que leur fraction organique est inférieure à 1% [1]. D'après l'étude agro pédologique réalisée par SOGETA-SOGHREA (1970) dans la vallée d'Oued Righ, la teneur

des sols en matière organique est de 0,5%. Un problème qui se joigne à celui de la salinité et d'engorgement des sols par l'eau [3].

Devant cette situation, les agriculteurs font appel d'une part à l'achat des quantités importantes de fumier pour la mise en place de leurs cultures. Selon MERROUCHI (2009), 99% des quantités de fumier utilisés par an dans la vallée sont achetées, ainsi que l'amendement organique et minéral représente 12% des dépenses par hectare et par an des exploitations. Ils devront curer périodiquement les drains pour ressuer les sels et réduire par le même moyen l'eau excédentaire [4].

Malgré l'importance de ces pratiques dans la réalisation des bons rendements, elles demeurent coûteuses en temps et en main d'œuvre suscitant les agriculteurs les moins démunis à délaisser leurs jardins.

L'intégration de compost dans l'agriculture oasienne constitue un moyen de sa relance car selon CHAKROUNE *et al.* (2005), son utilisation comme amendement organique, pourra remédier aux problèmes de l'appauvrissement et de la salinisation des sols du milieu oasien et contribuer à la lutte contre des maladies des plantes [5]. D'après SELA *et al.* (1998) cité par CHAKROUNE *et al.* (2005), le compost est un facteur de protection, de stabilité et de fertilité du sol [5].

La fabrication d'un compost à base des matériaux locaux tels que les sous produits du palmier dattier (qui sont principalement brûlés) et le phragmite (qui pousse dans les drains) assurera l'autonomie d'approvisionnement en matière organique, réduira les coûts de production et assurera l'entretien permanent de la palmeraie.

Le présent travail recherche l'effet d'utilisation de deux sources d'azote, le fumier et le phragmite en vert (*Phragmites communis* Trin.) sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques d'un compost fabriqué à base des sous produits du palmier dattier.

1.- Matériels et méthode

1.1.- Essai de fabrication du compost

L'objectif de l'essai est d'étudier la faisabilité d'utilisation de deux sources d'azote (le fumier et le phragmite) tout en veillant à remplacer le fumier par le phragmite en vert.

L'essai est conduit à la station INRAA Touggourt sous les mêmes conditions d'une exploitation agricole. L'aire de compostage est aménagée entre les lignes des palmiers dattier. Le taux en matière azotée et carbonée adopté est celui préconisé par CHAKROUNE *et al.* (2005) [5], BOUHAOUACH *et al.* (2009) [6] et APEB (2009) [7], soit un volume de fumier pour trois volumes du broyat des palmes.

Trois types de matière organique sont utilisés. Il s'agit du fumier ovin, des palmes broyées et trempées dans l'eau et le phragmite vert fauché avant la floraison et broyé après pré-fanage à l'air libre.

Quatre traitements (T_1 , T_2 , T_3 et T_4) sont appliqués pour contrôler l'effet de substitution du fumier par le phragmite. Les traitements réalisés selon leurs pourcentages respectifs en matière organique sont représentés dans le tableau I.

Tableau I.- Pourcentage (%) de la matière organique en fonction des traitements

Traitements	Fumier	Broyat palmes	Broyat phragmite
T_1	25	75	0
T_2	15	75	10
T_3	10	75	15
T_4	0	75	25

Un andin est confectionné par traitement. Les dimensions de l'andin sont de 2 m de longue, 1,5 m de large et de 0,70 m de hauteur. Les quantités mises par andin pour chaque traitement sont établies au moment de la construction des tas tout en respectant les proportions proposées.

Pour contrôler l'évolution du processus du compostage et obtenir un compost de qualité, plusieurs observations sont prises en compte à savoir:

- Le relevé quotidien de la température à l'aide d'un thermomètre à sonde introduit dans l'andin. Elle est prise à 50 cm de la surface de chaque andin. Les températures sont relevées à la mi-journée. La température ambiante journalière est aussi prise en compte.
- L'arrosage des andins tous les jours pour maintenir l'humidité à l'intérieur des tas à des niveaux acceptables,
- L'oxygénation de l'andin par le retournement. La lecture de la température interne du tas peut amener à avancer un retournement (baisse excessive) ou à retarder (si la température reste élevée).

1.2.- Evaluation de la qualité du compost

En vue d'une utilisation agronomique d'un compost, il est nécessaire de s'assurer de la décomposition complète des matériaux compostés car selon LARRE- LARROUY et THURIES (2006), la gestion du processus de compostage doit tenir compte de la valeur agronomique potentielle du produit final en évaluant son degré de maturité [8].

Les différences dues aux origines des matières initiales à composter et des techniques de compostage utilisées conduisent souvent à des résultats divergents sur la fiabilité des différents indicateurs de maturité des composts [9]. De ce fait, plusieurs auteurs suggèrent ainsi qu'aucun critère n'est utilisable isolément. Ils recommandent une combinaison de différentes techniques [10-15].

Les quatre composts obtenus en fonctions des traitements adoptés, vont subir une évaluation de leur qualité de point de vue physique, chimique et biologique en se référant aux indicateurs de maturité des composts décrits dans la bibliographie et en fonction des moyens disponibles.

- Evaluation de l'intensité de décomposition par la mesure de la température interne des

andins: selon ZNAIDI (2002), l'évolution de la température, qui exprime l'activité de la succession de populations microbiennes, est la manifestation la plus perceptible de la dynamique du compostage [16]. FUCHS *et al.* (2001) et LARBI (2006) rapportent que l'évolution de la température est un critère de qualité très important [17,18]. BRINTON *et al.* (1995) notent que plusieurs travaux ont montré la pertinence de la température pour évaluer la maturité des composts [19]. Selon EL FELS (2014), par le suivi de la température au cours du compostage va découler le réajustement des conditions du procédé: humidité, fréquences des retournements, etc. [15]. TREMIER *et al.* (2007), considèrent que l'évaluation de la température au cours de compostage est un indicateur du niveau de stabilisation de la matière organique, qui ne nécessite pas de prélèvement de la matière [20].

- Les propriétés physiques à contrôler sont : la couleur, l'odeur et l'aspect du compost.

- Les paramètres chimiques examinés portent sur le pH, la conductivité électrique, la matière organique et le rapport C/N. Les analyses chimiques des matériaux de départ (palmes, fumier, phragmite et l'eau) et d'un échantillon du compost par traitement obtenu après quatre mois de mise en andin sont réalisées au sein du laboratoire des sols de la station.

- L'évaluation de la qualité biologique se résume :

. À la mesure de la phytotoxicité des quatre traitements du compost par le test de germination sur orge proposé par WHO (1978) cité par DUVAL (1993) [21], le test est basé sur des essais de germination des graines d'orge sur le compost pur ou mélangé au sol.

. À l'Examen de l'infestation en phragmite et en mauvaises herbes : le risque de contamination de compost par les graines du phragmite est possible, de ce fait un échantillon du compost par traitement est testé pour confirmer ou rejeter cette éventualité d'une part et d'autre part examiner le taux d'infestation en d'autres plantes adventices.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Evaluation de l'intensité de décomposition en fonction des traitements

L'évolution de la température interne des quatre andins pendant le compostage a indiqué un bon déroulement du processus. Les températures ont atteint des seuils qui dépassent 60°C (fig. 1). La figure 1 montre une augmentation progressive des températures avec une allure plus rapide chez le T₃. Vers le 6^{ème} jour après la mise en andin, les températures ont dépassé les 60°C dont T₃ a atteint 74°C. L'énergie calorifique produite par les réactions d'oxydation est la cause de l'élévation de température [22]. Pour NADA (2011), l'augmentation de la température au début peut être due à la teneur élevée en carbone disponible et indispensable pour la croissance et l'activité biologique des microorganismes [23].

MISRA *et al.* (2005) rapportent que les températures élevées entre 50 et 70 °C, sont idéales et caractérisent les processus de compostage aérobie et, sont les indicateurs d'une activité microbienne importante [24]. MICHAUD (2007) note qu'à 60°C, la plupart des bactéries et des champignons pathogènes de même que les graines de plantes adventices sont détruits [25].

Le graphique des températures montre des allures différentes d'un traitement à un autre et qui suivent relativement les mêmes fluctuations que celle de la température ambiante. Ce résultat montre l'effet marquant du type de substrat, des conditions du milieu et de

l'oxygénation de l'andin sur l'évolution du processus. Les retournements n'étant pas effectués à la même date pour les 4 traitements mais ils sont déterminés par la baisse de la température de l'andin. CHEKROUNE *et al.* (2005) ont obtenu le même résultat [5]. ZNAIDI (2002) et TREMIER *et al.* (2007) notent que les variations de la température lors du compostage dépendent des matériaux de départ et du type de procédés mis en œuvre [16,20].

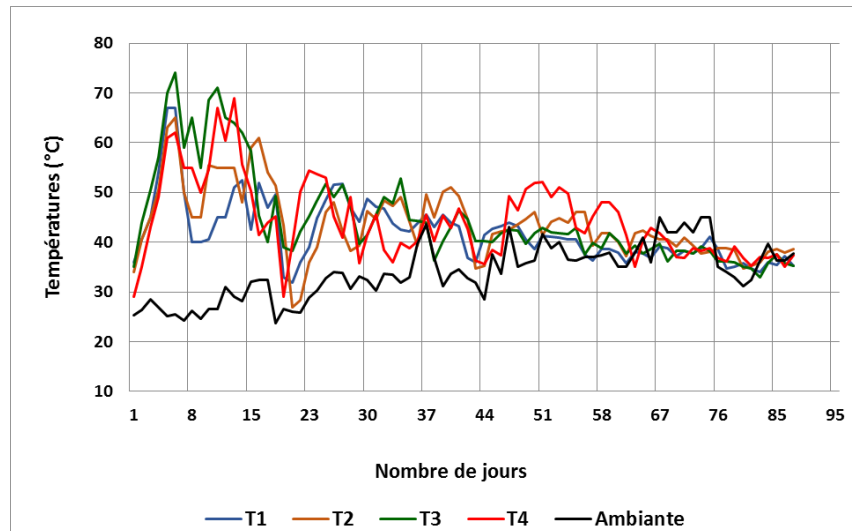


Figure 1.- Evolution de la température interne des andins en fonction des traitements

En tenant compte de l'évolution des températures, les quatre traitements ont subi les deux phases du processus: la phase mésophile et la phase thermophile. La première phase correspond selon MICHAUD (2007) aux températures inférieures à 40°C et la deuxième phase coïncide avec les températures au-dessus de 40°C [25]. Après chaque retournement il est observé la succession des deux phases et les températures atteintes en phase thermophile sont cependant de moins en moins élevées au fur et à mesure des retournements. Selon ZNAIDI (2002), ces retournements permettent de s'assurer que tous les éléments du tas subissent les deux phases de compostage afin que le produit final soit homogène et entièrement assaini [16]. Les températures internes des andins ne s'élèvent plus après retournement et se confondent avec la température ambiante à partir du 90^{ème} jour depuis le début du processus, ce qui constitue un indice de maturité selon JIMENEZ et GARCIA (1989) cités par BREWER (2001) [10]. D'après KAPETANIOS *et al.* (1993) cités par FRANCOU (2003), la stabilisation de la température du compost traduit la fin de la phase de dégradation intensive [9]. DAY and SHAW (2001), SAVAGE et DIAZ (2007); et NADA (2011), notent que la réduction des températures à des niveaux avoisinants ceux de l'environnement est due à l'épuisement du milieu en composés organiques facilement métabolisables [26-23] et d'après AIT BADDI *et al.*, (2004) et AMIR (2005), seuls les composés résistants à la dégradation (lignine et cellulose) persistent [28,29].

2.2.- Evaluation des paramètres physiques des composts en fonction des traitements

En ce qui concerne les propriétés physiques, les quatre traitements montrent les caractéristiques requises pour un bon compost. Ils présentent une odeur de la terre. Ils ont une texture friable au toucher et les composés d'origine utilisés ne sont pas distingués à l'œil nu.

Les traitements T₁, T₂ et T₃ ont une couleur brune foncée par contre le T₄ présente une couleur noire grisâtre due à l'absence du fumier et à la prédominance du phragmite en vert. Selon BREWER (2001), la couleur et l'odeur du compost servent comme un indicateur approximatif de la maturité du compost [10]. De ce fait CHARNAY (2005) note que cette approche sensorielle, simple et rapide doit être complétée par des analyses plus précises [30].

2.3.- Evaluation des paramètres chimiques des composts en fonction des traitements

Les résultats des analyses chimiques des quatre traitements ont révélé des valeurs distinctes pour la salinité, la matière organique et le rapport C/N. Le pH est près de 7 chez tous les traitements (tab. II).

Tableau II.- Caractéristiques chimiques des composts obtenus en fonction des traitements

Paramètres	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
pH	7,81	7,63	7,69	7,03
CE (mS/cm)	5,91	6,94	7,17	9,25
Salinité (g/l)	3,78	4,44	4,59	5,92
M.O (%)	29,75	33,32	25,75	39,28
C/N	9,65	10,81	11,89	13,36

A l'exception de la conductivité électrique, les mesures enregistrées correspondent aux valeurs consignées pour un compost mature selon les références bibliographiques citées dans le tableau III.

Tableau III.- Valeurs de compost mature selon les références bibliographiques

Paramètres	Valeurs de compost mature	Références
Ph	7 à 9	FORSTER <i>et al.</i> , 1993 cités par FRANCOU (2003) [9]
	7 à 8	NAKASAKI <i>et al.</i> (1993) [31] et DEVISSCHER (1997) [22]
	5,5 à 8,5	Ministère de l'Environnement de l'Ontario (2012) [32]
CE	<4 mS/cm	Ministère de l'Environnement de l'Ontario (2012) [32]
	< 3 mS/cm	SOUMARE <i>et al.</i> (2002) cité par M'SADAK <i>et al.</i> 2013 [33]
	1 mS/cm	ITAB (2001) in SGHAIROUN et FERCHICHI (2011) [34]
MO	23% à 63%	DEVISSCHER (1997) [22]
	> 5%	AFNOR (Association Française de Normalisation) cité par COMPAORE <i>et al.</i> (2010) [35]
	37% à 47%	ITAB (2001) cité par SGHAIROUN et FERCHICHI (2011) [34]
C/N	10 à 15	DEVISSCHER (1997) [22] NAMKOONG <i>et al.</i> (1999) cité par COMPAORE <i>et al.</i> (2010) [35]
	< 22	Ministère de l'Environnement de l'Ontario (2012) [32]

15 à 20	FAO cité par COMPAORE <i>et al.</i> (2010) [35]
< 20	AFNOR cité par COMPAORE <i>et al.</i> (2010) [35]
< 25	Mc CLINTOCK (2005) [36]
8 à 14	BALDWIN and GREENFIELD (2009) [14]
8 à 15	ITAB (2001) in SGHAIROUN et FERCHICHI (2011) [34]

Le pH varie de 7,03 (T₄) à 7,81 (T₁). Pour Mc CLINTOCK (2005) un compost stable et mature, est neutre avec un pH près de 7,0 [36].

Les quatre traitements présentent un taux de salinité élevé qui dépasse les normes préconisées dans le tableau III.

Cette salinité élevée est à l'origine de l'utilisation de matériau de départ riche en sel, à l'arrosage des andins avec une eau chargée au environ de 5 g/l de sel et à l'évaporation intense survenue lors de la période du compostage coïncidant avec les chaleurs estivales. La composition en sel du fumier est de 4,55 g/l, celle des palmes est de 9,32 g/l et le phragmite donne une salinité de 3,85 g/l. LARBI (2006) note que ce sont principalement les matières premières compostées qui influencent la conductivité électrique du produit obtenu [18].

L'effet d'arrosage avec une eau salée est très marquant du fait que la salinité croît de T₁ à T₄ en fonction de la dose moyenne quotidienne de l'eau reçue par chaque traitement. Elle est respectivement de 20,74 l/jour, 20,87 l/jour, 21 l/jour et 27,39 l/jour.

Le même constat a été énoncé par SGHAIROUN et FERCHICHI (2011) qui ont obtenu un taux de sel d'un compost à base des palmes de 2,06 g/l sous l'effet d'utilisation d'une eau chargée de l'ordre de 3,5 g/l [34].

Etant donné que les sols de la région sont en majorité salés, selon SOGETA-SOGHREA (1970) et atteignant une conductivité électrique de 6 mS/cm et plus, l'incorporation au sol des composts obtenus ne présente pas de risque [3]. MEO (2012) signale que la nature des facteurs limitatifs liés à la teneur en sels du compost dépendra éventuellement de l'utilisation finale qui en sera faite. Par exemple, un compost destiné à servir de substrat pour la germination des semences devrait avoir une teneur en sels solubles inférieure à 2 mS/cm [32].

Le taux de la matière organique varie du 25,75% à 39,28% (tab. II). Le T₃ présente la valeur la plus faible. L'ensemble des valeurs prises par les traitements concordent aux normes prescrites dans le tableau III. La teneur en matière organique dépend des intrants et du degré de maturation du compost [18]. L'absence de fumier pour T₄ a influencé sur le processus de décomposition donnant état d'un taux de matière organique élevé (39,28%) par rapport aux autres traitements. Le fumier étant la source d'une microflore, agent principal de la décomposition des matières organiques.

Les résultats d'analyse chimique ont révélé un rapport C/N variant de 9,65 à 13,36 et conviennent aux normes décrites dans le tableau III. D'après SENESI (1989) cité par SINGH *et al.* (2009), la diminution du rapport C/N au-dessous de 20, est un indice d'un degré avancé de la stabilisation de la matière organique [37]. L'effet du fumier sur la décomposition de la matière organique est révélé par la variation croissante de C/N de T₁ à T₄ en fonction des quantités décroissantes du fumier. En comparant le C/N de divers composts, NADA (2011) rapporte que la décomposition été faible dans le compost présentant un C/N élevé [23].

2.3.- Evaluation de la qualité biologique des composts en fonction des traitements

2.3.1.- Test de phytotoxicité sur l'orge

TREMIER *et al.* (2007) notent que le test de phytotoxicité mesure la toxicité immédiate du compost (inhibition de la germination) ou sa toxicité latente (inhibition de la croissance racinaire) [20]. Le test de germination sur orge a révélé des taux de germination différents entre les graines mises à germer dans les composts purs et dans les composts mélangés avec de la terre (tab. IV).

Tableau IV.- Taux de germination des composts en fonction des traitements (%)

100% Sol	Mélange (50% sol et 50% compost)				100% compost			
Témoin	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
100%	91.66	91.66	93.33	93.33	86.66	65.00	95.00	83.33

Le taux dans les mélanges est de 91,66% pour le T₁ et T₂ et il est de 93,33% pour T₃ et T₄. Le compost utilisé seul donne des taux différents d'un traitement à un autre. T₃ présente le taux le plus élevé (95%). T₂ présente un taux faible de 65%. Le même constat été révélé par divers auteurs. COMPAORE *et al.* (2010) ont obtenu des taux de germination nettement faibles sur compost pur, de l'ordre de 33% chez le maïs et de 15% chez l'arachide [35]. ATTRASSI *et al.* 2007 rapportent que l'incorporation d'une dose de 33% du compost au sol permet un taux de germination de 85,71% pour le blé et de 62,42% pour la tomate. Ces mêmes cultures sur compost pur ont eu des taux de 64% chez le blé et de 41% chez la tomate. La variation du taux de germination des graines est en fonction des matériaux de départ utilisés et du processus du compostage [39]. Toutefois, il semble que les taux de germination des quatre traitements sont nettement meilleurs sur composts purs ou mélangés. De ce fait, les différents composts obtenus s'avèrent matures, car un compost est considéré non toxique s'il présente un taux de germination supérieur à 85% [40]. TREMIER *et al.* (2007) signalent que l'absence d'inhibition de la germination semble indiquer une bonne stabilité du compost [20].

Le test de phytotoxicité réalisé sur orge, confirme encore d'avantage l'effet limité de la salinité enregistrée chez le compost des différents traitements sur la culture. Pour ALBRECHT (2007), des concentrations élevées en sels et la libération d'acides organiques dans les composts sont corrélées à l'inhibition de la germination [13].

En comparant les différents traitements, T₃ semble être le meilleur car il présente un taux de germination élevé même s'il est employé seul. Ceci témoigne de son degré avancé de maturité.

2.3.2.- Contrôle de l'infestation en phragmite et en mauvaises herbes

L'utilisation du phragmite comme substrat suppose le risque de dissémination de la plante lors de l'épandage du compost obtenu. Après 40 jours de mise en essai, il n'a été enregistré aucune apparition d'un plant de phragmite sur l'ensemble des traitements. Le fauchage du phragmite avant floraison est primordial pour garantir la pureté du compost en graine de cette espèce envahissante.

Durant la même période, l'infestation en mauvaises herbes a été nulle pour le traitement T₄ par contre, celle des autres traitements a été à des degrés très faibles (tableau V). Deux espèces uniquement ont été présentes. Il s'agit du chiendent [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.] et du mélilot (*Melilotus indica* L.).

Tableau V.- Nombre moyen de plantes adventices en fonction des traitements

	Chiendent	Mélilot
T₁	13	9,5
T₂	3,5	2
T₃	2,5	1
T₄	0	0

Il est à remarquer la diminution du nombre moyen de plants d'adventice en fonction des pourcentages décroissant de fumier. Ce dernier étant la source essentielle du stock semencier des adventices dans les substrats testés. Un nombre réduit de graines d'adventice persistent viables après compostage [41,42]. Les graines retrouvées viables se situent dans des points restés froids de l'andain ou bien elles sont disséminées par le vent et déposées sur le compost [43]. Même si la température joue un rôle important dans la destruction de graines, elle n'explique pas totalement l'hygiénisation du compost [44]. La viabilité des graines d'adventices peut être affectée plus par la combinaison de températures élevées et de conditions humides de l'andain plutôt que de hautes températures seules [42]. La production de phytotoxines pendant le compostage serait une variable importante de la perte de viabilité des graines [45]. Il existe d'autres facteurs qui peuvent agir sur la destruction des graines tels que la germination dans les conditions létales, l'attaque des graines par des pathogènes et la toxicité due aux concentrations élevées de l'ammoniac produits lors des premiers jours de compostage [46].

Les tests entrepris dans cette étude font appel à divers méthodes utilisées pour l'évaluation qualitative des composts. Ils renseignent à titre indicatif sur l'état de stabilité des composts obtenus car selon TREMIER *et al.* (2007) aucune méthode, ni aucun indicateur n'est reconnu comme solution universelle pour apprécier la stabilité des composts [20]. De même DIAZ et SAVAGE (2007) constatent qu'un nombre relativement élevé de tests manquent d'universalité en termes de valeurs applicables [47]. La mise au point de méthodes standards permettant de définir la maturité des composts, indépendamment de leur origine et de leur

fabrication, semble s'avérer impossible [9]. Pour TREMIER *et al.* (2007) quel que soit l'indicateur choisi, il paraît difficile de définir une limite de stabilité pour tous les produits organiques sur la base d'une même valeur seuil. Les mêmes auteurs demandent s'il ne conviendrait pas mieux de quantifier un niveau de stabilisation, c'est-à-dire le rendement d'abattement des différentes fractions de matière organique biodégradable entre le matériau brut et traité. Ceci impliquera d'avoir précisément défini à quoi correspondent ces fractions biodégradables et comment les quantifier [20].

Conclusion

Les résultats obtenus révèlent plusieurs informations. Du point de vue qualité et en se référant aux indicateurs de maturité des composts, les caractéristiques étudiées des 4 traitements témoignent de la maturité des composts obtenus à base du phragmite, des broyats des palmes et de fumier et démontrent la faisabilité de leur utilisation agronomique. Les pourcentages décroissants de fumier ont agi sur le processus de compostage en donnant état des composts à caractéristiques relativement distinctes. T₄ à 0% de fumier donne un taux de la matière organique et un rapport C/N élevés par rapport aux autres traitements. Par contre l'infestation en mauvaises herbes de ce même traitement (T₄) a été nulle. Ces constats ne signifient pas que le T₄ est de mauvaise qualité mais il répond aux normes exigées pour un bon compost.

En comparant les quatre traitements, le T₃ s'avère le meilleur car il présente les caractéristiques recherchées. Par rapport à son auto échauffement, il a atteint des températures dépassant les 70 °C. Il présente une maturité satisfaisante justifiée par son taux de matière organique faible et un taux de germination élevé même s'il est employé seul. L'utilisation de ce compost (T₃) comme amendement organique permet d'une part de réduire de 60% la quantité en fumier à utiliser par rapport au T₁ et de bénéficier de l'effet bénéfique du fumier sur le processus de compostage. La réalisation de ce type de compost présente donc un intérêt économique certain en réduisant les coûts engagés pour le désherbage et pour l'achat des quantités élevées en fumier.

Références bibliographiques

- [1].- Koull N., 2006.- Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla. Thèse de magistère, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 86p.
- [2].- Bouafia D., 2012.- L'effet des boues résiduelles sur quelques paramètres phénologiques de la luzerne (*Medicago sativa* L.). Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 53 p.
- [3].- Sogeta-Sogreah., 1970.- Participation à la mise en valeur de l'Oued Righ. Etude agro pédologique, 201p.
- [4].- Merrouchi L., 2009.- Caractérisation d'un agro système oasien, évolution et perspectives de développement. Thèse de magister, Département des sciences agronomiques, Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 86 p.

- [5].- Chakroune K., Bouakka M. et Hakkou A., 2005.- Incidence de l'aération sur le traitement par compostage des sous-produits du palmier dattier contaminés par *Fusarium oxysporum* f.sp. albedinis. Can. J. Microbiol, 51: 69-77.
- [6].- Bouhaouach H., Culot M. et Kouki K., 2009.- Compostage et valorisation des déchets oasiens pour l'amélioration des sols et de la productivité. Symposium International «Agriculture durable en région méditerranéenne (AGDUMED)» Rabat, Maroc, Pp 235-240.
- [7].- APEB., 2009.- Agro écologie oasienne. Document pédagogique. Projet AKRAZ. Association de protection de l'environnement de Béni Isguen (APEB), Agence espagnole de la Coopération Internationale (AECID) et Cives Mundi, 31 p.
- [8].- Larre-Larrouy M. C. and Thuries L., 2006.- Does the methoxyl group content of the humic acid-like fraction of composts provide a criterion to evaluate their maturity? Soil Biology and Biochemistry 38, Issue, 9: 2976-2979.
- [9].- Francou C., 2003.- Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage. Recherche d'indicateurs pertinents. Thèse de Doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon, 289 p.
- [10].- Brewer L. J., 2001.- Maturity and Stability Evaluation of Composted Yard Debris. Master of Science in Soil Science, Oregon State University, USA, 144 p.
- [11].- Goyal S., Dhull S. K. and Kapoor K. K., 2005.- Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. Bioresource Technology 96: 1584-1591.
- [12].- Boulter-Bitzer J. I., Trevors J. T. and Boland G. J., 2006.- A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost intended for suppression of plant pathogens. Applied Soil Ecology, 34: 65-81.
- [13].- Albrecht R., 2007.- Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse de doctorat, Université Paul Cezanne Aix-Marseille III, 189 p.
- [14].- Baldwin K. R. and Greenfield J. T., 2009.- Composting on Organic Farms. Center for Environmental Farming Systems, USA, 21 p.
- [15].- El Fels L., 2014.- Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmier: validation de nouveaux indices de maturité. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, Université de Toulouse, 295p.

- [16].- Znaidi I. E., 2002.- Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. Master Of Science Degree. Mediterranien Agronomic Institute of Bari, C.I.H.E.A.M., Italie, 104 p.
- [17].- Fuchs J., Galli U., Schleiss K. et Wellinger A., 2001.- Directive de l'ASIC 2001 : Caractéristiques de qualité des composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. Association Suisse des Installations de Compostage (ASIC), Forum Biogaz Suisse, 12 p.
- [18].- Larbi M., 2006.- Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Thèse de doctorat, Université de Neuchâtel, Suisse, 161 p.
- [19].- Brinton W. F., Evans. E., Droffner. M. L. and Brinton. R. B., 1995.- Standardized Test for Evaluation of Compost Self-Heating. *Biocycle* 36: 64-69.
- [20].- Tremier A., De Guardia A. et Mallard. P., 2007.- Indicateurs de stabilisation de la matière organique au cours du compostage et indicateurs de stabilité des composts: analyse critique et perspectives d'usage. *Techniques Science Méthodes* N° 10 : 105-129.
- [21].- Duval J., 1993.- Méthodes d'évaluation de la maturité des composts. Ecological Agriculture Project, McGill University, Canada, 8 p.
- [22].- Devisscher S., 1997.- Le compost. Mémoire D.E.S.S, Université de Picardie, France, 60p.
- [23].- Nada W. M., 2011.- Wood compost process engineering, properties and its impact on extreme soil characteristics. PhD thesis, Potsdam University, Germany, 183 p.
- [24].- Misra R. V., Roy R. N. et Hiraoka H., 2005.- Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Documents de travail sur les terres et les eaux 2, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Rome, 48 p.
- [25].- Michaud L., 2007.- Tout sur le compost : le connaître, le faire, l'acheter et l'utiliser. Éditions MultiMondes, Québec, 230 p.
- [26].- Day M. and Shaw K., 2001.- Biological, Chemical, and Physical Processes of Composting in Peter J. S. and Kahn B. A. 2001. Compost utilization in horticultural cropping systems. CRC Press LLC, USA, 29-63.
- [27].- Savage G. M. and Diaz L. F., 2007.- Bioremediation. In Diaz L.F., de Bertoldi M., Bidlingmaier W. and Stentiford E. 2007. Compost science and technology. Waste Management Series 8, Elsevier Ltd, UK, 159 - 175.
- [28].- Ait Baddi G., Albuquerque J. A., González J., Cegarra J., Hafidi M., 2004.- Chemical and spectroscopic analyses of organic matter transformations during composting of olive

- mill wastes. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 54 (1): 39-44.
- [29].- Amir S., 2005.- Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage, devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, 341 p.
- [30].- Charnay F., 2005.- Compostage des déchets urbains dans les pays en développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de doctorat, Université de Limoges, France, 277 p.
- [31].- Nakasaki K., Yaguchi H., Yasushi S., and Hiroshi K., 1993.- Effects of pH control on composting of garbage. *Waste Management and Research*, 11:117-125.
- [32].- Ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO)., 2012 - Normes de qualité du compost en Ontario. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Canada, 50 p.
- [33].- M'Sadak Y., Elouaer M. A. et El Kamel R., 2013.- Evaluation du comportement chimique des composts sylvicoles, des tamisats et des mélanges pour la conception des substrats de culture. *Revue Nature et Technologie, C- Sciences de l'Environnement*, N° 08: 54 – 60.
- [34].- Sghairoun M. and Ferchichi A., 2011.- Composting Heap Palm Tree's Products in Southern Tunisia. *Journal of Environmental Science and Engineering*, vol. 5, Number 7, David Publishing Company, USA, 886-889.
- [35].- Compaore E, Nanema L. S., Bonkougou S. et Sedogo M. P., 2010.- Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture. *Journal of Applied Biosciences*, (.J. Appl. Biosci.) 33: 2076-2083.
- [36].- Mc Clintock N. C., 2005.- Production de compost et usage dans les systèmes agricoles durables. Notes n° 3 prises sur le terrain à l'intention des agriculteurs. Center for Environmental Farming Systems, USA, 9p.
- [37].- Singh K., Nath G. and Singh D. K., 2009.- Chemical analysis of vermicomposts / vermiwash of different combinations of animal, agro and kitchen wastes. *Australian Journal of Basic & Applied Sciences* 3(4): 3672-3676.
- [38].- Attrassi B., Krimou D. et Mrabet L., 2007.- Etude de la valorisation agronomique des composts des déchets ménagers. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.*, N°1: 23-30.
- [39].- Wu L. and Ma. L. Q., 2001.- Effects of Sample Storage on Biosolids Compost Stability and Maturity Evaluation. *J. Environ. Qual.*, 30 : 222–228.
- [40].- Selim Sh. M.; Zayed M. S and Atta H M., 2012.- Evaluation of phytotoxicity of compost during composting process. *Nature and Science*, 10 (2): 69-77.

- [41].- Hartz T. K., Costa F. J. and Schrader W. L., 1996.- Suitability of composted green waste for horticultural uses. *HortScience*, 31(6): 961-964.
- [42].- Larney F. J. and Blackshaw R. E., 2003.- Weed seed viability in composted beef cattle feedlot manure. *Journal of Environmental Quality*, 32 (3): 1105-1113.
- [43].- Grundy A. C., Green J. M. and Lennartsson M., 1998.- The effect of temperature on the viability of weed seeds. *Compost Sci. Util.*, (3) 6: 26-33.
- [44].- Debril J., 2005.- Gestion des déchets de Jussie par le compostage. Rapport de stage. DIREN des Pays de la Loire et UMR INRA Agrocampus, France, 37 p.
- [45].- Eghball B. and Lesoing G. W., 2000.- Viability of weed seeds following manure windrow composting. *Compost Science & Utilization*, 8 (1): 46-53.
- [46].- Rynk, R., 1992.- On-farm composting handbook. Publ. NRAES-54. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension, Ithaca, NY, USA, 204 p.
- [47].- Diaz L. F. and Savage G. M., 2007.- Factors that Affect the Process. In Diaz L.F., de Bertoldi M., Bidlingmaier W. and Stentiford E. 2007. *Compost science and technology*. Waste Management Series 8, Elsevier Ltd, UK, 49-65.

INFLUENCE DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET ANTHROPIQUES SUR LA REGENERATION NATURELLE DU CHENE-LIEGE (*Quercus suber*) AU NORD-OUEST DE LA TUNISIE DURANT LA PERIODE (1983-2009)

JDAIDI Nouri^{1,2}, CHAABANE Abbes¹, KHEMIRI Imen^{1,2} et HASNAOUI Brahim²

⁽¹⁾*Institut National Agronomique de Tunis, Tunis-Mahrajène, Tunisie.*

⁽²⁾*Laboratoire des Ressources Sylvo-Pastorales de Tabarka, Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka, Tunisie*

E-mail: jdai.nouri25@gmail.com.

(Received 24 January 2017 - Accepted 30 April 2017)

Résumé.-- La présente étude vise à évaluer l'évolution du taux de la régénération naturelle de la subéraie tunisienne durant la période (1983-2009) en se basant sur des données dendrométriques et écologiques. L'étude de cette évolution est réalisée par la méthode des inventaires périodiques (1983 et 2009). L'analyse de la variance de l'impact des facteurs orographiques (altitude, exposition et pente) a montré que l'altitude, l'exposition et la pente ont un effet sur le taux de la régénération naturelle du chêne-liège au niveau de la zone d'étude durant la période (1983-2009). Il est constaté que la densité de régénération de cette espèce augmente en s'éloignant des douars les plus proches.

Mots clés: Tunisie, subéraie, inventaires périodiques, facteurs orographiques, facteurs anthropiques.

INFLUENCE OF THE ENVIRONMENTAL AND ANTHROPOLOGICAL FACTORS ON THE NATURAL REGENERATION OF CORK OAK (*Quercus suber*) IN THE NORTHWEST OF TUNISIA DURING PERIOD (1983-2009)

Summary.-- The present study aims at estimating the evolution of the rate of the natural regeneration of the Tunisian subéraie during period (1983-2009) by basing itself on dendrometric and ecological data. The study of this evolution was realized by the method of the periodic inventories (on 1983 and 2009). The analysis of the variance of the impact of factors orographic (height, exposure and slope) showed that the height, the exposure and the slope have an effect on the rate of the natural regeneration of the cork oak at the level of the zone of study during period (1983-2009). So, and after this study, we noticed that the density of regeneration of this species increases by going away from the closest douars.

Key words: Tunisia, cork oak forests, periodic inventories, orographic factor, anthropological factors.

Introduction

La conservation, des forêts et de la végétation forestière du bassin méditerranéen, constitue un problème complexe du fait de l'hétérogénéité des situations et des multiples usages et pressions anthropiques pratiqués par les diverses entités culturelles de la Méditerranée depuis des millénaires [1]. HASNAOUI *et al.* (2004) [2] ont montré que les facteurs de perturbations entraînent des modifications profondes du microclimat au niveau de la trouée (rayonnement important, hygrométrie plus faible, etc.).

Le chêne-liège est une essence endémique du domaine méditerranéo-atlantique du bassin méditerranéen. Il est présent en Méditerranée Occidentale depuis plus de 60

millions d'années. Son aire de répartition s'est fortement réduite suite à des fortes variations climatiques et surtout de l'action anthropique de cette longue période [3].

Le chêne liège occupe une place importante dans le patrimoine forestier tunisien. Il représente 3% de la superficie subéricole du bassin méditerranéen occidental et de la côte atlantique et 14 % de l'aire forestière nationale [4].

Cependant, la subéraie tunisienne connaît de sérieux problèmes environnementaux rendant son écosystème très fragile et sa régénération naturelle très aléatoire. Les facteurs d'évolution, représentés ici par le défrichement qui entraîne la disparition complète et définitive de l'état boisé, par les dommages causés par les incendies, ainsi que par l'élevage en forêt qui demeure l'une des bases de l'organisation économique et sociale de la population forestière. Celle-ci manifeste une extrême sensibilité à tout ce qui peut, de près ou de loin, toucher à la situation actuelle des forêts, s'expriment surtout par le surpâturage et son impact sur la régénération naturelle et sur les nouvelles pousses d'une manière générale, ainsi que par les délits éventuels touchant notamment aux stades de gaulis, de perchis et adulte de l'essence étudiée et par l'action des facteurs du milieu comme l'altitude, le degré d'exposition et l'inclinaison du terrain.

Cette dégradation est traduite par la réduction de l'étendue de la régénération naturelle, la fragilité des écosystèmes et par l'appauvrissement de la biodiversité en général.

Le présent travail a pour objectif la détermination de l'effet des facteurs environnementaux et anthropiques sur la densité de la régénération naturelle de la subéraie tunisienne durant la période (1983-2009).

1. - Matériel et Méthode

1.1. - Zone d'étude

L'étude a été réalisée sur environ 20394 ha dans la forêt de Tabarka et d'Ain Draham appartenant à la Kroumirie (Nord-Ouest de la Tunisie). La zone se caractérise par un relief accidenté avec des pentes de 5 à 40 % et par de nombreux micro-versants à exposition variables. L'altitude moyenne de la zone d'étude est d'environ 450 m. Elle varie entre 100 m au littoral pour atteindre un maximum de 950 m à Ain Draham [5]. Du point de vue bioclimatique, la zone se situe dans le bioclimat humide. Tabarka se situe dans un sous étage inférieur à hiver chaud alors que Ain Draham se localise dans un sous étage supérieur à hiver tempéré. L'analyse climatique de la zone d'étude fait ressortir que les précipitations moyennes annuelles sont irrégulières et que la station d'Ain Draham reçoit annuellement en moyenne 989 mm pluie et voir plus.

Ces conditions climatiques favorables aux quelles s'ajoutent la nature du sol et les facteurs altitude et exposition (facteurs orographiques) ont une influence sur la répartition et l'épanouissement d'une végétation naturelle et riche en taxons arborescents (*Quercus suber*, *Quercus canariensis*; *Quercus coccifera*; *Pinus pinaster*; *Olea europea*, etc.). Ces forêts sont constituées sur plus de la moitié de leur superficie par des peuplements purs de chêne-liège et de chêne-zen et sur le reste des parties par des mélanges de chêne-liège et chêne-zen. Il est aussi possible de rencontrer un mélange stable et équilibré de chêne-liège et de pin maritime.

1.2. - Echantillonnage

Le présent travail, porte sur l'évolution de la densité de la régénération des peuplements purs de chêne-liège en Tunisie à différentes dates et en fonction des facteurs de perturbations (orographiques et anthropiques) selon la méthode des inventaires périodiques, quoiqu'il ne s'agit pas, pour les dates de départ (1983) et de fin (2009), de résultats d'inventaire proprement dits, mais aussi de résultats de recherche.

L'année 1983, se base sur les données dendrométriques et les résultats d'analyses statistiques des différentes variables du milieu (facteurs biotiques et abiotiques) présents dans les travaux de HASNAOUI (1992) [5]. Pour l'année 2009, il est utilisé des données récoltées.

Le massif de la zone d'étude présente un relief tourmenté. Pour mener à bien le travail dans une zone aussi hétérogène et éviter d'éventuelles influences de l'altitude, l'échantillonnage a été effectué dans trois tranches altitudinales (tab.I).

Tableau I. - Répartition des placettes d'échantillonnages sur l'ensemble de la subéraie étudiée

Classe d'altitude	Nombre de placette	Pourcentage par classe d'altitude
Basse altitude (A₁) [0-300 m]	89	41,78
Moyenne altitude (A₂) [300-600 m]	75	35,22
Haute altitude (A₃) [> 600 m]	49	23
Total	213	100

Pour chaque tranche d'altitude, il est opté pour un échantillonnage aléatoire des placettes à retenir. Il est retenu des stations couvrant l'ensemble de la zone d'étude et où sont matérialisées 239 placettes circulaires de 500 m². Lors de l'exécution du relevé, il est noté les principales caractéristiques écologiques: exposition, pente et distance de chaque placette par rapport au douar le plus proche. Concernant l'information de base au niveau de chaque placette, le tableau II récapitule l'ensemble des caractéristiques relevées.

Tableau II. - Présentations des différentes variables étudiées

Variabes	Limites et unités
Pente (en %)	4 classes: P ₁ : [<5%], P ₂ : [5-15%], P ₃ : [15-30%] et P ₄ : [> 30%]
Exposition (en degrés)	2 classes: Nord (N) et Sud (S).
Distance/douar	3 classes: M ₁ : [0-500 m], M ₂ : [500-1000 m] et M ₃ : [> 1000 m]
Densité des semis	Nombre des semis de chêne-liège par hectare

1.3. – Exploitation des résultats

Les données récoltées sont traitées en utilisant des calculs statistiques simples (Ecart - type, Covariance, Moyenne, etc.) qui permet de décrire la structure actuelle de la subéraie tunisienne. En ce qui concerne l'effet des facteurs environnementaux et anthropiques sur la densité de semis de chêne-liège, l'analyse de variance est effectué en utilisant le logiciel «SAS». Les graphiques et les courbes sont réalisés à l'aide du logiciel

«Excel».

2.-Résultats

2.1. - Evolution de la structure globale de la subéraie tunisienne durant la période (1983 -2009)

Les différentes informations acquises sur la structure des peuplements de la subéraie tunisienne depuis les années 1983, permettent d'avoir plusieurs repères de comparaison sur les états successifs de ces peuplements.

Le dépouillement des données similaires relatives à la subéraie des données de HASNAOUI (1983) a montré que la distribution diamétrique est représentée par des taux élevés des semis (D_1) et des semenciers (D_5). Les classes intermédiaires sont les moins représentées. L'étude comparative entre les différentes structures diamétriques des peuplements de la subéraie, montre que les résultats de 2009 sont semblables à ceux de 1983 (fig. 1).

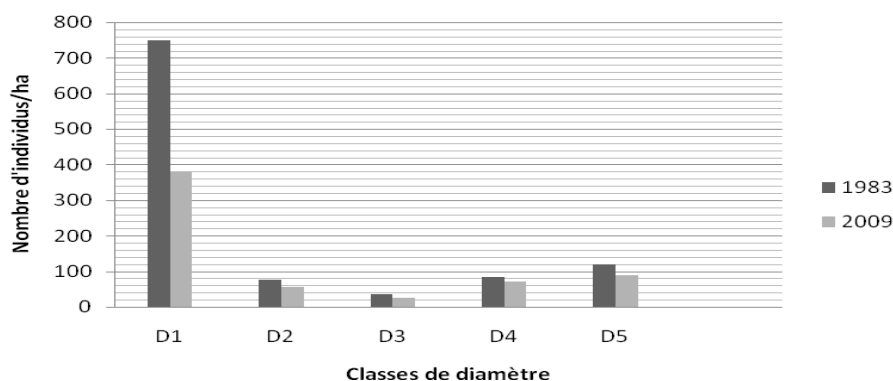


Figure 1.- Evolution de la structure globale de la subéraie tunisienne durant la période (1983-2009).

2.2. - Influence des facteurs environnementaux et anthropiques sur la densité de la régénération naturelle de chêne-liège au Nord-Ouest de la Tunisie durant la période (1983-2009)

2.2.1.- Effet de l'altitude

Selon les analyses de variances, il existe une liaison très hautement significative ($P < 0,001$) entre le taux de germination et les classes d'altitude durant la période (1983-2009).

La lecture de la figure 2, montre que la densité de la régénération a subi une régression importante avec les différentes classes d'altitudes durant la période (1983-2009), soit 381 individus/ha (basse altitude), 227 individus/ha (moyenne altitude) et 162 individus/ha (haute altitude).

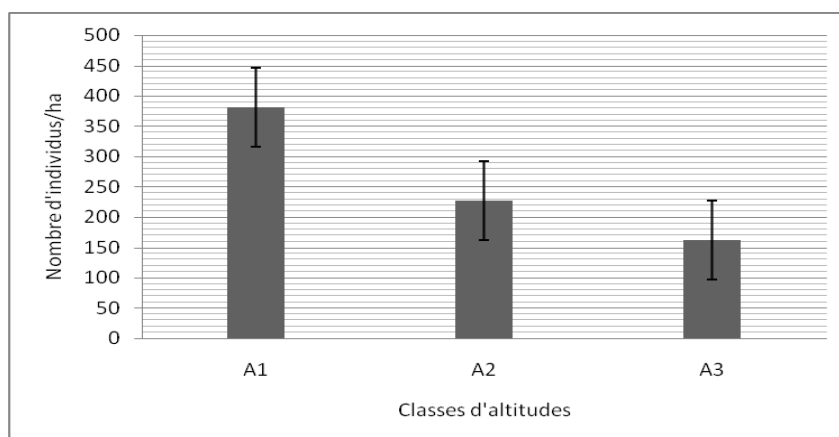


Figure 2.– Influence de l'altitude sur la densité de la régénération du chêne-liège durant la période (1983-2009)

Au cours des observations et suivis effectués, au début et à la fin de la période sèche, il est remarqué une nette diminution de la régénération naturelle avec l'altitude. La régénération par semis naturel du chêne-liège est favorable à basse altitude et en stations humides (exposition nord-ouest). En effet, les semis sont présents partout un peu mais leur état de croissance s'améliore avec l'abaissement de l'altitude.

2.2.2.- Effet de l'exposition

Les résultats de la répartition des densités de semis en fonction de l'exposition sont donnés par la figure 3. Il est remarqué l'existence d'une interaction directe et hautement significative ($P < 0,01$) entre l'exposition et la densité de semis.

Durant cette période et pour une même exposition, la densité des semis est de 451 individus/ha dans les expositions fraîches (nord). Dans les stations chaudes (sud), la densité de régénération est de 122 individus/ha (fig. 3).



Figure 3. - Influence de l'exposition sur la densité de la régénération du chêne-liège durant la période (1983-2009)

Les expositions nord apparaissent plus défavorables à la régénération naturelle par semis. L'action combinée de la chaleur et de la sécheresse estivale d'une part, et de la prédation d'autre part, est responsable de la régression de la régénération du chêne-liège au nord-ouest de la Tunisie. L'exposition détermine donc le climat local qui, à son tour

détermine la répartition des semis naturels du Chêne-liège.

2.2.3.- Effet de la pente

Il existe une très forte relation significative ($P < 0,001$) entre la fréquence des semis du chêne-liège et le degré de la pente. Les faibles densités sont observées sur les terrains à pentes très fortes (P_4) ou fortes (P_3) pour le stade des semis, respectivement 30 et 65 individus/ha. Les densités les plus élevées sont rencontrées sur les terrains à faible pentes (470 individus/ha). Sur les endroits à pentes modérés, la fréquence de la régénération du chêne-liège est de 297 individus/ha (fig. 4).

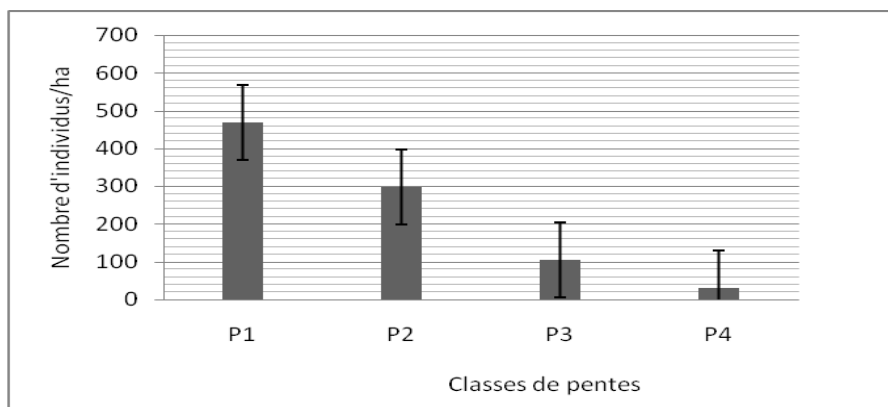


Figure 4.- Influence de la pente sur la densité de la régénération du chêne-liège durant la période (1983-2009)

Parallèlement, plus la pente est élevée moins il y aura des régénérations de chêne-liège au niveau de la subéraie tunisienne (fig. 4). Ces pentes ont une influence marquée sur la répartition des semis à cause de l'érosion active qui dénude plus ou moins le sol. Les glands, en tombant, ne trouvent pas les conditions favorables pour germer et s'exposent aux risques de destruction (déprédation et dessèchement).

2.2.4.- Effet de la distance des subéraies par rapport aux douars les plus proches

L'analyse de variance montre l'existence d'une liaison très hautement significative ($P < 0,001$) entre la densité des semis et la distance des douars les plus proches. Durant la période (1983-2009), les effectifs des jeunes semis varient d'une classe de distance à une autre et d'une période à une autre, il apparaît que les peuplements les plus proches et assez éloignés des douars sont les moins denses, subi de fortes respectivement 53 individus/ha (M_1) et 118 individus/ha (M_2). Par ailleurs, les fortes densités sont enregistrées dans les lieux les plus éloignés des douars, avec effectif de 388 individus/ha (fig. 5).

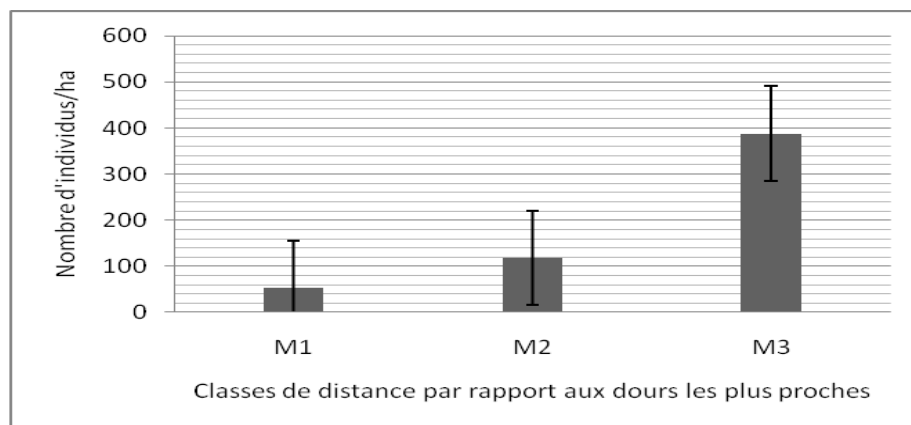


Figure 5.– Influence de la distance des douars les plus proches sur la densité de la régénération du chêne-liège durant la période (1983-2009)

Ces résultats mettent en évidence l'importance de la fréquence des semis quelles que soient la distance aux douars les plus proches et l'année d'observation.

3.- Discussion

L'étude de la structure actuelle de l'écosystème chêne-liège en Tunisie permet de conclure à une grande diversité au sein d'une même station et d'une station à une autre. La distribution diamétrique actuelle de la subéraie tunisienne est marquée par une très forte proportion dans les classes de diamètres D_1 . Par contre, elle est définie par des densités faibles au niveau des classes D_2 , D_3 et D_4 . HASNAOUI (1992) souligne que la subéraie tunisienne est caractérisée par deux strates; une strate arborescente comprenant les individus adultes ou semenciers et la strate des plantules. Entre les deux, il ne se rencontre que de rares sujets appartenant aux stades intermédiaires (fourrées, gaulis, perchis) [5]. L'étude de la structure diamétrique des populations des différents chênes présents en Kroumirie, permet de conclure que celle-ci est loin d'être satisfaisante car elle montre, en particulier, une rupture nette de la croissance des jeunes plantules issues de semis, ce qui permet de prévoir un avenir plutôt inquiétant de ces chênaies. Les causes de cette situation peuvent être multiples: propres à l'essence étudiée dans certains milieux, liées à la nature et à la composition du groupement végétal, et enfin, marquées par l'impact humain direct ou indirect.

Les forêts naturelles de chêne-liège à structures équilibrées, où la régénération naturelle n'est pas bloquée par une anthropisation poussée là où des conditions écologiques extrêmes, montrent des effectifs en fonction des classes d'âges, répartis selon une fonction exponentielle négative où le nombre d'individus par classes d'âge diminue par unité de surface en fonction inverse de l'âge [6].

Au vu des résultats statistiques, il existe une relation significative entre les classes d'altitudes et la densité de semis du chêne-liège. La régénération par semis de cette espèce est favorable en basse altitude et en stations humides. A haute altitude, en stations sèches lui est moins propice. En outre, les semis sont présents un peu partout mais leur état de végétation s'améliore avec la diminution de l'altitude.

BLOCK et TRETER (2001) notent que les facteurs environnementaux influents sur la régénération des plantes et sur leurs structures diamétriques [7]. De même, la densité de

régénération varie aussi avec l'exposition. Les versants nord (humides) sont les plus denses. Sur les versants Sud, où la chaleur et la sécheresse sont plus accentuées, la densité des semis du chêne-liège est faible.

Les stations exposées à l'Ouest et au Nord-ouest offrent des conditions favorables à la germination des graines, les expositions Sud sont généralement les plus chaudes et la germination des graines est précoce [8]. Dans cette situation, la chaleur estivale, trop élevée, fait disparaître les jeunes plantules les plus exposées au soleil. Les expositions fortement ensoleillées, les sols minéraux bruts, peu évolués et superficiels et les terrains pentus accentuent les conditions hydriques. Ce stress réduit la croissance en diamètre et en hauteur et affaiblit la capacité des arbres à résister aux stress [9]. Les expositions chaudes et ensoleillées apparaissent plus défavorables à la régénération naturelle par semis de chêne-liège [4]. En effet, les semis diminuent sur les versants sud avec un effectif moyen de 14 semis par placette de 500 m² suivi du versant est avec une densité moyenne de semis de 62. Sur le versant ouest, il est relevé un effectif moyen de 108 semis alors que le maximum est enregistré sur le versant nord avec une densité moyenne de semis de 120.

Les fortes densités sont enregistrées sur les terrains de faibles ou moyennes pentes. Les pentes très fortes ne permettent l'installation que d'un effectif très faible de semis, parce que les glands relativement lourds, sous l'action de la pesanteur et de l'eau, sont charriés vers le bas où ils vont trouver des conditions meilleures de sol et d'humidité pour germer. Pour HASNAOUI (1998), les pentes fortes sont défavorables à l'installation des glands et même s'ils arrivent à germer, il leur sera difficile de survivre à cause du manque de la rétention de l'eau par le sol, et à cause de la pauvreté de ce sol. Dans les bas fonds, le sol est généralement riche, profond, meuble et humide [10]. Les fortes pentes ont une influence marquée sur la répartition des semis à cause de l'érosion active. Les glands, en tombant ne trouvent pas les conditions favorables pour germer et s'exposent aux risques de destruction (déprédation et dessèchement) [4]. En revanche, dans les classes à pentes faibles, les semis naturels de chêne-liège bénéficient d'un supplément d'eau pluviale et d'éléments nutritifs provenant du ruissellement de l'amont. La position de la plantation sur les pentes semble également exercer une influence sur la hauteur et le diamètre, soit une meilleure croissance de bas en haut [11]. KHANFOUCI (2005) signale que les terrains en pente, exposés vers le Sud et à basses altitudes sont les stations les moins arrosées et qui sont extrêmement défavorables au maintien du développement des jeunes plantules [12]. En effet, les stations à expositions Nord, à pentes modérées ou faibles et à hautes altitudes sont les stations les plus fertiles, plus denses et les plus arrosées.

L'action des distances des peuplements par rapport aux douars les plus proches, a un effet très grave sur la structure de la subéraie et sa stabilité. La densité des semis est très élevée au niveau des stations les plus éloignées des douars. Elle régresse en se rapprochant des douars, or les placettes proches des habitations sont très fréquentées par les animaux domestiques (bovins, ovins, caprins, etc.).

Le surpâturage contribue à la dégradation des potentialités pastorales, la disparition de la couverture végétale, l'absence de la régénération naturelle par semis des forêts de chêne, l'apparition de l'érosion hydrique sous ces différentes formes et par conséquent le déséquilibre de tout l'écosystème Sylvo – pastoral [13]. Les facteurs de dégradation et de destruction de la subéraie sont nombreux et leurs impacts néfastes sur le recul et la régression des écosystèmes de chêne-liège [14]. La poussée démographique et sans doute le principal facteur de la dégradation de la subéraie en Kroumirie. Les densités des

populations sont parmi les plus élevées du pays (100 habitants au Km² et par fois plus) [14]. Pour BENABID (2000), le bétail continue d'exercer une très forte pression sur la forêt de chêne-liège. La structure des peuplements est loin d'être favorable pour la régénération issue de la germination des glands qui ont échappé au ramassage [16]. La prédation, en Kroumirie, peut avoir lieu au niveau du gland de chêne-liège comme elle peut l'être au niveau de la plantule. Concernant le gland, plusieurs agents peuvent intervenir dont notamment: l'Homme (ramassage des glands que ce soit par gaulage ou après leur chute naturelle), les animaux domestiques, le sanglier, les oiseaux et les rongeurs [5]. Cette forte régression des différentes classes de diamètres de la subéraie tunisienne est liée principalement à l'évolution des effectifs du cheptel (ovin, bovin et caprin), l'explosion démographique, l'évolution des pratiques délictueuses (coupes de bois de chauffage, carbonisation, terres agricoles, etc.) [17]. BOUSSAIDI (2005) note que la dégradation des pâturages, d'une façon générale, est due plutôt à leur surexploitation lorsque la charge animale est excessive (la quantité de matière végétale prélevée chaque année devient supérieure à la quantité de matière consommable produite et prise sur le capital végétal) [18]. L'interdiction stricte, dans la zone à régénérer, du parcours des troupeaux durant une période de 15 à 20 ans, est nécessaire pour assurer la survie des jeunes semis de chêne -liège. Par ailleurs, pour limiter les dégâts causés par la faune sauvage, il est indispensable d'organiser les battues pouvant ramener l'effectif à des proportions raisonnables [4]. Il existe une pression anthropique combinée probablement à une régression bioclimatique de plus en plus poussée au sud de la méditerranée fait reculer les forêts naturels [6].

Conclusion

La dégradation de la subéraie tunisienne est le résultat de l'influence de plusieurs facteurs naturels, anthropiques, historiques et de gestion forestière. Les capacités de résistance de la forêt ont beaucoup diminué et les signes de sa dégradation sont très apparents.

L'étude des différents aspects de l'évolution de cette subéraie a été accédée en analysant quatre inventaires périodiques. La première période de 1983 considérée comme l'état initial et celle de 2009 qui relate l'état actuel de la subéraie.

Les résultats de cette étude ont montré quelques soit l'année d'observation, la densité de semis paraît importante dans les stations basses, dans les endroits froids (nord), à faible pente et en s'éloignant des douars.

Le devenir de cet écosystème reste incertain s'il n'est pas pris les mesures nécessaires pour la sauvegarde.

Parmi ces mesures, vient en premier la régénération naturelle par rejets de souches. Ce type de régénération, qui peut être entrepris dans le cadre d'une sylviculture appropriée du chêne liège, peut donner des résultats satisfaisants moyennement des précautions à prendre d'une manière stricte, comme la date de coupe, la mise en défens et la conduite des rejets.

Par ailleurs, et étant donnée l'infrastructure déjà existante en matière de pépinières modernes, il est impératif de procéder à des reboisements à grande échelle par les espèces autochtones, dont notamment le chêne-liège. Ce type de reboisement est d'autant plus

recommandé, que les superficies déboisées dans les régions humides et subhumides sont considérables.

Références bibliographiques

- [1]. - Quézel P., Médail F., 2003.- Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier, Paris, 592 p.
- [2].- Hasnaoui B., Abbes C., Elghzel A., Yaccoubi W., 2004.- Structure et architecture des chênaies du nord ouest tunisien : présent et devenir. Annales de l'I.N.G.R.E.F: 10-15.
- [3].- Benabid A., 1998.- Ecologie, conservation et restauration des subéraies. Formation continue à l'E.N.F.I., 20 p.
- [4].- Nsibi R., Souayha N., Khouia L. M., Bouzid S., 2006.- La régénération naturelle par semis de la subéraie de Tabarka – Ain Draham face aux facteurs écologiques et anthropiques. Geo-Eco-Trop, 30 (1): 35-48.
- [5].- Hasnaoui B., 1992.- Chênaies du Nord de la Tunisie, Ecologie et régénération. Doctorat d'état des sciences naturelles, Univ de Provence Aix-Marseille I, 186 p.
- [6].- Block J. et Treter V., 2001.- Les facteurs limitant à la partie supérieure et inférieure des forêts dans les limites de montagne. Bois, vol. 9, n° 3, Chine, 18 p.
- [7].- Ezzahiri M., Belghazi B., 2000.- Synthèse de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au Moyen - Atlas (Maroc). Science et changement planétaires/sécheresse, vol. 11, N°2: 79-84.
- [8].- Aussenac, G., 2000.- Introductions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. Ann. For. Sci., 57: 287-301.
- [9].- Hasnaoui B., 1998.- Régénération naturelle du chêne-liège : Difficulté et propositions de solutions. Annales de l'I.N.G.R.E.F., Tunisie, 10p.
- [10].- Bergérs, L., 2004 - Rôles des coupes de la stratification verticale et du mode de traitement sur la biodiversité. In Cosselin M, Laroussinie, O (Eds). Gestion Forestière et Biodiversité : connaître pour préserver synthèse bibliographique. CEMAGREF, Ed. Antony, France: 149-215.
- [11].- Khanfouci M. S., 2005.- Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas. Mémoire de maîtrise en sciences forestières, Université Hadj Lakhdar, Batna, 250 p.
- [12].- Hasnaoui F., 2008.- Le dépérissement des chênaies du Nord – Ouest Tunisien : Diagnostic, causes et conséquences. Thèse de doctorat en science agronomique, Institut National Agronomique de Tunis, 203p.
- [13].- Bendaanoum M., 1998.- Contribution à l'étude des facteurs écologiques, de l'impact de la régénération des subéraie du rif, du Moyen Atlas oriental et de la Mamora

- (Maroc septentrional). Actes du séminaire Méditerranéen sur la régénération des forêts de chêne-liège Tabarka. Annales de l'I.N.G.R.E.F., Tunisie, 13p.
- [14].- Ben Jamaa M. L., Abid H., Nouioui M., 2006.- Impact de la gestion du liège sur l'économie rurale et les incendies des forêts en Tunisie. Collègue international vivexpo. L'homme et le liège. Institut Méditerranéen du liège, Belgique, 10p.
- [15].- Benabid, A., 2000.- Flore et écosystème du Maroc: évaluation et préservation de la biodiversité. Ibis Press, Maroc, 357p.
- [16].- Jdaidi N., Hasnaoui B.- Effets de la distance des peuplements par rapport aux douars les plus proches sur la distribution diamétrique de la subéraie en Kroumirie (Nord-Ouest de la Tunisie). Rev. Écol., vol. 69: 173-177.
- [17].- Bousaidi N., 2005.- Parcours en forêt et risque de dégradation des potentialités pastorales dans la IVème série forestière de Mekna (Tabarka - Tunisie). Mémoire de troisième cycle universitaire Tunis -Carthage (I.N.A.T), 15p.

DIAGNOSTIC DE FONCTIONNEMENT D'UN PIVOT ADOPTÉ DANS UNE GRANDE EXPLOITATION IRRIGUÉE DU NORD-EST TUNISIEN

M'SADAK Youssef^{1*}, MANAI Afoua¹, BEN MABROUK Anis¹
et HAMZA Mahmoud Elies²

⁽¹⁾Institut Supérieur Agronomique, 4042 Chott Mariem, Université de Sousse, Tunisie

⁽²⁾Institut National Agronomique, 1082 Tunis- Mahrajène,
Université de Carthage, Tunisie

E-mail: msadak.youssef@yahoo.fr

(Received 2 February 2017 - Accepted 10 May 2017)

Résumé. - La présente étude appréhende le diagnostic de fonctionnement au champ d'une rampe pivotante, système d'aspersion mécanisée en cours d'utilisation et en bon état de fonctionnement, adoptée dans la Société de Mise en Valeur et de Développement Agricole (SMVDA) El Khir, délégation de M'Hamdia, gouvernorat de Ben Arous (Nord de la Tunisie) et l'appréciation de la qualité d'arrosage obtenu. Ce travail a touché l'évaluation de la répartition pluviométrique et du coefficient d'uniformité, ainsi que la vérification préalable du plan de busage qui a conduit à la substitution de trois buses par d'autres procurées à partir d'autres pivots. Pour accomplir enfin le testage de l'uniformité de répartition de l'eau, les tests d'uniformité, réalisés sur l'allée vers le point du pivot, ont couvert une gamme de vitesses du vent dominant de 1 à 8 m/s et une gamme de pressions de 1,5 à 2,5 bars. Le rapport de fonctionnement a repéré que le système rampe pivotante étudié était capable d'assurer une bonne qualité de répartition de l'eau même sous vent fort (vitesse dépassant 5 m/s). De même, ce système mécanisé reste fonctionnel avec une faible pression à l'entrée. Sûrement, l'utilisation d'un tel système, est une alternative technologique intéressante, étant donné également sa bonne efficacité (Coefficient d'uniformité de l'ordre de 84%) à faible pression (1 bar) et sous vent fort (3-5 m/s).

Mots clés : Aspersion mécanisée, Rampe pivotante, Plan de busage, Répartition pluviométrique, Coefficient d'uniformité.

DIAGNOSIS OF PERFORMANCES OF A PIVOT ADOPTED IN A LARGE EXPLOITATION IN NORTHEAST OF TUNISIA

Abstract.- The present study includes the diagnosis of field operation of a swivel ramp, mechanized spraying system in use and in good working order adopted by the Agricultural Development Corporation (SMVDA) El Khir, delegation of M'Hamdia, Governorate of Ben Arous (northern Tunisia) and to appreciate the quality of the irrigation carried out. This work has affected the evaluation of the rainfall distribution and the coefficient of uniformity, as well as the prior checking of the bus plan which led to the substitution of three nozzles by others provided from other pivots. Finally, to test the uniformity of water distribution, uniformity tests, carried out on the aisle to the point of the pivot, covered a dominant wind speed range of 1 to 8 m/s and A pressure range of 1.5 to 2.5 bar. The operating report found that the swivel ramp system studied was able to ensure a good water distribution even under strong wind (speed exceeding 5 m/s). Likewise, this mechanized system remains functional with a low pressure at the inlet. Surely, the use of such a system is an interesting technological alternative, given also its good efficiency (uniformity coefficient of 84%) at low pressure (1 bar) and strong wind (3-5 m/s).

Key words: Mechanized spraying, Swivel ramp, Plan of busage, Pluviometric distribution, Coefficient of uniformity.

Introduction

L'eau demeure le principal constituant des êtres vivants et l'élément indispensable à toute forme de vie. Sans eau, aucun végétal ne peut vivre. Mais il ne pleut pas toujours au bon moment, ce qui influence les rendements des cultures et entraîne des pertes financières. En Tunisie, les précipitations sont irrégulières dans le temps et dans l'espace, en moyenne de 594 mm au Nord, de 289 mm au Centre et n'est que de 156 mm dans le Sud [1]. De plus, on a enregistré une vingtaine de sécheresses au cours du 20^{ème} siècle. Au cours de ce siècle, une sécheresse sévère est enregistrée tous les six ans [2]. Pour remédier à ce déficit en eau, les agriculteurs ont pratiqué l'irrigation des cultures depuis l'antiquité. Elle est vieille comme l'agriculture [3].

Le secteur irrigué est le fort consommateur d'eau. Cette ressource rare est de plus en plus convoitée et détient 70% de la consommation en eau dans le monde [4]. Dans le contexte Tunisien, cette consommation a représenté 83,4% du total des prélèvements [5], avec une contribution pour 32% de la production totale et 20% de l'exportation agricole [6].

La limite des ressources en eau et la croissance de leur demande nourrissent le débat sur la problématique de l'amélioration de l'efficacité d'utilisation et de la productivité de l'eau [7]. L'agriculteur doit rechercher la méthode d'irrigation qui attribue des rendements élevés, une amélioration de la qualité de la récolte et une réduction de la consommation d'eau et d'énergie [8].

L'irrigation par aspersion, une des techniques fiables de l'irrigation, s'est développée après la seconde guerre mondiale, notamment en Europe et aux États-Unis [9]. En Tunisie, cette technique s'est étendue à presque tous les nouveaux périmètres irrigués en voie de réalisation ou de réhabilitation. Selon HERMI (1995), la surface irriguée par aspersion a été estimée à 50000 ha [10]. De même, en Algérie, l'irrigation par aspersion est largement répandue dans plusieurs régions et ne cesse de se développer surtout avec les encouragements financiers pour économiser l'eau d'irrigation [11].

Sur le marché, un grand nombre de matériels d'arrosage par aspersion est commercialisé. Ils diffèrent entre eux par leurs caractéristiques techniques, les conditions d'utilisation et la qualité d'arrosage qu'ils permettent d'obtenir. La technologie évolue de plus en plus vers une mécanisation rendant les travaux moins pénibles et les charges de main-d'œuvre allégées. Les machines d'arrosage les plus répandues, en matière d'aspersion mécanisée, sont les enrouleurs et les pivots.

Le pivot, également appelé rampe pivotante, est un appareil d'irrigation mobile, arrosant en rotation une surface circulaire ou semi-circulaire [12]. L'intérêt essentiel de ce type de matériel est sa simplicité de mise en œuvre, ses possibilités de fonctionnement automatique et ses performances en termes d'uniformité d'apport d'eau.

Cette investigation a pour but de faire une analyse diagnostique du maintien en état de fonctionnement d'une rampe pivotante utilisée dans une Société de Mise en Valeur et de Développement Agricole (SMVDA) en milieu semi-aride Tunisien.

1.- Matériel et méthodes

L'aptitude à une distribution de l'eau la plus uniforme possible est la caractéristique essentielle d'une machine d'arrosage pour des raisons de reproductibilité et de répétabilité. L'essai correspondant doit être, de préférence, conduit au laboratoire. Cependant, certains aspects de performances ne peuvent être vérifiés qu'au champ, et c'est l'objectif des essais expérimentaux entrepris.

1.1.- Présentation du site d'étude

L'étude a été effectuée au sein de la SMVDA El Khir, délégation de M'Hamdia, gouvernorat de Ben Arous, Nord-Est Tunisien (fig. 1).

La région du Grand Tunis et ses quatre gouvernorats dont celui de Ben Arous jouissent d'un climat de type méditerranéen [13]. Le gouvernorat de Ben Arous appartient à l'étage bioclimatique semi-aride supérieur avec des hivers doux et humides et des étés secs et chauds. La température moyenne annuelle est de 20°C.

Ce gouvernorat connaît des précipitations annuelles allant de 275 à 515 mm. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 400 mm et 500 mm [14].

Les vents dominants sont généralement du secteur Ouest à Nord-Ouest, et du secteur Est. Les vents du Sud, le sirocco de Sud-Ouest et Sud-Est fréquents en été contribuent à la hausse des températures en été entre Juin et Aout.



Figure 1.- Localisation de la zone d'étude [13]

1.2.- Système d'aspersion mécanisée étudié

1.2.1.- Caractérisation technique

L'étude a été effectuée sur une rampe pivotante dont les caractéristiques techniques sont indiquées dans le tableau I.

Les essais ont été effectués dans des conditions conformément aux normes ISO (1995, 2001) [15,16] et aux recommandations expérimentales du CEMAGREF (1992)

[12].

Tableau I.- Caractérisation technique du pivot d'irrigation étudié [17]

Descriptif technique du pivot	
Type	«LINDSAY ZIMMATIC»
Tour centrale	Immobile
Longueur du pivot (m)	394
Diamètre de la conduite (mm)	168
Longueur du porte à faux (m)	25
Longueur d'une travée (m)	61,5
Nombre de buses	170
Nombre de travées	6
Hauteur de l'asperseur (m)	1,2
Espacement entre asperseurs (m)	2
Secteur angulaire arrosé (°)	360
Puissance du motoréducteur (kW)	0,75
Débit total d'alimentation (m ³ /h)	97
Pression de service (bars)	1,2
Vitesse d'avancement maximale (m/h)	155
Temps de révolution (h)	14,9

1.2.2.- Principe général de fonctionnement

Le pivot arrose en rotation une surface circulaire ou semi-circulaire (fig. 2). Il fonctionne en général à poste fixe. Il convient bien pour les grandes surfaces de monoculture [9].

**Figure 2.-** Vue aérienne des périmètres irrigués par pivot [9]

Il est constitué par une canalisation de grande longueur, tournant autour d'un axe ou pivot par lequel se fait l'arrivée d'eau et d'électricité.

La canalisation est portée, de proche en proche, par des tours équipées de roues, animées par des moteurs électriques. Les tours séparent l'appareil en travées rigidifiées par un système de triangulation et de tirants, la canalisation tenant lieu de poutre.

L'eau est distribuée par des asperseurs ou des buses, disposés le long de la canalisation. Un canon d'extrémité, placé au bout du porte-à-faux complète souvent l'équipement.

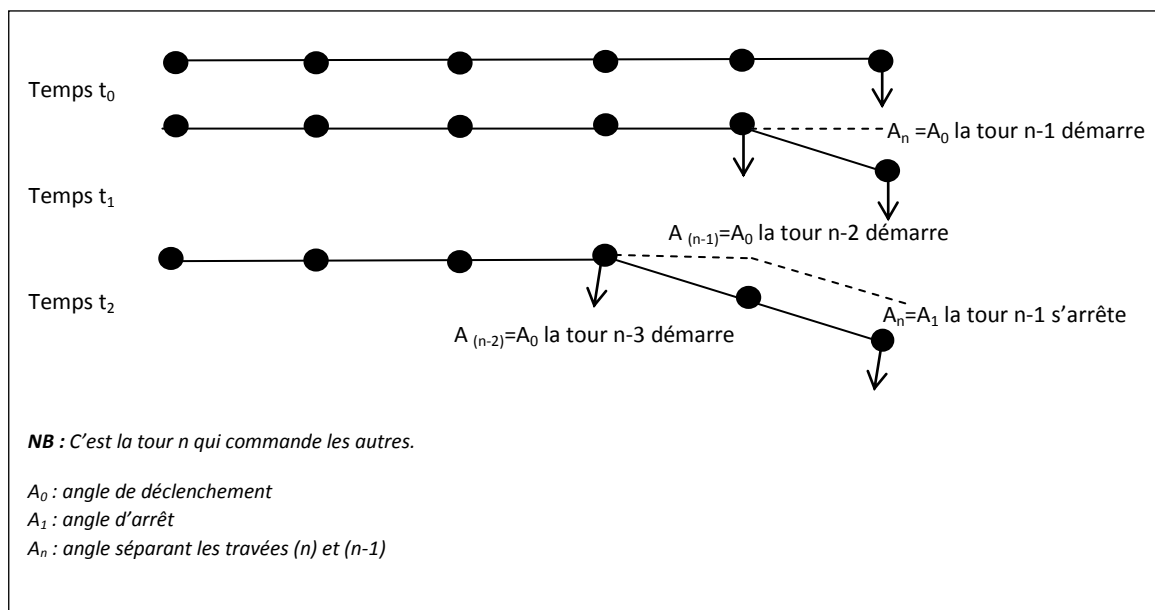


Figure 3.- Principe de l'avancement du pivot [12]

Le mouvement de la rampe est discontinu, l'alignement de l'ensemble est commandé au niveau de chaque tour par des contacteurs, sensibles à l'angle formé par deux travées contiguës. Le réglage de l'avancement se fait par modification du temps de fonctionnement du moteur de la dernière tour, au cours d'un cycle d'une minute.

La vitesse moyenne de déplacement du pivot est fixée par le temps de fonctionnement de la tour d'extrémité. Le mouvement de la machine se fait ensuite par corrections angulaires successives entre travées (fig. 3).

L'angle entre deux tours voisines doit rester compris entre deux angles limites : A_0 angle de déclenchement et A_1 angle d'arrêt. Lorsque l'appareil est mis sous tension (temps t_0), seule la dernière tour (n) démarre, jusqu'à ce que l'angle A_n atteigne la limite de déclenchement, la tour (n-1) se met alors en marche (temps t_1). Il en est ainsi de proche en proche jusqu'à l'axe du pivot.

Le fonctionnement du pivot en rotation suppose que la travée la plus éloignée du centre devra, dans le même temps que la première, parcourir une distance et arroser une surface bien plus grande. Ce déplacement plus rapide se traduira par le besoin d'appliquer le volume d'eau nécessaire en un temps très bref, autrement dit, avec une intensité plus grande.

1.3.- Appréciation de la répartition pluviométrique

En irrigation par aspersion, une mauvaise répartition, se traduit par des pertes d'eau et de rendement des cultures. De ce fait, on constate que sur une même parcelle, il y a des endroits gorgés d'eau (d'où, asphyxie éventuelle des plantes) et d'autres largement déficitaires (stress hydrique). Ainsi, une bonne uniformité de l'irrigation se traduit par un développement végétatif homogène des cultures à l'échelle du champ.

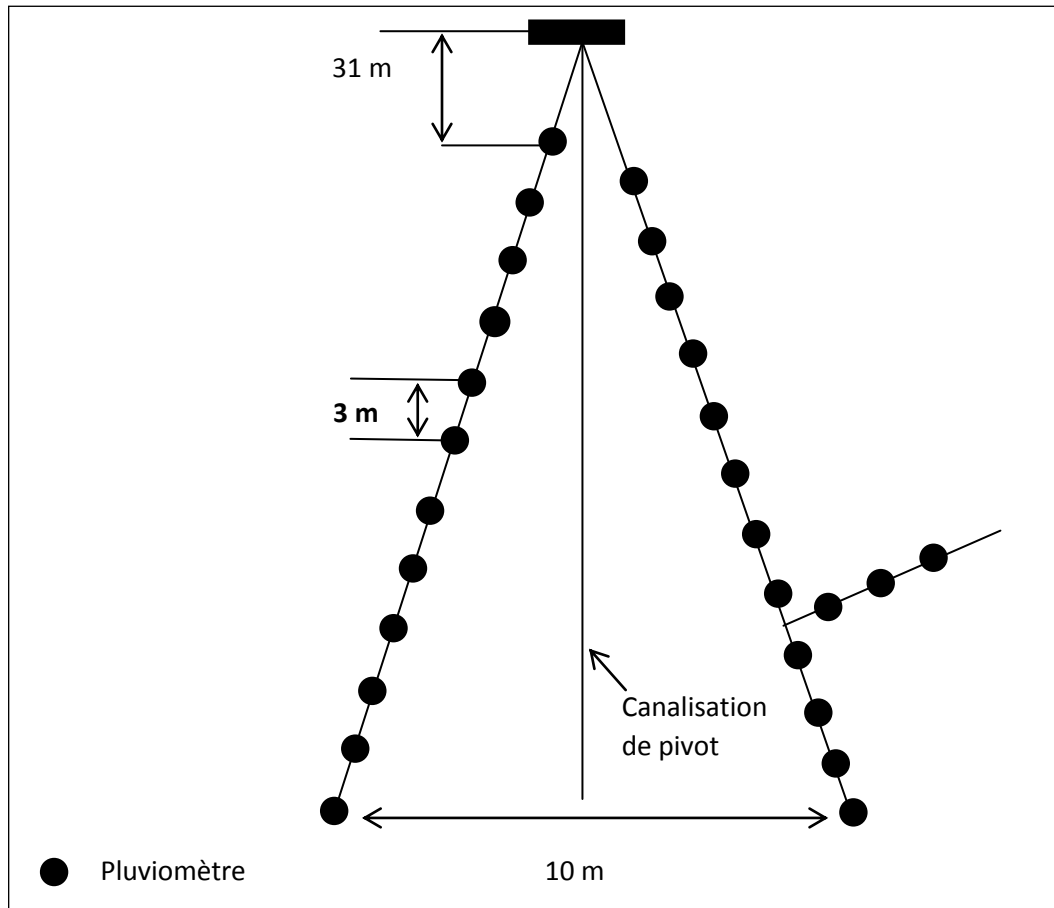


Figure 4.- Disposition expérimentale des pluviomètres sous le pivot suivant la norme ISO 11545

Assurer une répartition uniforme de l'eau, s'avère une tâche assez délicate. En effet, cette uniformité est tributaire des débits des divers asperseurs installés. Or, conformément à la loi des orifices, le débit d'un arroseur dépend de la pression de service, du diamètre de la buse et du régime hydraulique. Par ailleurs, selon TOUNSI (1997) [18], CHRISTIANSEN propose de limiter la longueur de la rampe à une valeur telle que la variation relative à la pression ($\Delta P/P$) n'excède pas 20%, pour circonscrire la variation du débit le long de la rampe dans une gamme acceptable, et SEGUIER a affirmé que la présence des plantes sur la parcelle modifie l'uniformité de la répartition de l'eau. De plus, KELLER et BLEISNER (1990) ont montré que l'angle du jet peut varier d'un poste à un autre, suite à la variation de la verticalité de l'asperseur (terrains accidentés). Aussi, l'uniformité est tributaire du taux de recouvrement, de la direction et de la vitesse du vent [19].

L'uniformité d'arrosage est appréciée moyennant l'installation d'une grille de pluviomètres régulièrement espacés. La dispersion des lames d'eau collectées dans les divers pluviomètres permet d'évaluer la qualité d'arrosage.

Pour conduire les essais de caractérisation du pivot d'irrigation, 270 pluviomètres identiques ont été utilisés, ayant chacun un diamètre de 18 cm et une hauteur de 17 cm. Ils ont été disposés selon deux rayons. Les écartements sont comme indiqués sur la figure 4.

Le volume d'eau récolté dans chaque récipient a été mesuré à l'aide d'une éprouvette, alors que la vitesse du vent a été enregistrée pendant l'essai à l'aide d'un anémomètre installé à une hauteur de 2 m dans un rayon de 200 m du site d'essai.

La pluviométrie moyenne P est déterminée par la formule suivante [20]:

$$P = 10 V/S$$

Avec :

P : pluviométrie (mm)

V : volume d'eau récolté par récipient (cm³)

S : section supérieure du récipient (cm³)

Les pertes par évaporation à partir des bacs d'évaporation ont été évaluées moyennant trois bacs témoins, remplis par un volume (V₁ = 500 ml). A la fin, on estime les pertes et la moyenne arithmétique sera affectée aux volumes récupérés. Au cours de l'essai, on doit indiquer la vitesse du vent, ainsi que sa direction, toutes les 15 mn.

La vitesse du vent est la moyenne d'une mesure durant 30 s. Aussi, on doit de temps à autre, vérifier les caractéristiques hydrauliques en tête du pivot d'irrigation, surtout la variation de la pression. Enfin, le volume d'eau recueilli (V) a été mesuré au moyen d'une éprouvette.

1.4.- Calcul du coefficient d'uniformité

L'efficience du système d'irrigation par aspersion est généralement déterminée à partir du coefficient d'uniformité de CHRISTIANSEN [21].

Le coefficient d'uniformité globale sous pivot est le produit de l'uniformité radiale par l'uniformité circulaire. D'après KELLER et BLEISNER (1990), l'uniformité circulaire est appréciée moyennant l'installation de pluviomètres sur le périmètre d'un cercle circonscrit à l'intérieur du rayon arrosé. La meilleure position toujours est le cercle de rayon (R_s = 2/3 L, avec: R_s: Rayon arrosé et L : Longueur du pivot). Les pluviomètres seront disposés tous les 5 m le long du périmètre. Pendant le temps nécessaire à l'essai, qui correspond à une révolution totale, on doit signaler toutes les perturbations climatiques et on doit aussi évaluer les pertes par évaporation à l'aide de bacs d'évaporation témoins [19].

1.4.1.- Coefficient d'uniformité circulaire

Pour estimer ce paramètre, on a décidé d'opter vers une procédure ajustée aux conditions de l'expérimentation entreprise. Dans ce cadre, on a limité l'étude expérimentale sur un secteur, en installant une douzaine de pluviomètres sur un rayon de 314 m, espacés chacun de 1,5 m (l'espacement entre les pluviomètres n'est pas un critère très important puisque le terme en question est évalué par la formule de CHRISTIANSEN).

L'uniformité de distribution de l'eau conditionne le développement homogène des cultures. CHRISTIANSEN (1942) était le premier à étudier l'uniformité de distribution au moyen du coefficient d'uniformité relaté ci-après [22].

$$Cu (\%) = 1 - \left(\frac{\sum |y_i - y_m|}{N \cdot y_m} \right)$$

Avec :

N : nombre de collecteurs pris en compte dans l'analyse des données

y_i : hauteur (masse ou volume) d'eau recueillie dans l'ième collecteur

y_m : moyenne arithmétique des hauteurs d'eau recueillie par tous les collecteurs pris en compte dans l'analyse des données

La hauteur moyenne d'eau recueillie est exprimée comme suit.

$$y_m = \sum y_i / n$$

1.4.2.- Coefficient d'uniformité radiale

L'uniformité sous pivot est appréciée par la formule de HERMANN et HEIN (1968) [23] selon la norme ISO 11545 (2001) [16].

$$CU_H = 100 \left[1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (|V_i - V| * S_i)}{\sum_{i=1}^n (v_i * S_i)} \right] \right]$$

Avec :

CU_H : coefficient d'uniformité de Hermann et Hein (%)

n : nombre de collecteurs utilisés pour l'analyse des données

i : indice de repérage débutant, en général, par le collecteur situé auprès du point de pivot

V_i : volume d'eau recueillie dans l'ième collecteur

S_i : distance séparant l'ième collecteur du point de pivot

2.- Résultats et discussion

2.1.- Considérations préalables

Les problèmes rattachés à l'intensité de l'irrigation par pivot ont été considérablement étudiés, afin de prévoir le ruissellement ou l'infiltration, pour déboucher sur des méthodes optimales de conception des machines et/ou de conduite de l'irrigation des cultures.

Les diverses études réalisées ont permis d'affiner les méthodes de conception des pivots, à la fois pour les asperseurs sur la rampe [24] et le canon d'extrémité [25]. En effet, l'utilisation de mesures d'énergie cinétique a autorisé la sélection, en fonction de la nature du sol, du type d'asperseur approprié [26], et sa pression de fonctionnement (trois types d'asperseurs sont distingués en fonction de leur pression de fonctionnement : asperseurs basse pression, asperseurs moyenne pression et asperseurs haute pression).

Pour un couple [asperseur, buse] donné, plus la pression de fonctionnement est élevée, plus la portée est élevée et plus le diamètre moyen des gouttes diminue, et inversement [27].

Pour un couple [asperseur, pression] donné, plus le diamètre de la buse est élevé, plus la portée est élevée et plus le diamètre moyen des gouttes augmente, et inversement [27].

Par ailleurs, le diamètre des gouttes générées dépendant du couple [diamètre de buse, pression], l'effet sur le rendement peut être très important [28]. DE BOER et KOHL (1993) ont confirmé, par des mesures *in situ*, les effets de la pression, de l'angle du jet et

du diamètre de la buse sur la distribution granulométrique des gouttes. Ils ont mis en évidence le fait que le vent n'agit sur la granulométrie qu'à partir d'une vitesse de 4,5 m/s [29].

2.2.- Appréciation générale

Pour résoudre les problèmes d'intensité de l'arrosage, les constructeurs d'arroseurs ont développé une large gamme de tailles de buses qui permettent de délivrer des débits croissants en fonction de la distance au centre du pivot. Lors de la conception, le fournisseur du pivot pourra ainsi garantir une bonne uniformité de répartition du débit. Mais attention, de ne pas confondre uniformité de répartition du débit aux arroseurs et uniformité de l'arrosage : il peut en effet y avoir une grande différence entre l'uniformité potentielle (calculée) et l'uniformité réelle (mesurée sur le terrain) [27].

La qualité d'irrigation d'un pivot dépend entre autres, de la qualité d'étude hydraulique et du plan de busage proposé par le fournisseur. Que l'étude des pivots soit réalisée par le fournisseur ou par l'utilisateur, il faut des données fiables sur les caractéristiques du terrain, la structure de l'appareil et les données hydrauliques (débit, pression) pour optimiser le plan de busage. Le respect de ce plan au moment du montage est une condition de l'uniformité d'arrosage [30]. Après avoir vérifié le plan de busage du pivot étudié, on a substitué trois buses par d'autres procurées à partir d'autres pivots. En effet, d'après M'SADAK *et al.* (2012.), le respect du plan de busage donné par le constructeur et l'adoption d'un programme d'entretien approprié permettent d'assurer un fonctionnement convenable des pivots mis en œuvre, et éventuellement, d'améliorer l'uniformité de la distribution des eaux d'irrigation [30].

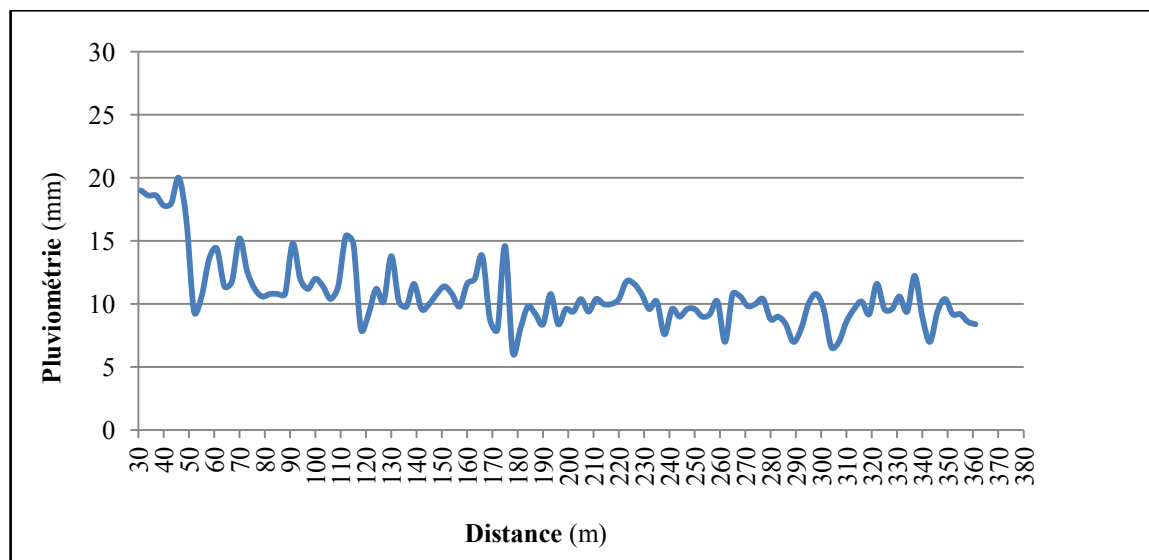


Figure 5.- Répartition pluviométrique sous le pivot (LINDSAY ZIMMATIC) à pression constante (1,4 bars)

D'après la figure 5, on remarque que la pluviométrie est assez élevée sous les deux premières travées. Ceci est dû à la vitesse d'avancement qui reste trop faible. Généralement, cette portion de terrain, toujours en surdosage, favorise les pertes d'eau par infiltration profonde et par évaporation. Aussi, on constate une forte variabilité de la

pluviométrie à la fin de chaque travée, suite à l'usage d'une buse fonctionnant en secteur ($< 180^\circ$) pour améliorer le recouvrement avec la buse voisine, cette variation est très réduite, juste à proximité des ornières.

On remarque également que malgré la légère augmentation de la pression de fonctionnement (donnée par le constructeur), il y a une chute brutale de la pluviométrie à la fin du pivot (zone irriguée par porte à faux).

L'augmentation de la perte de charge est l'un des facteurs principaux. En effet, cette perte de charge est dépendante du vieillissement de l'appareil, d'après la formule de HAZEN- WILLIAMS. Rappelons que l'équation de HAZEN-WILLIAMS est une relation empirique, utilisée en hydraulique, pour calculer les pertes de charge dues à la rugosité des conduites.

2.3.- Qualité d'arrosage

2.3.1.- Effet du vent

Le vent est un facteur de perturbation important. Au niveau d'un asperseur individuel, la répartition spatiale de l'eau peut être fortement déformée : on observe en général une forte augmentation du maximum de pluviométrie, et une diminution de la surface mouillée [27]. L'examen de la variation de la pluviométrie sous pivot avec différentes vitesses de vent révèle qu'avec une vitesse faible, la variation entre les deux rayons est presque faible, alors qu'une forte dispersion entre ces deux derniers est observée, lorsqu'il s'agit d'un vent fort. D'où, une répartition hétérogène sur toute la parcelle irriguée.

Il est évident de signaler que l'allure des courbes de la figure 6 tend vers une variation en dents de scie avec des amplitudes aigues.

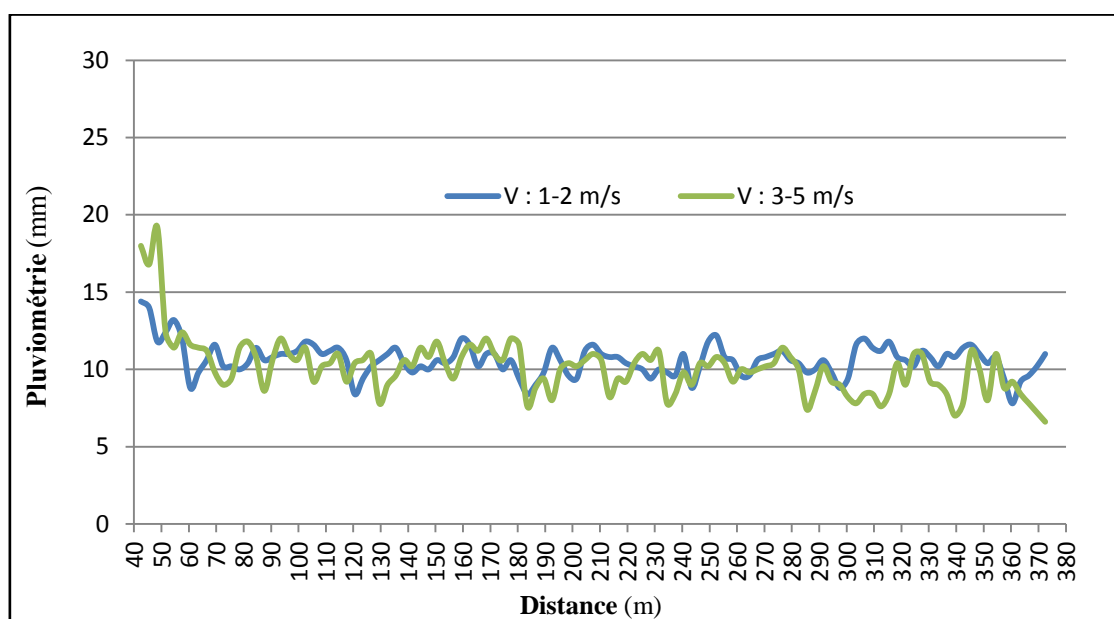


Figure 6.- Effet de la variation de la vitesse du vent sur la répartition pluviométrique sous le pivot (LINDSAY ZIMMATIC) à pression constante (1,4 bars)

L'effet du vent paraît très net sur la deuxième et la troisième travée, où l'on observe que la dose apportée tend vers la dose estimée (10 mm). En effet, les asperseurs à déflecteur projettent l'eau en fines gouttelettes à faible distance. Ces gouttelettes sont très sensibles à l'action du vent (elles sont fréquemment évaporées, déviées ou transportées).

Tandis que pour le reste des travées, l'effet du vent est atténué, pour une même surface la variation de la pluviométrie entre les conditions étudiées est trop faible. Cela est dû à l'effet secondaire de certaines anomalies générées au niveau de la structure globale du pivot (légères cassures engendrant quelques gouttes d'eau) et de l'implantation en alternance des cannes, si la direction du vent intercepte la canalisation.

La figure 7 représente la variation du coefficient d'uniformité radiale en fonction de la vitesse du vent. Les courbes obtenues sont décroissantes et représentent une détérioration lorsque la vitesse du vent augmente. Le meilleur coefficient d'uniformité correspond à une vitesse faible.

Pour réduire la sensibilité au vent, on peut réduire la pression ou utiliser des buses de plus gros diamètres [27].

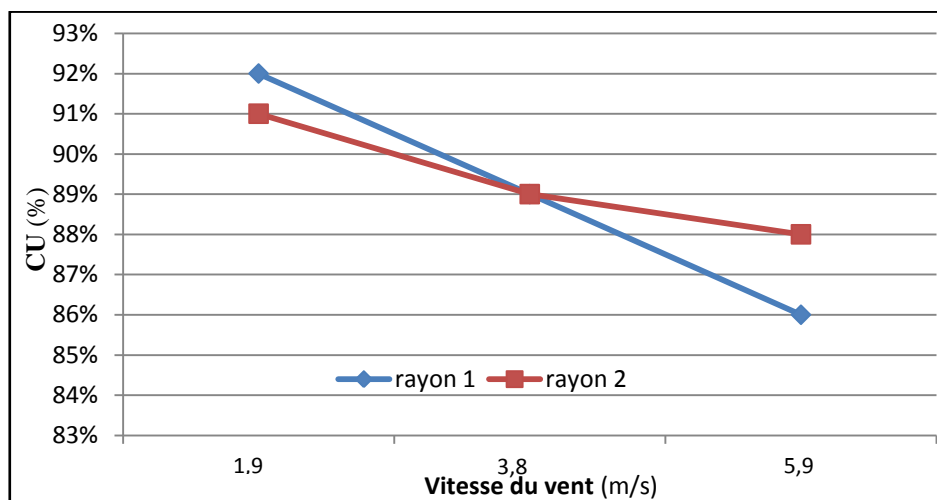


Figure 7.- Effet de la variation de la vitesse du vent sur le coefficient d'uniformité radiale de l'irrigation par pivot (LINDSAY ZIMMATIC) à pression constante (1,4 bars)

2.3.2.- Effet de la pression

Les conditions extérieures n'ont permis qu'une comparaison réduite pour évaluer l'effet de la pression. La figure 8 représente la variation de la pluviométrie en fonction du cumul de la surface (%) pour une vitesse du vent fixée (3-5 m/s).

Les courbes acquises présentent une diminution des doses délivrées sous les trois premières travées, tandis que la pluviométrie chute au-dessous de la moyenne ($D = 10$ mm) vers la fin du pivot. En effet, avec une pression de 1 bar, l'eau est projetée à proximité de l'aspersion, puisque la portée est réduite.

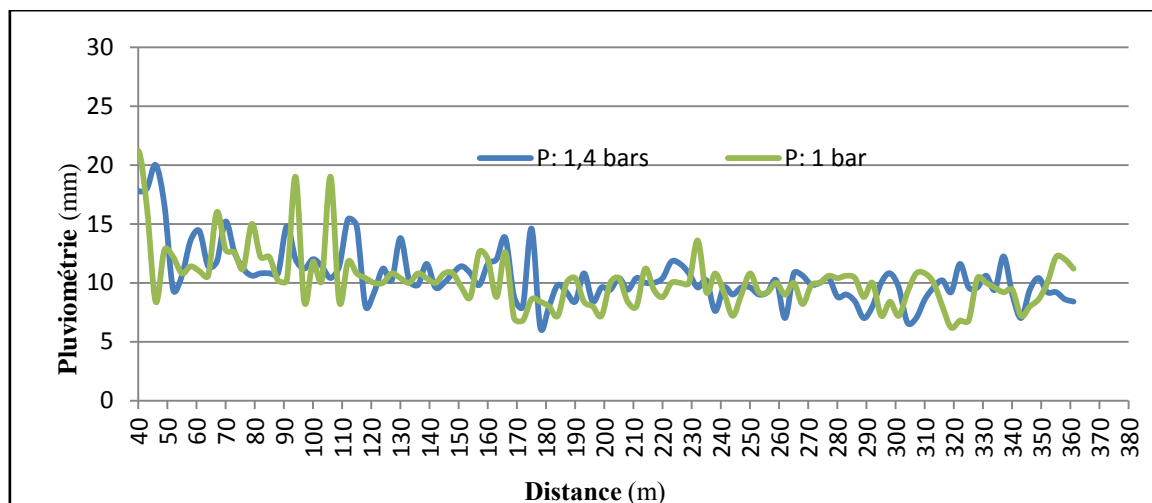


Figure 8.- Effet de la variation de la pression de fonctionnement sur la répartition pluviométrique sous le pivot (LINDSAY ZIMMATIC) avec vitesse du vent (3-5 m/s)

2.4.- Coefficient d'uniformité circulaire

Le tableau II présente les résultats relatifs à la variation du coefficient d'uniformité circulaire sous différentes conditions du vent. Ce tableau montre qu'avec un vent faible, le coefficient d'uniformité est supérieur à 90% (CU = 93%).

Tableau II.- Variation du coefficient d'uniformité circulaire en fonction du vent

Pression de service (bars)	1,4			1,0
Vitesse du vent (m/s)	1-3	3-5	4-8	3-5
Coefficient d'uniformité circulaire (%)	93	89	92	84

En se référant aux résultats de KELLER et BLEINSNER (1990), le coefficient d'uniformité circulaire doit être compris entre 90 et 98%, afin d'assurer une bonne répartition [19]. On remarque que ce seuil est assuré, dans tous les cas, à la même pression de fonctionnement. Les systèmes d'aspersion par pivot permettent d'atteindre des rendements hydrauliques nets voisins de 85-90%. Ces rendements peuvent, néanmoins, être bien inférieurs, si les arroseurs sont mal disposés ou encore par vent fort [9].

D'après les résultats obtenus, on peut suggérer, une insensibilité du coefficient d'uniformité circulaire à la variation de la vitesse du vent. En contrepartie, ce coefficient paraît très sensible à la variation de la pression.

Le vent est un facteur de perturbation important. Au niveau d'un asperseur individuel, la répartition spatiale de l'eau peut être fortement déformée, on observe en général une forte augmentation du maximum de pluviométrie, et une diminution de la surface mouillée [27].

Néanmoins, l'effet sur l'uniformité de l'irrigation est plus faible que pour les autres systèmes d'arrosage par aspersion. Selon JAMES et BLAIR (1984), l'uniformité aurait même tendance à augmenter avec la vitesse du vent, tant qu'elle ne dépasse pas 4 m/s [32].

Selon DOUH *et al.* (2012) une vérification de l'état des buses (obstruction, fuites, colmatage ou usure) et un diagnostic de fonctionnement avec un contrôle de l'uniformité de l'irrigation au moins une fois par an, sont à respecter pour améliorer la rentabilité des systèmes mécanisés d'aspersion de l'eau [33].

Finalement, pour un pivot d'irrigation donné, la répartition radiale est valable théoriquement, quelle que soit la vitesse d'avancement choisie [34]. En effet, en théorie, le réglage de l'avancement ne modifie pas significativement l'uniformité de la distribution.

Conclusion

Le manque d'eau et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture, amènent à constamment réfléchir sur les économies d'eau et d'énergie via la conception des systèmes d'irrigation adéquats pour une gestion plus efficace de l'eau. Le choix d'un système par rapport à l'autre dépend généralement des conditions d'exploitation. Un tel choix est devenu difficile devant la multitude de gamme offerte sur le marché par les différents constructeurs. Ainsi, il est nécessaire de connaître les caractéristiques, le principe de fonctionnement, bien maîtriser l'utilisation, et surtout apprécier les performances de chacun par rapport à l'autre.

L'étude entreprise sur un pivot d'irrigation, en cours d'utilisation et en état correct de fonctionnement, a révélé que cette machine d'arrosage assure une bonne qualité d'irrigation même avec un vent très fort dépassant 5 m/s. De même, il reste fonctionnel avec une faible pression à l'entrée. A cet égard, le coefficient d'uniformité relevé est de l'ordre de 84% à faible pression (1 bar) et sous vent fort (3-5 m/s). Dans l'ensemble, cet appareil est capable de produire une irrigation très uniforme. Un des obstacles à l'extension d'un tel système est la très forte intensité de l'arrosage qu'il dispense, pouvant dépasser les capacités d'infiltration de certains sols.

En définitive, les résultats obtenus lors de cette investigation ont dévoilé que l'aspersion mécanisée par rampe pivotante est une méthode efficace pour soutenir une irrigation permanente. En matière d'irrigation à grande échelle, les systèmes du type pivot sont reconnus comme étant les équipements les plus économiques. Grâce à l'uniformité d'arrosage qu'ils prodiguent, et à leur faible besoin en main-d'œuvre, ils proclament le meilleur rapport qualité/ prix, à condition bien sûr de disposer d'un parcellaire et d'une ressource en eau adéquats. A l'heure où l'agriculture irriguée est journellement dénoncée de gâcher l'eau et de favoriser les pollutions diffuses, il faut améliorer les méthodes de conception de tels équipements d'arrosage.

Références bibliographiques

- [1].- MEDD, 2009.- Guide pour une gestion durable des ressources en eau. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD). Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE), Tunisie, 41 p.
- [2].- Mekki H., 2007.- Gestion des ressources en eau en Tunisie. Direction générale des ressources en eau. MARH, INECO- Nabeul, 43 p.
- [3].- Renoux J. P., 2011.- L'irrigation pour une agriculture durable. Fondapol : fondation pour l'innovation politique, mars 2011, 37 p.

- [4].- FAO, 2011.- L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde. Gérer les systèmes en danger. Rapport de synthèse. Rome, 52 p.
- [5].- Ministère de l'Agriculture, 1994.- Rapport de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE), Tunisie, 23 p.
- [6].- Ministère de l'Agriculture, 1997.- IXe plan de développement économique et social (1997-2001): le développement agricole et les ressources naturelles, Tunisie, 37 p.
- [7].- Van Halsema G. E., Vincent L., 2012.- Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agric. Water Manage.*, 108: 9-15.
- [8].- Badji M., Oscar G. M., 1994.- L'irrigation localisée: une méthode plus rationnelle et sa terminologie. Agence de coopération culturelle et technique et la Communauté française de Belgique, n°8, 8 p.
- [9].- Rieul R., 1993.- Les techniques modernes d'irrigation et les économies d'eau. Etat de l'Agriculture en Méditerranée : Ressources en eau : développement et gestion dans les pays méditerranéens. Bari : CIHEAM.: 177-197.
- [10].- Hermi M., 1995.- Etude de l'uniformité en irrigation par aspersion sous différentes conditions de vent, de pression et d'écartement. Cas des périmètres irrigués de Jendouba. Mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation, INA de Tunisie: 40-97.
- [11].- Messaitfa M., 2007.- Les indicateurs de performances en irrigation gravitaire, localisée, par aspersion à l'échelle de la parcelle de l'exploitation (cas de deux exploitations de périmètre de la Mitidja ouest). Mémoire d'ingénieur, INA El-Harrach, Algérie, 136 p.
- [12].- CEMAGREF, 1992.- Collection Guide Pratique : Irrigation, Ouvrage Collectif, 324 p.
- [13].- Ministère de l'équipement de l'aménagement du territoire et du développement durable, 2012.-Atlas de gouvernorat de Ben Arous. Tunisie, 73 p.
- [14].- MEDD, 2007.- Indicateurs Régionaux d'amélioration des conditions de vie. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD), République Tunisienne, 161 p.
- [15].- ISO, 1995.- Agricultural irrigation equipment - Rotating sprinklers - Part 1: Design and operational requirements, 12 p.
- [16].- ISO, 2001.- Agricultural irrigation equipment Center pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles: Determination of uniformity of water distribution, 24 p.
- [17].- LINDSAY, sd.- Solutions d'irrigation : produits. Pivots fixes.
<http://www.lindsayeuropefr.com/pivots-fixes>

- [18] Tounsi A., 1997.- Irrigation par aspersion : Optimisation du rendement, de l'efficience et de l'équité de distribution. Mémoire du Cycle de Spécialisation, INA de Tunisie, p. 70-75.
- [19].- Keller J., Bleisner R., 1990.- Sprinkler and trickel irrigation. Ed. Keller: 247-385.
- [20].- Saidi M.E., sd.- Pluviométrie et intensités des précipitations. PPT, 19 Diapositives. www.saidi.ma/gc/5-pluviometrie.pdf
- [21].- Tiercelin J.R., Granier J., 2006.- L'irrigation par aspersion. Traité d'irrigation. Lavoisier, France: 549-583.
- [22] Christiansen J E., 1942.- Irrigation by Sprinkling. Bulletin 670, 1942. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, Berkeley, California, USA, 124p.
- [23].- Heermann D. F., HEIN R., 1968.- Performance characteristics of self-proped center pivot sprinkler irrigation system, Transactions of the ASAE 11(1): 11-15.
- [24].- Allen R.G., 1990.- Applicator selection along center pivots using soil infiltration parameters. Visions of the Future, St. Joseph, Mich: ASAE: 549-555.
- [25].- Mohamoud Y., Mccarty T.R., Ewing L.K., 1992.- Optimum center pivot irrigation system design with tillage effects. Journal of Irrigation and Drainage Eng 118: 291-305.
- [26].- El Shafei Y. Z., Al Omran, Al Darby A. M., 1993.- Impact of kinetic energy of falling drops up on soilinfiltrability. ICID Bulletin CIID. 42(2): 57-71.
- [27].- Molle B., Baudequin D., Haidar S., 1998.- Choix du busage et conduite de l'irrigation par pivots - Prise en compte de la capacité d'inaltération du sol. Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires (EAT), IRSTEA: 57-69.
- [28].- Undersander D. J., Marek T. H., Clark R. N., 1985.- Effect of nozzle type on runoff and yield of corn and sorghum under center pivot sprinkler systems. Irrigation science: 107-116.
- [29].- De Boer D. W., Kohl R. A., 1993.- Performance characteristics of reduced pressure sprinklers, ICID Fifteenth Congress, The Hague, NLD: 1033-1044.
- [30].- MAPM, 2009.- L'utilisation du centre pivot pour l'irrigation. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. Transfert de technologie en Agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA (177), Royaume du Maroc, 6 p.
- [31].- M'Sadak Y., Douh B., Hamza M. E., 2012.- Diagnostic de fonctionnement des systèmes d'aspersion par pivot utilisé dans une grande exploitation irriguée de la Tunisie centrale. Larhyss Journal (11): 97-107.

- [32].- James L. C., Blair S. K., 1984.- Effect of wind on center pivot application uniformity. ASAE paper (84), 10 p.
- [33].- Douh B., Chehaibi S., Zouaghi M., 2012.- Analyse diagnostique du maintien en état de fonctionnement des systèmes d'irrigation mécanisée par aspersion cas d'une rampe frontale dans la région de Bousselem, Tunisie. Larhyss Journal (11): 47-61.
- [34].- Bremond B., Molle B., 1995.- Characterization of rainfall under centre pivot : influence of measuring procedure, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, vol. 121 (5): 347-353.

ETUDE CINÉTIQUE DE LA CROISSANCE DE *Saccharothrix algeriensis* DSM 44581 EN FERMENTEUR BATCH EN PRÉSENCE D'ACIDE BENZOÏQUE ET D'ACIDE HUMIQUE

BOURAS Nouredine^{1,2,3*}, MEKLAT Atika^{2,4}, TOUMATIA Omrane², MOKRANE Salim², BRANDAM Cédric¹, OULD EL HADJ Mohamed Didi⁵, LEBRIHI Ahmed¹, MATHIEU Florence¹ et SABAOU Nasseridine²

⁽¹⁾Université de Toulouse, INPT-ENSAT, Laboratoire de Génie Chimique (LGC), UMR 5503 (CNRS/INPT/UPS), Département de Bioprocédés et Systèmes Microbiens (BioSym), France

⁽²⁾Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM), Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger, Algérie

⁽³⁾Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, Université de Ghardaïa, 47000 Ghardaïa, Algérie

⁽⁴⁾Département de Biologie et Physiologie Cellulaire, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Saâd Dahleb, Blida, Algérie

⁽⁵⁾Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi-arides, Université de Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie

E-mail: nouredine_bouras@yahoo.fr

(Received 26 March 2017 - Accepted 02 June 2017)

Résumé. - Le but de ce travail est d'étudier l'effet de l'acide benzoïque et l'acide humique sur la croissance de *Saccharothrix algeriensis* DSM 4458 dans un milieu semi-synthétique en fermenteur batch. Les valeurs de la biomasse maximale sont de 6,54, 8,54 et 7,32 g/l pour le témoin et en présence d'acide benzoïque et d'acide humique, respectivement. Après 48 h de fermentation, la culture témoin subit une lyse cellulaire plus remarquable que celles contenant les acides benzoïque et humique. Une légère acidification du milieu de culture est observée en présence d'acide benzoïque est plus prononcée par rapport aux deux autres cultures (acide humique et témoin). Par ailleurs, il est remarqué une consommation rapide d'O₂ pendant les 24 premières heures de fermentation en présence d'acide benzoïque et dans le milieu témoin. Les quantités d'azote total et minéral diminuent lentement dans toutes les cultures pendant les 80 premières heures de fermentation. La quantité d'azote minéral est nulle à partir de 144 h de fermentation pour le témoin et également en présence d'acide benzoïque. Les résultats obtenus en fermenteurs ne sont pas exactement les mêmes que ceux obtenus en Erlenmeyers d'un point de vue qualitatif et quantitatif.

Mots clés: *Saccharothrix algeriensis*, fermentation, biomasse, acide benzoïque, acide humique.

KINETIC STUDY OF THE GROWTH OF *SACCHAROTHRIX ALGERIENSIS* DSM 44581 IN BATCH FERMENTOR IN THE PRESENCE OF BENZOIC ACID AND HUMIC ACID

Abstract. - This work aimed to investigate the effect of benzoic acid and humic acid on the growth of *Saccharothrix algeriensis* DSM 44581 on semi-synthetic medium by using controlled batch fermentors. The maximum biomass values were 6.54, 8.54 and 7.32 g/l for the control and in the presence of benzoic acid and humic acid, respectively. After 48 hours of fermentation, the control culture showed a noticeable cell lysis than those containing the benzoic and humic acids. A slight acidification of the culture medium was observed in the presence of benzoic acid compared to two other cultures (humic acid and control). On the other hand, we observed a rapid consumption of O₂ during the first 24 hours of fermentation in the presence of benzoic acid and in the control medium. The amounts of total and mineral nitrogen decreased slowly in all cultures during the first 80 hours of fermentation. The amount of mineral nitrogen was zero starting from 144 hours of fermentation for the control and also in the presence of benzoic acid. The growth rate of *S. algeriensis* in all fermentations was fast during the first 10 h of fermentation. The control culture showed a partially cell lysis in comparison to cultures with organic acids. This result showing that

these organic acids could be used for biomass maintaining. The formation of biomass was influenced by the addition of organic acids. The experiment in the fermentor showed some differences with results obtained in Erlenmeyers.

Key words: *Saccharothrix algeriensis, fermentation, biomasse, benzoic acid, humic acid.*

Introduction

Les actinobactéries (anciennement appelées actinomycètes) sont des bactéries Gram positive qui forment des hyphes filamenteux ramifiés. Elles sont définies par un taux élevé (supérieur à 55%) en GC%, ce qui les sépare des autres bactéries ayant un taux inférieur en GC% [1]. Ces microorganismes procaryotes sont généralement aérobies et non mobiles. Ce sont très largement distribués, et ils sont essentiellement des habitants du sol. Ces bactéries mycéliennes dégradent un nombre considérables de composés organiques, et elles sont extrêmement importantes pour la minéralisation de la matière organique dans le sol. Une minorité d'actinobactéries sont phytopathogènes pour les végétaux et pathogènes pour l'humain et les animaux.

La production de nouveaux antibiotiques est actuellement une préoccupation à l'échelle mondiale du fait de la prolifération de souches bactériennes multi-résistantes aux antibiotiques actuellement disponibles. La liste de l'OMS comporte trois catégories principales selon l'urgence du besoin de nouveaux antibiotiques [2].

Le groupe le plus critique comporte des bactéries multi-résistantes qui représentent une menace particulière dans les hôpitaux et les maisons de retraite. Il comporte *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* et diverses *Enterobacteriaceae* (entérobactéries résistance aux carbapénèmes, production de BLSE): dont *Klebsiella*, *Proteus*, *Serratia* et *E. coli*. Ces bactéries sont devenues résistantes à un grand nombre d'antibiotiques (y compris les carbapénèmes et les céphalosporines de troisième génération), les meilleurs produits disponibles pour traiter les bactéries multi-résistantes [2].

Le deuxième groupe de la liste (la catégorie de priorité élevée) comporte d'autres bactéries de plus en plus résistantes. Ce groupe comporte: *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Helicobacter pylori*, *Neisseria gonorrhoeae*, *Salmonella* et *Campylobacter* [2].

Le troisième groupe de la liste (la catégorie de priorité moyenne) comporte *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae* et *Shigella* [2].

La biosynthèse des métabolites secondaires, comme les antibiotiques, peut être effectuée sous trois exigences. Premièrement, il est nécessaire d'avoir de la biomasse, c'est-à-dire l'usine cellulaire pour synthétiser les métabolites; deuxièmement, les précurseurs doivent être présents; et troisièmement, les enzymes capables de transformer ces précurseurs, doivent être aussi présentes et actives [3].

La bactérie filamenteuse *Saccharothrix algeriensis* DSM 44581 appartient au groupe des actinobactéries (*Pseudonocardiaceae*). Celle-ci s'est avérée productrice d'antibiotiques

de la classe des dithiopyrrolones (appelées également pyrrothines) et présente des fortes activités antibactériennes, antifongiques et même anticancéreuses [4-8].

Les travaux antérieurs réalisés dans des Erlenmeyers ont montré que la biosynthèse, par *Saccharothrix algeriensis*, des cinq antibiotiques dithiopyrroloniques (la thiolutine, la sénécioyl-pyrrothine, la tigloyl-pyrrothine, l'isobutyryl-pyrrothine et la butanoyl-pyrrothine) est considérablement influencée par la nature et la concentration de différents acides organiques ajoutés dans le milieu de culture [9-11].

Afin d'affiner les résultats dans des conditions mieux contrôlables dans un fermenteur, il est choisi un acide carboxylique aromatique dérivé du benzène: l'acide benzoïque (à 1,25 mM) et un polymère a haut poids moléculaire qui constituent une des fractions les plus importantes de l'humus: l'acide humique (à 1 g/l). Ces deux substances ont été testés pour la croissance de *S. algeriensis* sur le milieu semi synthétique de base (MSS) contenant 0.14 M (25 g/l) de dextrose dans le but de favoriser la biomasse nécessaire pour la synthèse des antibiotiques dithiopyrroloniques.

1. - Matériels et méthode

1.1. - Actinobactérie

Saccharothrix algeriensis DSM 44581 (NRRL B-24137) a été isolée à partir d'un échantillon de sol saharien de la palmeraie d'Adrar (région de Touat). Cette nouvelle espèce bactérienne est productrice de plusieurs antibiotiques de la famille des dithiopyrrolones [4,5].

1.2.- Bioréacteur (fermenteur)

Les cultures sont effectuées dans des fermenteurs de 2,5 l (le volume utile est fixé à 2 l), modèle: New Brunswick Scientific Co., Inc. an Eppendorf Company, Edison, N.J., U.S.A. Les fermenteurs sont inoculés à 5 % volume pré-culture/volume culture (soit 100 ml de pré-culture dans 2 l de culture). Ce fermenteur est équipé d'un ensemble d'agitation pour assurer l'homogénéité du milieu de culture, comprenant un système dont la vitesse d'agitation est réglable par un moteur d'agitation (Magmator Technologies Inc., Fermentor/Bioreactor). Un mode de régulation de la température qui est assuré par un système qui dispose d'un capteur métallique permettant une acquisition très précise. Ce système est relié à une sonde placée dans le milieu de culture ainsi qu'une bande chauffante (New Brunswick, H1, Heat, Ind., MT) autour du fermenteur et une circulation d'eau thermostatée dans un serpentin plongeant dans le bioréacteur. Un dispositif d'aération qui comporte un débitmètre massique à air (Bronkhorst Hi-tec, série F100/200). Un filtre à air stérilisable à l'entrée, un diffuseur d'air situé dans la partie inférieure de la cuve et un condenseur d'eau pour éviter la perte de l'eau par évaporation. Un échantillonneur (une sonde de prélèvement) plongeant dans le milieu de culture. Cette sonde est reliée à l'extérieur à une seringue pour effectuer des prélèvements stériles. Un équipement de septa permettant d'inoculer le fermenteur ou pour diverses alimentations; une sonde pH à immersion stérilisable (Ingold Infit, type 764.50 B/BH), reliée à un ensemble de régulation par un acide (HCl, 2 N) et par une base (KOH, 2 N); une sonde de mesure de pO₂ à pression partielle pour mesurer l'oxygène dissous polarographique (sonde O₂ Ingold, Biolafitte, model 34-10-3003; Mettler Toledo, Zurich, Switzerland) avec leur système de régulation. Le logiciel utilisé est: Bio/Flo[®]/CelliGen[®] 115, Benchtop

Fermentor/Bioreactor, Bio-Command Plus, NBS Bio Command, version 3,3 plus (BioProcessing Software).

1.3. - Milieu de fermentation (pré-culture et culture)

La composition du milieu de culture (de production) a été élaborée par BOURAS *et al.* (2006b, 2000) [12,13]. Ce milieu basal chimiquement défini, dit MSS (Milieu Semi-Synthétique) est composé de (quantité pour 1 l d'eau distillée): D(+) glucose anhydre (dextrose anhydre): 25 g (0,14 M), sulfate d'ammonium: 2 g (15,13 mM), chlorure de sodium: 2 g (34,22 mM), phosphate de mono-potassium: 0,5 g (3,67 mM), phosphate dipotassique: 1 g (5,74 mM), sulfate de magnésium: 0,2 g (0,81 mM), extrait de levure: 2 g, CaCO₃ qui permet de tamponner le pH du milieu de culture: 5 g (3,67 mM). Le pH du milieu de culture est ajusté à 7 avec du NaOH (2N).

Pour les pré-cultures, la préparation des inocula est effectuée en fioles Erlenmeyer de 250 ml contenant 50 ml de MSS. Ces Erlenmeyer sont ensemencés avec un inoculum de spores provenant d'une culture de *S. algeriensis* âgée de 8-10 jours. Le milieu de culture est de la même composition que le milieu basal (MSS).

1.4. - Stérilisation des milieux de culture

Pour les pré-cultures, les Erlenmeyer de 500 ou de 250 ml et contenant respectivement 100 ou 50 ml de milieu (soit 20% de leurs volumes totaux), sont stérilisées dans l'autoclave pendant 20 min à 120°C, alors que le fermenteur de 2,5 l contenant jusqu'à 2 l de milieu de culture est stérilisé pendant 25 min à 120 °C.

Le milieu semi-synthétique (MSS) est stérilisé en deux parties séparées afin d'éviter la réaction de Maillard (entre les sources de carbone et les sources d'azote, c'est-à-dire l'action des sucres sur les protéines) qui peut changer la composition et la couleur du milieu de culture. Le dextrose (solution A) est autoclavé séparément puis mélangé stérilement avec l'autre partie du milieu de culture (solution B contenant les sels et l'extrait de levure) seulement après stérilisation et juste avant l'inoculation.

De même, les produits ajoutés au milieu MSS (l'acide benzoïque et l'acide humique) sont autoclavés séparément et ajoutés au milieu de culture juste avant l'inoculation.

1.5. - Conditions de fermentation (cultures en fermenteur)

Les pré-cultures sont placées dans un incubateur thermostaté à 30°C, et à agitation orbitale fixée à 250 r.p.m (rotation par minute). Toutes les cultures liquides de fermentation discontinue (batch) sont réalisées dans un fermenteur (le volume utile est fixé à 2 l).

L'ensemencement est effectué à partir d'un inoculum en phase exponentielle de croissance (âgé de 36 à 48 h). Après incubation de la pré-culture, une estimation du poids sec permet de fixer le volume de pré-culture nécessaire pour ensemencer le fermenteur de manière à avoir une biomasse initiale d'environ 0,2 g/l (dans le fermenteur). Les conditions opératoires pour les cultures en fermenteur (batch) sont les suivantes: pH est maintenu à une valeur de $7 \pm 0,05$ au début de la fermentation, température d'incubation est maintenue à $30 \pm 0,1$ °C, débit d'air (aération initiale) est fixé à 1 v/v/m (volume d'air par volume de

liquide par minute) soit 2000 ml d'air par minute, pourcentage d'oxygène dissous (pression partielle) est maintenu à $30 \pm 5\%$ de la saturation par modification de la vitesse d'agitation (réglable de 200 à 300 r.p.m). Afin de limiter la formation de mousse, un agent anti-mousse: le Polypropylene P-2000 E ($\text{HO}(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})_n\text{C}_3\text{H}_6\text{OH}$), est employé.

Des échantillons sont prélevés, dans des conditions aseptiques, tous les 4 h afin d'établir les cinétiques de fermentation. Un volume de 20 ml, destiné au dosage des substrats, est centrifugé ($10\,000 \times g$ pendant 10 min), puis stocké à $-20\text{ }^\circ\text{C}$ jusqu'à la fin de la fermentation. Le poids sec du mycélium est immédiatement mesuré. La durée d'une fermentation est de 216 h (9 jours).

1.6.- Mesure du poids sec

Elle consiste à peser la biomasse cellulaire contenue dans un volume de culture connu. Pour mesurer le poids sec, il est utilisé la méthode de PFEFFERLE *et al.* (1980) avec quelques modifications [14]. Pour chaque échantillon, 20 ml de culture sont prélevés et mis dans des tubes préalablement disséqués et tarés. Les tubes sont ensuite centrifugés à $16\,000 \times g$ pendant 10 min. Le culot est lavé trois fois par centrifugation en utilisant 1,5 ml de HCl (0,35 M) afin d'éliminer le CaCO_3 , et une dernière fois avec 1,5 ml d'eau distillée.

Par la suite, les cellules sont récupérées par centrifugation. Les tubes sont ensuite placés dans une étuve à $105\text{ }^\circ\text{C}$ pendant 24 heures, puis pesés après refroidissement dans un dessiccateur (gel de silice comme dessiccant, de couleur bleu/rose). Le poids sec ainsi déterminé est ensuite rapporté au litre de volume de culture (exprimé en gramme de matière sèche par litre de milieu de culture). Les pesées sont effectuées sur une balance analytique de précision (Sartorius).

1.7. - Mesure du pH

Lors de la centrifugation pour la mesure du poids sec, le surnageant obtenu est utilisé immédiatement pour enregistrer les variations de pH au cours du temps.

1.8. - Chromatographie en phase liquide à haute performance (CLHP)

Système de Chromatographie en phase Liquide à Haute Performance (CLHP) équipé d'un injecteur automatique de type Thermo Separation Products® Spectra Series Autosampler AS100™, avec une boucle d'injection de 20 μl ; une pompe Spectra System P1000XR (Thermo Separation Products); un détecteur réfractométrique différentiel Spectra Physics Refracto Monitor IV de Thermo Separation Products SP 8430™; une colonne de résine cationique (garnissage résine cationique H^+) Bio rad® Aminex HPX-87H™ de dimension $300 \times 7,8\text{ mm}$ est utilisée à $40\text{ }^\circ\text{C}$, précédée d'une pré-colonne de garde Bio rad (H^+). Un logiciel, Borwin V 1,2 (t-SP V 1.21™, PC A000®) permet de calculer la surface des pics détectés. Ce système CLHP est utilisé pour doser le dextrose et l'acide benzoïque.

1.9. - Dosage du dextrose et d'acide benzoïque par CLHP

Les échantillons prélevés en vue d'une analyse chromatographique ont été centrifugés ($10\,000 \times g$, à $4\text{ }^\circ\text{C}$ et pendant 10 min) et le surnageant est directement congelé à $-20\text{ }^\circ\text{C}$ dans des tubes à essais en verre fermés (les dosages chimiques ont été réalisés après les fermentations). Au moment de l'analyse, l'échantillon a été décongelé à température

ambiante, puis il a été convenablement dilué avec un dilueur automatique. Les concentrations en dextrose, et acide benzoïque ont été analysés par CLHP, après filtration à l'aide d'une seringue et d'un filtre (Minisart Sartorius, 0,2 μm). La phase mobile est une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) à 5.10^{-3} mM (dégazé à l'hélium) élué à un débit isocratique de 0,4 ml/min par une pompe. Le temps d'acquisition est de 40 min.

La courbe d'étalonnage est réalisée avec 5 concentrations pour chaque composé (dextrose et acide benzoïque). Il est utilisé les concentrations suivantes: 0, 2,5, 5, 15 et 25 g/l pour le dextrose et 0, 0,25, 1,25 et 5 mM pour l'acide benzoïque. Les surfaces des pics ont été traitées par ordinateur équipé du logiciel Borwin V 1,2 (t-SP V 1.21TM, PC A000®). Cette surface est corrélée à une valeur en concentration par l'intermédiaire d'une courbe de calibration pour le dextrose et pour l'acide benzoïque. Ainsi, les surnageants des échantillons sont dilués de manière à obtenir des concentrations inférieures ou égales à 25 g/l pour le dextrose et à 4 g/l pour l'acide benzoïque.

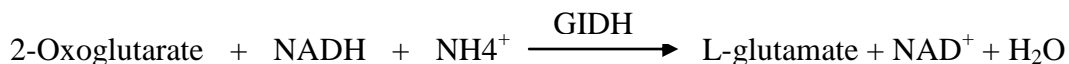
1.10. - Dosage du dextrose par la méthode enzymatique YSI

Le dextrose est dosé également par une méthode enzymatique (*Enzymatic Glucose Analyzer*) grâce à un appareil automatique YSI. L'appareil utilise une enzyme immobilisée (glucose-oxydase) sur une membrane, elle-même couplée à une sonde électrochimique. L'enzyme réagit avec le dextrose et produit du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Celui-ci est ensuite électro-chimiquement oxydé par une anode de platine. Cette réaction produit un signal électronique proportionnel à la concentration en dextrose de l'échantillon dosé. La réponse de l'appareil est linéaire entre 0,002 et 25 g/l de dextrose, avec une erreur maximale tolérée de $\pm 5\%$ par rapport à une solution standard à 25 g/l de dextrose.

1.11. - Dosage de l'azote ammoniacal

L'azote ammoniacal (concentration d'ammonium: NH_4^+) est dosé par une méthode enzymatique proposée en kit par Boehringer-Mannheim (kit Diagnostics Ammonia, Enzymatic BioAnalysis/Food Analysis, UV-test, approx. 50 assays). Référence: R-Biopharm, K-Amia, AG, D-64293, E 1112732, Darmstadt Roche).

En présence de la glutamate déshydrogénase (GIDH) et du dinucléotide nicotinamide-adénine réduit (NADH), l'ammoniaque réagit avec 2-oxoglutarate pour donner le L-glutamate. Le NADH s'oxyde en NAD^+ .



La quantité de NADH oxydée dans la réaction ci-dessus est stoechiométrique à la quantité d'ammoniaque. La quantité de NADH est déterminée grâce à son absorbance à 334, à 340 ou à 365 nm.

L'appareil utilisé est le Mascot Plus, qui est composé de trois parties: le distributeur sur lequel sont placés les réactifs et les échantillons et qui assure la partie préparation (prélèvement des réactifs, des échantillons, pré dilutions, post-dilutions); le banc optique où sont transférés les prélèvements et où est assuré le suivi des réactifs et l'interface utilisateur par l'intermédiaire de laquelle sont programmés les paramètres de fonctionnement de l'analyseur.

Le consommable est le suivant: échantillons à une dilution adaptée et la solution standard d'ammoniac à concentration connue pour test, solution de mouillant, cuves PMMA (540 barrettes de 8 cuves), cuves polystyrènes (540 barrettes de 8 cuves), godets de 0,5 ml (1000), godets pour antisérum (25) et flacons réactifs complets (16) et essuyeurs (32). Le réactif R₁ est composé de 1 ml de 2-oxoglutarate, 1 ml d'eau déionisée et 1 tablette du flacon 2 (flacon contenant des tablettes de NADH). Le réactif R₂ est composé de 0,1 ml de GIDH et 0,9 ml d'eau déionisée.

Au cours du dosage et aussitôt qu'une analyse est terminée, le résultat s'affiche sur la partie droite de l'écran du synoptique de travail. Le numéro de la cuve de mesure utilisée, le numéro du godet et le nom du paramètre traité sont suivis du résultat calculé. L'équation générale pour calculer la concentration est la suivante:

$$C = \frac{V \times MW}{\varepsilon \times d \times v \times 1000} \times \Delta A \text{ (g / l)}$$

V = volume finale [ml],

v = volume de l'échantillon (ml),

MW = poids moléculaire de la substance à tester (g/mol),

d = trajet de la lumière (cm),

ε = coefficient d'extinction de NADH: 6,3 ($1 \times \text{mmol}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$) à 340 nm; 6,18 ($1 \times \text{mmol}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$) à 334 nm et 3,4 ($1 \times \text{mmol}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$) à 365 nm.

Pour l'ammonium, on a:

$$C = \frac{3,020 \times 17,03}{\varepsilon \times 1,00 \times 0,100 \times 1000} \times \Delta A = \frac{0,514}{\varepsilon} \times \Delta A_{[g \text{ ammoniac / l échantillon}]}$$

Si l'échantillon a été dilué sur la préparation, le résultat doit être multiplié par le facteur F de dilution. En analysant les échantillons solides et semi solides qui sont pesés pour la préparation témoin, le résultat doit être calculé à partir de la quantité pesée.

Pour l'azote ammoniacal:

$$\text{content ammonia} = \frac{C_{\text{ammonia}} \text{ (g / l sample)}}{\text{weight sample (g / l)}} \times 100 \text{ (g / 100g)}$$

1.12. - Dosage de l'azote total

L'azote total est dosé par une méthode proposée en kit par Odyssey / Fisher (kit Odyssey DR / 2500, Test N TubeTM Vials, LR (10-150 mg/l N). Référence: kit 26722-45.

La méthode utilisée pour est la digestion par le persulfate. Le réacteur de type COD, *Analyzer and COD heating Reactor*, Hach. Company, USA. Spectrophotomètre (Spectro-Hach Odyssey), USA. Le réactif 1 est composé de 0,5 ml de l'échantillon (à une dilution adaptée) + le réactif (*Hydroxyde Reagent* composé d'hydroxyde de sodium) + un sachet de persulfate de potassium (K₂S₂O₈). Chauffer le réactif 1 pendant 30 minutes dans un réacteur COD, Hach (à une température de 105 °C), puis laisser refroidir à la température ambiante, et ajouter au réactif 1, un sachet de réactif A (métabisulfite de sodium = pyrosulfite de sodium : Na₂O₅S₂) et mélanger pendant 2 minutes, par la suite ajouter au réactif 1, un sachet de réactif B (acide chromatropique, sel disodium, quartz blanc, urée et métabisulfite de sodium) et mélanger pendant 5 minutes. Un blanc est préparé dans les mêmes conditions, avec 0,5 ml d'eau déionisée présente dans le kit. Mettre 2 ml de réactif

1 dans le réactif C (acide sulfurique) et mélanger pendant 5 minutes. Effectuer la lecture à 410 nm dans un spectrophotomètre spectro-Hach, Touch (Hach Programs), Select Program (350N, Total TNT/ n° 395). Les résultats sont exprimés en mg d'azote total/l.

2. - Résultats

2.1.- Effet sur la croissance de *S. algeriensis*

Il est effectué des fermentations en présence d'acide benzoïque et d'acide humique pour une durée de fermentation de 216 heures.

Il est remarqué dans cette série de fermentation que la croissance est très rapide pendant les dix premières heures (fig. 1). Les valeurs de la biomasse maximale sont de 6,54, 8,54 et 7,32 g/l pour le témoin et en présence d'acide benzoïque et d'acide humique, respectivement. Après 48 h de fermentation, la culture témoin subit une lyse cellulaire (phase de déclin) plus remarquable que celles contenant les acides benzoïque et humique.

Les valeurs obtenues de μ_{max} sont de $0,27 \text{ h}^{-1}$ pour le témoin et de $0,30 \text{ h}^{-1}$ en présence d'acide benzoïque et d'acide humique. Ces valeurs ont été obtenues après 13 h de fermentation chez le témoin et en présence d'acide humique et uniquement après à 25 h en présence d'acide benzoïque. Les résultats montrent qu'il n'y a pas une différence significative de la croissance de *S. algeriensis* en présence de ces différentes substances.

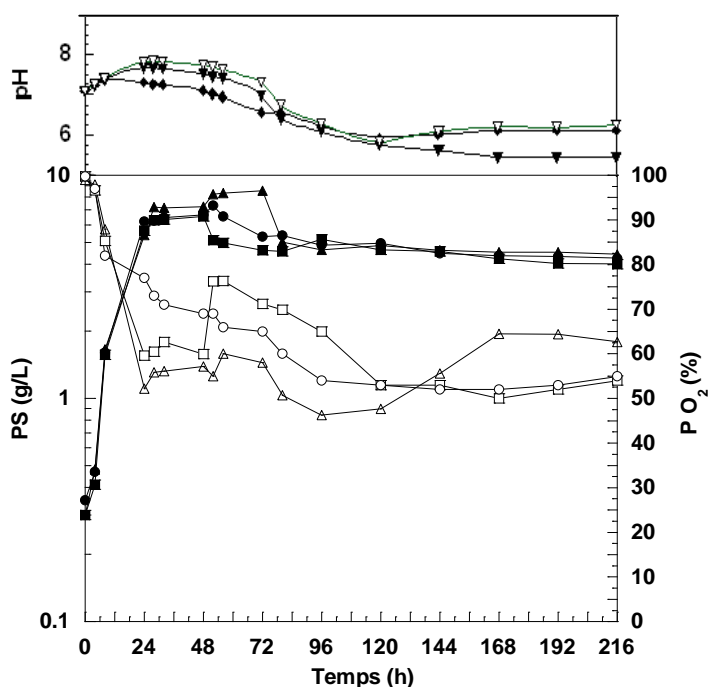


Figure 1.- Cinétique de la variation de la biomasse (▲, ●, ■), $P(O_2)$ (Δ, ○, □) et du pH (▼, ▽, ◆), dans différentes cultures de 2 l, en fermenteur, en présence d'acide benzoïque (1,25 mM), d'acide humique (1 g/l), et dans le milieu témoin, respectivement.

2.2.- Effet sur le pH et le $P(O_2)$

Lors des fermentations en présence d'acide benzoïque, d'acide humique et dans le milieu témoin, les valeurs du pH ne sont pas significativement affectées pendant les 80 premières heures de fermentation (fig. 1). En revanche, une légère acidification du milieu de culture est observée après cette période de fermentation. L'acidité observée en présence

d'acide benzoïque est plus prononcée par rapport aux deux autres cultures (acide humique et témoin). Par ailleurs, il est remarqué une consommation rapide d'O₂ pendant les 24 premières heures de fermentation en présence d'acide benzoïque et dans le milieu témoin. Cette période coïncide avec la phase exponentielle de croissance de l'actinobactérie. En revanche, la chute du taux de l'oxygène dans le milieu de culture est moins prononcée en présence d'acide humique. De plus, chez le témoin en particulier, il est remarqué une légère augmentation de la PO₂. Elle serait due à une lyse cellulaire partielle.

2.3.- Effet sur la consommation des substrats

Il est remarqué que les quantités d'azote total et minéral diminuent lentement dans toutes les cultures en présence d'acide benzoïque, d'acide humique et dans le milieu témoin pendant les 80 premières heures de fermentation. La quantité d'azote minéral est nulle à partir de 144 h de fermentation pour le témoin et également en présence d'acide benzoïque (fig. 2).

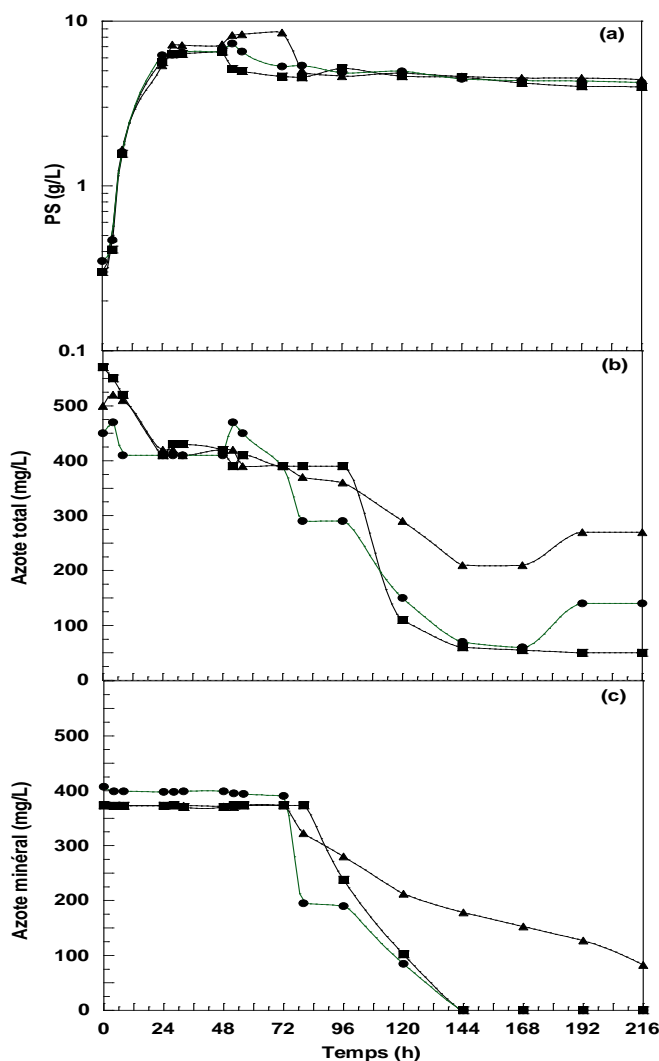


Figure 2.- Cinétique de la variation de la biomasse (a) (▲, ●, ■), de l'azote total (b) (▲, ●, ■) et de l'azote minéral (c) (▲, ●, ■), dans différentes cultures en batch, dans des fermenteurs de 2 l, en présence d'acide benzoïque (1,25 mM), d'acide humique (1 g/l), et dans le témoin, respectivement

L'acide benzoïque n'a pas été détecté par la méthode CLHP et la colonne utilisées. L'éventuelle production des acides organiques à courte chaîne comme le propionate, l'acétate et le butyrate a été également recherchée. Aucun de ces acides n'a été détecté.

L'assimilation du g dextrose a été vérifiée. Les résultats montrent qu'après 72 à 80 h de fermentation en présence d'acide benzoïque, d'acide humique et dans le milieu témoin, que la consommation de dextrose est très réduite, bien que les valeurs de biomasse soient de l'ordre de 6,54 à 8,54 g/l. Une légère consommation de dextrose est observée après 96 h de fermentation. Les concentrations de dextrose après 216 h de fermentation sont de 17,1, de 9,12 et de 8 g/l en présence d'acide benzoïque, d'acide humique et dans le milieu témoin, respectivement.

Au vu des résultats il n'y a pas ou peu de consommation de dextrose dans le milieu de culture, malgré l'enregistrement des valeurs de biomasse de l'ordre de 5,97 à 8,90 g/l entre 32 et 52 h. Afin de vérifier les résultats obtenus par CLHP, il est quantifié le dextrose par une autre méthode enzymatique (l'YSI). Les résultats acquis par cette méthode confirment ceux obtenus par CLHP.

3. - Discussion

La formation de la biomasse est soumise à la régulation par des mécanismes dus au métabolisme des sources de carbone, d'azote et de phosphate: induction et répression de la biosynthèse, rétro-inhibition et inactivation enzymatique [15].

Malgré des conditions de préculture standardisées, des différences de valeurs de biomasse et de vitesses de croissance ont été observés. Ces différences pourraient être dues à la variabilité de l'état physiologique de l'inoculum lié à la préparation des précultures et à la particularité de différenciation de certains genres bactériens comme le genre *Saccharothrix*. Lors d'une culture de microorganisme, le fermenteur représente un lieu de transformations biochimiques, énergétiques et rhéologiques très complexes.

L'assimilation de certains acides organiques (gras ou non) ajoutés dans le milieu de fermentation, modifie significativement la formation des cellules (biomasse). Il a été prouvé que l'ajout d'un acide organique (méthyl-oléique) modifie la composition lipidique de la membrane cytoplasmique chez *Streptomyces hygroscopicus* [16]. Il est possible que le benzoate entraîne une modification de la composition de la membrane plasmique et évite la lyse cellulaire (déclin).

Les résultats, concernant les valeurs obtenues de la biomasse, montrent que les éléments nutritifs de l'extrait de levure peuvent jouer un rôle primordial dans la formation de la biomasse chez *Saccharothrix algeriensis*.

References

- [1].- Holt J. G., Krieg N. R., Sneath P. H. A., Staley J. T., Williams S. T., 1994.- Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Williams et Wilkins, Baltimore, USA, 754 p.

- [2].- Sophie M., 2012.- Evolution des resistances bacteriennes et relation avec la consommation d'antibiotiques. Doctorat en pharmacie, Université de Lille 2, Lille, 207 p.
- [3].- Voelker F., Altaba S., 2001.- Nitrogen source governs the patterns of growth and pristinamycin production in *Streptomyces pristinaespiralis*. *Microbiology*, 147: 2447–2459.
- [4].- Lamari L., Zitouni A., Boudjella H., Badji B., Sabaou N., Lebrihi A., Lefebvre G., Seguin E., Tillequin F., 2002.- New dithiopyrrolone antibiotics from *Saccharothrix* sp. SA 233. I. Taxonomy, production, isolation and biological properties. *Journal of Antibiotics*, 55: 696–701.
- [5].- Lamari L., Zitouni A., Dob T., Sabaou N., Lebrihi A., Germain P., Seguin E., Tillequin F., 2002.- New dithiopyrrolone antibiotics from *Saccharothrix* sp. SA 233. II. Physicochemical properties and structure elucidation. *Journal of Antibiotics*, 55: 702–707.
- [6].- Minamiguchi K., Kumagai H., Maduda T., Kawada M., Ishizuka M., Takeuchi T., 2001.- Thiolutin, an inhibitor of huvec adhesion to vitronectin, reduces paxillin in huvecs and suppresses tumor cell-induced angiogenesis. *International Journal of Cancer*, 93: 307–316.
- [7].- Oliva B., O'neill A., Wilson J. M., O'hanlon P. J., Chopra I., 2001.- Antimicrobial properties and mode of action of the pyrrothine holomycin. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 45: 532–539.
- [8].- Webster J. M., Li J., Chen G. 2000.- Anticancer property of dithiopyrrolones. U.S. Patent 6020360, 1-4.
- [9].- Bouras N., 2005.- Régulation de la production d'antibiotiques dithiopyrrolones chez *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137. Thèse (Ph.D), Institut National Polytechnique, ENSAT-INP, Toulouse, 238 p.
- [10].- Bouras N., Mathieu F., Sabaou N., Lebrihi A., 2007.- Influence on dithiopyrrolone antibiotic production by organic acids in *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137. *Process Biochemistry*, 42: 925–935.
- [11].- Bouras N., Merrouche R, Lamari L, Mathieu F., Sabaou N., Lebrihi A., 2008.- Precursor-directed biosynthesis of new dithiopyrrolone analogs by *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137. *Process Biochemistry*, 43: 1244–1252.
- [12].- Bouras N., Mathieu F., Sabaou N., Lebrihi A., 2006a.- Effect of amino acids containing sulfur on dithiopyrrolone antibiotic productions by *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137. *Journal of Applied Microbiology*, 100: 390–397.
- [13].- Bouras N., Mathieu F., Sabaou N., Lebrihi A., 2006b.- Nutritional requirements for the production of dithiopyrrolone antibiotics by *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137. *Enzyme and Microbial Technology*, 100: 1423–1429.

- [14].- Pfefferle C., Theobald U., Gürtler H., Fiedler H-P., 2000.- Improved secondary metabolite production in the genus *Streptosporangium* by optimization of the fermentation conditions. *Journal of Biotechnology*, 80: 135–142.
- [15].- Martín J. F., Demain A. L., 1980.- Control of antibiotic biosynthesis. *Microbiological Reviews*, 44: 230–251.
- [16].- David L., Loutheiller H., Bauchart O., Auboiron S., Asselineau J. 1992.- Effects of exogenous methyl oleate on the biosynthesis of nigericin, a polyether carboxylic antibiotic, by *Streptomyces hygroscopicus* NRRL B-1865. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 56: 330–339.

COMPORTEMENT AGRONOMIQUE HORS SOL DES PLANTS DE TOMATE SUR SUBSTRATS DE CULTURE À BASE DE TOURBE EN MÉLANGE AVEC COMPOST SYLVICOLE

BEMBLI Houda, M'SADAK Youssef*

Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, Tunisie

E-mail: msadak.youssef@yahoo.fr

(Received 28 March 2017 - Accepted 04 May 2017)

Résumé.- Dans le but d'évaluer la qualité agronomique du compost à base de broyat d'*Acacia cyanophylla* pour la production des plants maraîchers, des mélanges à base de Tourbe (SA) et du Compost Sylvicole Criblé (CSC) selon deux maturités différentes (C1 et C2) et à différentes proportions ont été réalisés, pour produire des plants de Tomate (*Lycopersicon esculentum*), tout en recherchant le ratio à incorporer. Le suivi a porté sur les comportements germinatif et végétatif (Croissance en hauteur) des plants de Tomate, installés sur divers mélanges Tourbe + CSC. Les substrats de culture obtenus ont montré des meilleurs résultats sur le plan agronomique. L'incorporation du CSC avec la Tourbe a un effet positif remarquable sur la germination, et par suite, sur la croissance des plants, en termes de hauteur. Dans l'ensemble, la substitution partielle de la Tourbe, à raison de 20 à 40%, voire 50% de compost sylvicole criblé (d'une maturité dépassant 6 mois) a révélé des résultats encourageants. La poursuite des expérimentations s'avère nécessaire pour évaluer l'évolution temporelle, en cours de culture, des caractères physico-chimiques des substrats et le comportement agronomique des plants maraîchers, afin de confirmer ou d'infirmer les résultats obtenus.

Mots clés : Tourbe, Compost Sylvicole, Mélange, Comportements Germinatif et Végétatif, Plants de Tomate.

AGRONOMIC BEHAVIOR OF TOMATO PLANTS ABOVE GROUND ON DIFFERENT SUBSTRATE MADE FROM PEAT MIXED WITH SILVICULTURAL COMPOST

Abstract.- To evaluate the agronomic quality of compost based of *Acacia cyanophylla* ground wood for the production of vegetable seedlings, mixtures based on Peat (SA) and screened forest compost (CSC), at two different maturities (C1 and C2) and at different proportions were realized, to produce tomato plants (*Lycopersicon esculentum*), while looking for the ratio to be incorporated. The follow-up examined the germinative and vegetative behaviors (Growth in height) of tomato plants installed on various Peat + CSC mixtures. The resulting culture substrates showed better agronomic results. The incorporation of CSC with peat has a remarkable positive effect on germination, and consequently on plant growth, in terms of height. Overall, the partial substitution of peat for 20-40% or even 50% of screened forest compost (with a maturity exceeding 6 months) revealed encouraging results. Further experiments are needed to evaluate the temporal evolution of the physicochemical characteristics of the substrates and the agronomic behavior of the vegetable growing plants in order to confirm or infirm the results obtained.

Key words: Peat, Forest Compost, Mixing, Germinative and Vegetative Behaviors, Tomato Plants.

Introduction

La qualité des plants produits hors sol est un critère primordial pour la réussite de la poursuite de la production en pleine terre. En effet, les plants issus de la pépinière doivent avoir des caractères végétatifs optimaux, afin de bien poursuivre leur croissance à la parcelle [1]. Le substrat de culture est un facteur de modulation très important de

l'environnement physico-chimique racinaire, pouvant créer des exigences plus ou moins convenables à la croissance et à l'alimentation des plants maraîchers [2]. La Tourbe constitue le substrat par excellence pour la production des plants en pépinière maraîchère hors sol. Mais, malgré l'importance de la réserve mondiale de la Tourbe, sa constitution est très lente, de 0,6 à 1,2 mm par an, et son extraction est de plus en plus réduite, ce qui explique que cette ressource est limitée [3, 4], d'autant plus, son importance pour l'environnement est fortement recherchée dans le maintien de la biodiversité [5].

Face à ce constat, quelques orientations méritent d'être discutées. Il serait nécessaire de développer la recherche de produits alternatifs et d'inciter à l'emploi des produits de substitution partielle, qui sans perdre les avantages de la Tourbe (considérée comme le substrat de référence pour la production hors sol des plants), permettent d'en limiter les quantités employées [6].

Le compostage des résidus organiques est une alternative qui permet également de valoriser cette biomasse. Ce processus résout certains problèmes associés à l'utilisation de résidus comme amendements ; il élimine, entre autres, les odeurs et les pathogènes [7]. De plus, le compostage augmente la disponibilité des éléments minéraux et améliore les caractéristiques physico-chimiques des résidus [8]. En outre, pour garantir une production de plants de qualité, les propriétés physico-chimiques du compost utilisé comme substrat de culture devront être satisfaisantes [9,10], base nécessaire pour favoriser le bon démarrage de la croissance des plants. A ce propos, les substrats de croissance doivent être poreux, répondant aussi aux normes physico-chimiques minimales [11,12].

Plusieurs recherches ont montré que les composts, produits à partir de divers ressources organiques (fumiers d'animaux, écorces de pin, déchets verts) ont des effets bénéfiques chez les systèmes de production en pépinières [13] et pourraient ainsi servir comme un substitut partiel de la Tourbe dans la confection des substrats de culture [14, 15], afin de réduire les coûts de production des substrats, et tout en respectant les normes d'une agriculture durable [16]. C'est ainsi que de nombreuses études récentes ont mis l'accent sur le compostage des divers matériaux organiques disponibles localement [17]. Par ailleurs, d'autres travaux ont dévoilé des gains de croissance susceptibles d'être obtenus en pépinières maraîchères par optimisation physico-chimique du substrat et de la fertilisation [18-21].

L'objet de cette étude expérimentale consiste à évaluer le comportement agronomique des plants de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.), notamment de point de vue germination et croissance en hauteur, installés sur divers substrats de croissance à base de mélanges Tourbe + Compost Sylvicole Criblé (CSC), tout en visant le ratio optimal à appliquer (Caractérisation indirecte des substrats). La caractérisation directe (Évaluation physico-chimique), a fait l'objet d'un autre article soumis ailleurs, pour publication ultérieure.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Matériel végétal

Les semences de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.), ont été utilisées pour étudier la réponse des plants produits installés sur différents substrats. Cette espèce maraîchère appartient à l'ordre des Malvales de la famille des Malvaceae. La variété utilisée des semences est Riogrande Standards.

1.2.- Substrats de croissance mis à l'essai

1.2.1.- Substrats purs

Tourbe brune

La Tourbe, utilisée comme substrat témoin lors de cette étude, est de la Tourbe brune de marque KLASMANN.

Compost sylvicole

Le Compost sylvicole adopté dans l'expérimentation mise en œuvre est à base de branches fraîches broyées d'*Acacia cyanophylla*, criblé à la Maille (10 x 10) mm², dénommé CSC, produit dans la pépinière forestière moderne (Chott-Mariem, Sousse, Tunisie). Le broyage des branches sylvicoles (de diamètre inférieur à 8 cm) a été effectué successivement par deux broyeurs, l'un à couteaux, assurant un premier broyage sur le lieu d'approvisionnement en donnant un broyat grossier, et l'autre à marteaux avec grille de calibrage à trous ronds de diamètre 30 mm, garantissant un second broyage en pépinière en générant un broyat fin.

1.2.2.- Substrats en mélange

Pour évaluer le comportement végétatif des plants, dix plaques alvéolées (de 104 alvéoles chacune) ont été remplies manuellement par dix substrats (dont huit issus de mélanges élaborés). Les substrats de croissance mis à l'essai sont confectionnés en incorporant avec le substrat de référence (Tourbe), l'un des deux composts sylvicoles criblés à maturité différente (le premier C1 possède 9 mois et le deuxième C2 a 15 mois). Les mélanges testés ont été répartis en deux séries (tab. I).

Tableau I.- Identification et composition de mélanges confectionnés

Essai 1 : Mélanges T + C1			Essai 2 : Mélanges T + C2		
Substrat	% T	% C1	Substrat	% T	% C2
SA	100	00	SA	100	00
SB1	80	20	SB2	80	20
SC1	70	30	SC2	70	30
SD1	60	40	SD2	60	40
SE1	50	50	SE2	50	50

1.3.- Évaluation indirecte des substrats de culture

1.3.1.- Méthodologie d'évaluation et dispositifs expérimentaux mis en place

Deux expérimentations agronomiques ont été mises en place dans une serre vitrée. L'essai I s'est basé sur une substitution partielle de la Tourbe par le CSC le moins mûr (9 mois, dénommé C1) dans la confection des substrats pour la production hors sol des plants de Tomate, alors que l'essai II a concerné une substitution partielle de la Tourbe par le CSC le plus mûr (15 mois, dénommé C2) dans la confection des substrats de culture hors

sol des plants de Tomate.

Le dispositif expérimental adopté lors des deux essais réalisés est le dispositif Blocs Aléatoires Complets (BAC) avec un seul facteur étudié (substrat de culture) et un seul facteur contrôlé (3 blocs). La disposition des substrats est mentionnée sur les Figures 1 et 2.

Bloc 1	SA	SD1	SE1	SB1	SC1
Bloc 2	SE1	SC1	SA	SD1	SB1
Bloc 3	SD1	SB1	SC1	SA	SE1

Figure 1.- Dispositif expérimental adopté lors de l'Essai I

Bloc 1	SA	SD2	SE2	SB2	SC2
Bloc 2	SE2	SC2	SA	SD2	SB2
Bloc 3	SD2	SB2	SC2	SA	SE2

Figure 2.- Dispositif expérimental adopté lors de l'Essai II

1.3.2.- Paramètres d'évaluation morphologique

Au cours de ce travail, l'évaluation indirecte a été basée sur la détermination du pourcentage cumulé de germination de semences de Tomate sur chaque substrat après une semaine de semis et sur le suivi de l'évolution de la partie aérienne des plants.

1.3.3.- Suivi de la germination des semences

La levée des plants ou bien germination des graines est une observation qui consiste à un comptage des plants levés ou graines germées. Le suivi permet de déterminer le taux de germination et la vitesse de la levée. Au niveau de chaque bloc, le % des plants levés est calculé par rapport au nombre de graines de départ (26 alvéoles ou graines/bloc). Le pourcentage de germination correspond à la moyenne de trois blocs (au total, 78 alvéoles par substrat).

1.3.4.- Suivi de la croissance des plants en hauteur

L'évaluation de l'impact des différentes combinaisons de la Tourbe avec le CSC sur la croissance des plants, a été effectuée 14 jours après la date de semis. Elle a été basée sur l'étude des paramètres morphologiques des plants, particulièrement, l'accroissement des plants en hauteur (mesure de la partie aérienne). Le suivi de l'évolution de la hauteur, a été accompli, à intervalles de quatre jours, en ayant recours à des mesures, depuis le collet jusqu'au bourgeon apical, à l'aide d'une règle. Lors de chaque Suivi et pour chaque Bloc, on a effectué des mesures selon un échantillonnage systématique non destructif. En effet, au niveau de chaque Bloc, on a choisi 6 Plants homogènes : 6 Plants x 3 Blocs = 18 Plants/Substrat, soit 90 plants de Tomate/Suivi/Essai.

1.3.5.- Ajustement de la courbe de croissance des plants

L'évolution de la croissance au cours du temps peut être expliquée par des courbes de croissance, qu'il est utile de réduire à des modèles mathématiques simples, permettant de dégager des paramètres servant pour comparaisons. Usuellement, les courbes

représentatives de la longueur de la tige des plants sont des courbes linéaires. L'établissement des courbes de croissance a été réalisé, à l'aide du logiciel « EXCEL, version 2007 ».

Si l'on néglige les variations de détails, les courbes de croissance peuvent être décrites par un modèle simple, qui conduit à des formules mathématiques commodes facilitant les comparaisons entre les divers matériels ou conditions expérimentales influençant la croissance. Particulièrement, l'évolution de la croissance en hauteur (y) est ajustée par un modèle linéaire ayant l'équation suivante :

$$Y = A x + B$$

Pour chaque essai, on a testé la variation de différents paramètres de cette équation suivant le facteur étudié (substrat de croissance) dans chaque essai.

1.3.6.- Analyse statique des résultats relevés

Les données acquises pour chaque paramètre (germination, croissance en hauteur des plants) ont été dépouillées, en utilisant le logiciel statistique « SPSS.20 ». L'interprétation fait appel respectivement à l'analyse de la variance (ANOVA) et à la comparaison des moyennes de différents types de traitement (Test Duncan), tout en recherchant là où les moyennes sont considérées comme étant égales. Si au contraire, il y a une différence significative, le test Duncan permet de compléter l'interprétation et d'identifier les groupes de moyennes homogènes.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Comportement germinatif comparé des semences de Tomate sur T + C1 ou C2

L'incidence de l'incorporation partielle du CSC dans la confection des substrats de culture peut être déduite à partir de la Figure 3 illustrant le comportement germinatif comparé des semences de Tomate sur T + C1 ou C2.

Les résultats moyens relevés de la germination des semences de Tomate, installées sur les divers substrats le long de la période du suivi, montrent que les mélanges confectionnés présentent une évolution remarquable et très élevée au cours du temps analogue à celle relevée pour la Tourbe. Le taux élevé de la germination est l'un des critères de qualité des substrats de culture, si la faculté germinative est adéquate.

Par voie de comparaison entre les mélanges T + C1 et les mélanges T + C2, il paraît que les substrats confectionnés avec C2 dévoilent les taux de germination les plus importants atteignant 98% (fig. 3), à l'exception des deux substrats SB1 et SB2, qui présentent un taux quasiment semblable.

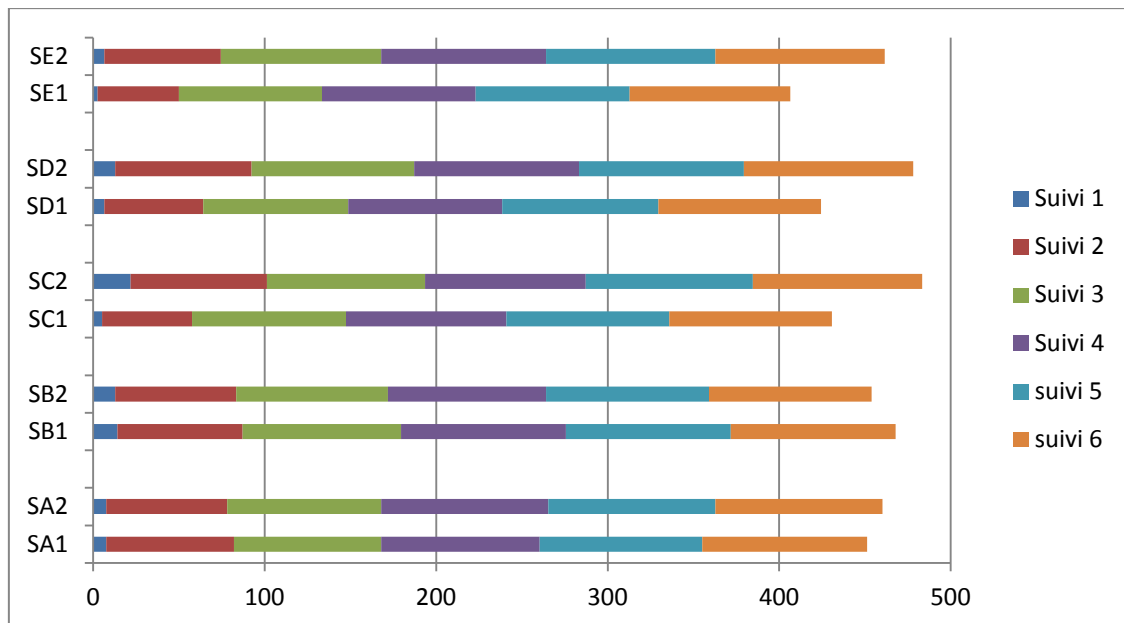


Figure 3.- Comportement germinatif comparé des semences de Tomate sur T + C1 ou C2

Le pourcentage cumulé de germination des semences de Tomate, sur différents substrats testés, a constitué un bon critère d'évaluation. En effet, la variation de la composition du mélange élaboré a un effet considérable sur la germination des semences de Tomate.

La maturité d'un compost, appréciée selon différentes méthodes, entre autres, chimiques basées sur la détermination de la teneur en Matière Organique selon MUSTIN (1987) [22] et LARBI (2006) [23], est le plus souvent associée à la germination et la croissance des plants incluant la phytotoxicité, l'immobilisation de l'azote et l'équilibre des nutriments [24,25]. Les faibles taux de germination peuvent être expliqués, en conséquence, par la présence de substances toxiques qui inhibent la germination des semences de Tomate [26,27,15]. En effet, et par comparaison avec la Tourbe, les substrats SC1, SD1, SE1 et SE2 ont enregistré des très faibles taux de germination surtout pour le premier suivi réalisé. Ce retard s'est réduit considérablement à partir du deuxième suivi.

2.2.- Comportement végétatif comparé des plants de Tomate sur T + C1 ou C2

La hauteur des plants, exprimée en cm, constitue un bon indicateur de la capacité photosynthétique et de la surface de transpiration [28,29]. Le comportement des plants s'est dévoilé variable d'un arrosage à l'autre et d'une observation de croissance à l'autre.

La Figure 4 illustre l'évolution de la hauteur des plants de Tomate sur les différents mélanges T + C1 et T + C2, au cours d'une quarantaine de jours après semis. D'après cette Figure, on constate que les plants de Tomate cultivés sur SC2 s'allongent moins que les plants cultivés sur SC1. Par contre, les plants cultivés sur les substrats SB1 et SE1 s'allongent moins que les plants cultivés sur SB2 et SE2. La différence a été notée pour les deux premiers suivis. En contre partie, l'écart est devenu remarquable pour les trois derniers suivis et la différence observée peut être liée, entre autres, aux propriétés physiques et chimiques de chaque substrat étudié. Pour les substrats SD1 et SD2, il convient de noter que les plants montrent une légère différence de croissance en hauteur entre eux.

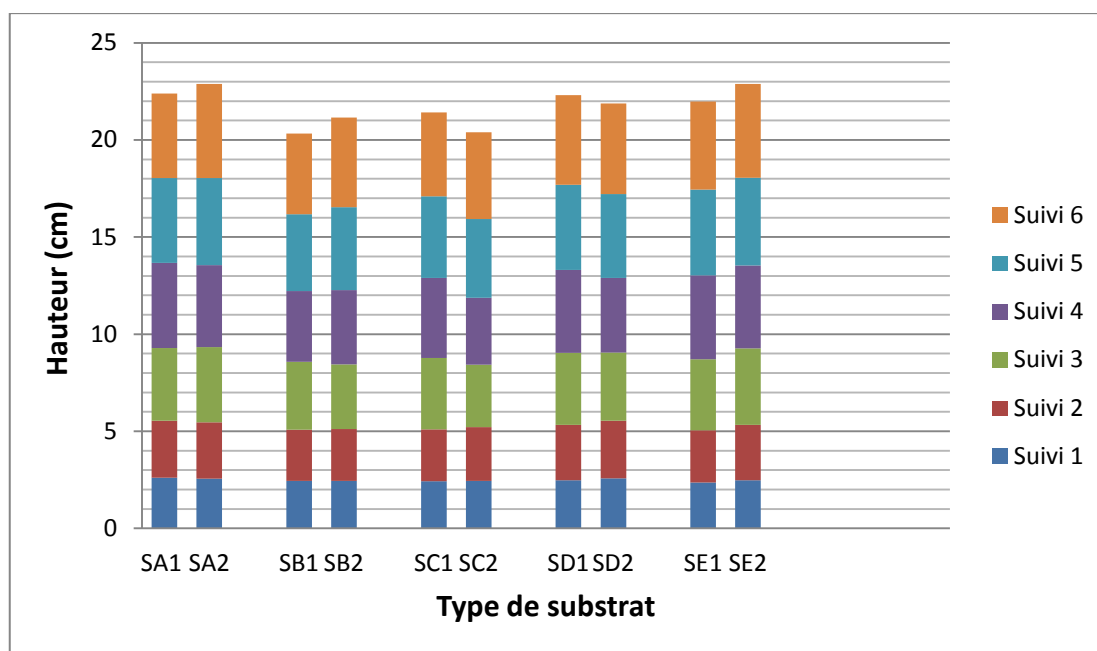


Figure 4.- Comportement végétatif comparé des plants de Tomate sur T + C1 ou C2

Les résultats obtenus constituent des données préliminaires sur l'utilisation de Compost Sylvicole en culture hors sol pour la production des plants de Tomate. Aussi, la méthodologie utilisée pour la caractérisation morphologique des plants a touché la germination des semences de Tomate et la hauteur des plants, considérés parmi les variables de prédiction de la performance des semis en pépinière [6]. Dans l'avenir, il convient d'évaluer aussi le nombre des feuilles par plant au cours du temps [21].

2.3.- Résultats de l'ajustement linéaire (Essai I)

Les résultats de l'ajustement de la croissance en hauteur des plants installés lors de cet essai sont exposés ci-après (tab. II).

Tableau II.- Paramètres de la courbe de croissance linéaire des plants de Tomate (T + C1)

	R^2	X	Y
SA1	0,917	0,863	0,132
SB1	0,936	0,802	0,120
SC1	0,886	0,601	0,138
SD1	0,931	0,464	0,151
SE1	0,901	0,244	0,159

La courbe d'ajustement, présentée sur la figure 5, est relative au cas des plants de Tomate installés sur SB1 ayant la meilleure qualité d'ajustement (R^2 le plus élevé), en comparaison avec celle relative à la Tourbe (SA1).

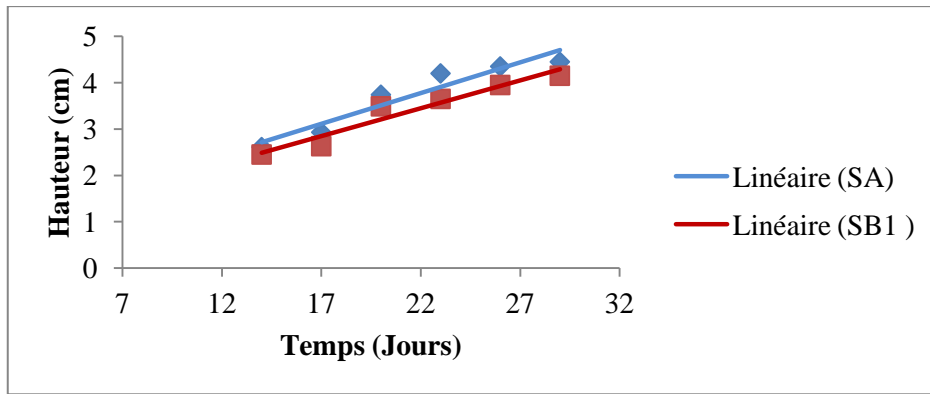


Figure 5.- Ajustement linéaire de la croissance moyenne des plants de Tomate sur la Tourbe et sur le mélange (T + C1) approprié

2.4.- Résultats de l'ajustement linéaire (Essai II)

Les résultats de l'ajustement de la croissance en hauteur des plants installés lors de cet essai sont présentés ci-après (tab. III).

Tableau III.- Paramètres de la courbe de croissance linéaire des plants de Tomate (T + C2)

	R^2	X	Y
SA2	0,954	0,426	0,157
SB2	0,988	0,222	0,153
SC2	0,987	0,492	0,135
SD2	0,996	0,608	0,141
SE2	0,936	0,936	0,162

La qualité de l'ajustement est meilleure dans le cas des plants installés sur le substrat SD2 (R^2 le plus élevé) ayant pour courbe d'ajustement celle dévoilée par la Figure 6, comparativement avec celle relative à la Tourbe (SA2).

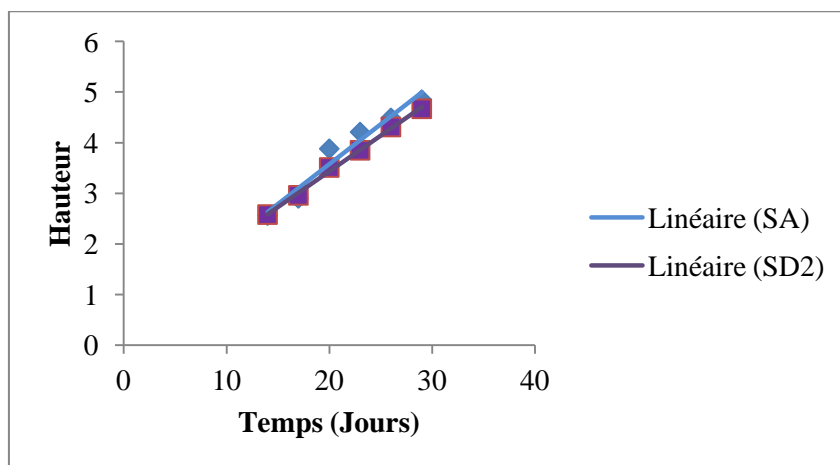


Figure 6.- Ajustement linéaire de la croissance moyenne des plants de Tomate sur la Tourbe et sur le mélange (T + C2) approprié

2.5.- Analyse statistique des résultats relevés

2.5.1.- Taux de germination des semences

Le tableau. IV résume, pour chaque substrat considéré, le taux cumulé de germination.

D'après les résultats obtenus, une différence significative a été enregistrée au niveau du deuxième suivi concernant le taux cumulé de germination pour les cinq substrats de culture testés pour l'Essai I. Pour l'Essai II, et d'après les résultats relevés du tab. IV, aucune différence significative n'a été enregistrée entre les cinq substrats considérés durant les six suivis mis en œuvre.

Tableau IV.- Analyse statistique du taux cumulé de germination (%) des semences de Tomate sur T + C1 ou C2 (Essais I et II)

	Substrat	Suivi 1	Suivi 2	Suivi 3	Suivi 4	Suivi 5	Suivi 6
Essai I	SA	7,68 ^{a*}	74,35 ^b	85,89 ^a	92,30 ^a	94,87 ^a	96,15 ^a
	SB1	14,09 ^a	73,07 ^b	92,25 ^a	96,15 ^a	96,15 ^a	96,15 ^a
	SC1	5,12 ^a	52,56 ^{ab**}	89,74 ^a	92,30 ^a	96,15 ^a	97,43 ^a
	SD1	6,40 ^a	57,68 ^{ab}	84,61 ^a	89,73 ^a	91,02 ^a	94,87 ^a
	SE1	2,56 ^a	45,10 ^a	80,99 ^a	89,84 ^a	89,84 ^a	93,58 ^a
Essai II	SA	7,68 ^{a*}	70,51 ^a	89,74 ^a	97,43 ^a	97,43 ^a	97,43 ^a
	SB2	12,81 ^a	70,51 ^a	88,74 ^a	92,30 ^a	94,87 ^a	94,87 ^a
	SC2	21,80 ^a	79,48 ^a	92,30 ^a	93,58 ^a	97,43 ^a	98,71 ^a
	SD2	12,81 ^a	79,48 ^a	94,87 ^a	94,87 ^a	94,87 ^a	98,71 ^a
	SE2	6,40 ^a	67,94 ^a	93,58 ^a	94,87 ^a	97,43 ^a	97,43 ^a

(*) Les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement selon le test Duncan au seuil de 5%.

(**) Les moyennes suivies de lettres différentes indiquent la présence de différences significatives entre les substrats au seuil de 5% selon le test de Duncan.

2.5.2.- Croissance en hauteur des plants

Pour les mesures de la croissance en hauteur des plants de Tomate sur T + C1 et T + C2, le tab. V illustre pour chaque substrat considéré la moyenne de la hauteur relevée, tout en précisant la signification statistique correspondante.

Les résultats acquis permettent de faire ressortir les constatations suivantes :

* Aucune différence significative n'a été observée entre les cinq substrats de culture testés pour les mesures de l'Essai I concernant la hauteur de la partie aérienne.

* Une différence, certes significative, mais très faible, est enregistrée entre les cinq substrats de culture testés pour les mesures 4 de l'Essai II, de point de vue de la hauteur de la partie aérienne.

Tableau V.- Analyse statistique de la hauteur des plants de Tomate sur T + C1 ou C2 (Essais I et II)

	Substrat	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4	Mesure 5	Mesure 6
Essai I	SA	2,61 ^{a*}	2,93 ^a	3,74 ^a	4,34 ^a	4,45 ^a	4,65 ^a
	SB1	2,44 ^a	2,63 ^a	3,49 ^a	3,95 ^a	4,15 ^a	4,58 ^a
	SC1	2,58 ^a	2,68 ^a	3,67 ^a	4,13 ^a	4,32 ^a	4,44 ^a

	SD1	2,48 ^a	2,84 ^a	3,70 ^a	4,14 ^a	4,32 ^a	4,44 ^a
	SE1	2,36 ^a	2,93 ^a	3,65 ^a	4,38 ^a	4,52 ^a	4,68 ^a
Essai II	SA	2,55 ^{a*}	2,90 ^a	3,88 ^a	4,21 ^{ab**}	4,49 ^a	4,85 ^a
	SB2	2,45 ^a	2,86 ^a	3,57 ^a	3,82 ^{ab}	4,26 ^a	4,62 ^a
	SC2	2,45 ^a	2,76 ^a	3,37 ^a	3,65 ^a	4,04 ^a	4,47 ^a
	SD2	2,58 ^a	2,96 ^a	3,50 ^a	3,85 ^{ab}	4,31 ^a	4,67 ^a
	SE2	2,46 ^a	2,86 ^a	3,93 ^a	4,26 ^b	4,53 ^a	4,82 ^a

(*) Les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement selon le test Duncan au seuil de 5%.

(**) Les moyennes suivies de lettres différentes indiquent la présence de différences significatives entre les substrats au seuil de 5% selon le test de Duncan.

2.6.- Discussion des résultats germinatifs et végétatifs

Dans l'ensemble, les résultats obtenus lors des essais I et II, concernant la comparaison des taux de germination cumulés des semences de Tomate sur T + C1 et T + C2, ont présenté une différence notable entre les divers substrats. De même, du point de vue des allongements moyens de la partie aérienne des plants de Tomate, les valeurs enregistrées montrent, une différence, certes significative, mais non notable, entre les divers substrats de culture testés.

De manière générale, les résultats des essais de germination sur les différents substrats de culture hors sol ont révélé que les pourcentages de germination des semences de Tomate sont très importants au niveau des deux essais mis en œuvre. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par M'SADAK *et al.* [6] qui ont montré l'importance de la production et de la croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisat de compost dans une pépinière hors sol. Par ailleurs, les taux cumulés de germination ont dévoilé une différence significative dans certains cas et non significative dans d'autres cas, suivant le ratio du compost sylvicole incorporé. En effet, lorsque l'on compare le taux de germination cumulé obtenu sur les divers substrats confectionnés, on constate que ce taux a atteint des valeurs maximales très proches de la valeur Témoin (Tourbe) ; comprises dans l'intervalle [93,6 - 98,7%]. Aussi, selon M'SADAK *et al.* [6], le Compost Sylvicole Brut (CSB) montre un bon résultat de point de vue production des plants maraîchers de qualité, en mélange avec la Tourbe et le Méthacompost Avicole (MCA) (80% Tourbe + 10% MCA + 10% CSB). Un bon substrat de culture devrait avoir un ensemble de propriétés physiques et chimiques qui conditionne une bonne et rapide croissance des plants [30]. Par ailleurs, la procédure de criblage du compost sylvicole a une influence significative sur son indice de maturité ainsi que sur ses caractéristiques physico-chimiques [31].

L'étude entreprise, bien que ponctuelle, permet d'envisager la possibilité d'une substitution partielle de la Tourbe (Témoin) par le compost Sylvicole Criblé dont l'effet sur la germination et la croissance en hauteur sont approximativement équivalents à celui du Témoin. Cependant, ces résultats ne sont valables que pour la Tomate sur substrat à base de Tourbe en mélange avec le Compost Sylvicole en pépinière maraîchère hors sol. Des études supplémentaires devraient être menées, entre autres, pour déterminer l'effet du Compost Sylvicole notamment sur la croissance et le développement des plants de Tomate, voire, d'autres espèces maraîchères.

Conclusion

Les pépinières horticoles modernes installées ces dernières années en Tunisie, se sont orientées, à titre expérimental, vers la substitution partielle de la Tourbe (Substrat de référence) par le Compost Sylvicole Criblé (CSC), produit localement en pépinière forestière, à partir du broyat des branches d'Acacia, dans la confection des substrats de croissance des plants. Cette étude a été limitée à une évaluation indirecte des substrats de culture, à travers le suivi des paramètres de germination et de croissance des plants de Tomate, cultivés en hors sol sur divers substrats confectionnés (Tourbe + CSC).

D'après l'expérimentation entreprise, les substrats issus d'un mélange Tourbe et Compost Sylvicole Criblé peuvent être considérés, en grande partie, comme les meilleurs de point de vue paramètres germinatifs et végétatifs (Germination et croissance en hauteur) des plants de Tomate produits. En tenant compte de l'ensemble des résultats acquis dans le contexte expérimental considéré, le compost sylvicole pourrait constituer partiellement un substrat alternatif à la Tourbe. Il suffit de bien adapter le ratio de mélange. Cette ressource organique pourrait être incorporée, à raison de 20 à 40%, voire 50% avec la Tourbe, tout en respectant une bonne maturité (à apprécier par Biotest de germination) et un choix convenable de la maille de criblage, en vue de garantir l'élimination des grosses particules et l'ajustement adéquat de la granulométrie, paramètre agissant sur la porosité (à apprécier par Test standard).

Comme perspectives d'avenir, il convient de poursuivre les investigations, en vue de réaffirmer ou de contester les acquis relevés. Ultérieurement, le suivi physico-chimique des substrats de croissance, en cours de culture, s'avère indispensable pour une meilleure appréciation de la qualité et de la stabilité temporelle des substrats à tester.

Références bibliographiques

- [1].- M'Sadak Y., Elouaer M. A., Dhahri M., 2012.- Croissance comparée des plantes de gombo en culture de pleine terre selon les modes semis direct et repiquage, Algerian Journal of Arid Environment, vol. 2, N°2: 62-70.
- [2].- M'Sadak Y., Ben M'Barek A., 2013.- Caractérisation qualitative du digestat solide de la Biométhanisation industrielle des fientes avicoles et alternative de son exploitation agronomique hors sol, Revue des Energies Renouvelables, vol. 16, N°1: 33-42.
- [3].- Morel J. L., Colin F., Germon J. C., Godin P., Juste C., 1985.- Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse Composting of Agricultural and Other Wastes, In: J.K.R: Gasser (Ed.), Composting of Agricultural and other Wastes, Elsevier Applied Science Publishers, London, 56-72.
- [4].- Gauthier F., Gagnon S., Dansereau B., 1998.- Incorporation de Résidus Organiques dans un Substrat Tourbeux pour la Production d'Impatiens et de Géranium, Canadian Journal of Plant Science, vol. 78: 131-138.
- [5].- Fenner N., Ostle N. J., Mcnamara N., Sparks T., Harmens H., Reynolds B., Freeman C., 2007.- Elevated CO₂ effects on peat lands plant community carbon dynamics and DOC production, Ecosystems 10: 635-647.

- [6].- M'Sadak Y., Hamdi W., Zaalani Ch., 2013a.- Production et croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisat de compost dans une pépinière hors sol (Tunisie), *Revue Agriculture Sétif (RAS)*, N°6: 29-34.
- [7].- Parr, J. F., Willson G. B., 1980.- Recycling organic wastes to improve soil productivity. *HortScience* 15: 162-166.
- [8].- Vega-Sanchez F. E., Gouin F. R., Willson G. B., 1987.- Effects of curing time on physical and chemical properties of composted sewage sludge and on the growth of selected bedding plants. *J. Environ. Hortic.* 5: 66-70.
- [9].- Landis T. D., 1990.- Growing media. In: *Containers and growing media*, vol. 2 Agriculture-Handbook 674, Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 41-85.
- [10].- Alsanius B., Jensen P., 2004.- Asp H. (Ed.), *Proceedings of the International Symposium on Growing Media and Hydroponics*. Louvain, Belgique, International Society for Horticultural Science, *Acta Horticulturae* 64, 644 p.
- [11].- Yeager T. H., Fare D. C., Lea-Cox J., Ruter J., Bilderback T.E., Gilliam C.H., Niemiera A. X., Warren S. L., Whitwell T.E., Wright R.D. and Tilt K.M., 2007.- *Best management practices: guide for producing container-grown plants*, 2nd Ed., Southern Nurserymen's Assoc, Marietta, GA, 69 p.
- [12].- WRAP, Waste and Resources Action Programme, 2013.- *The Retailers' Guide to Reducing Peat in Growing Media*, 16th July. 2013, UK, 24 p.
- [13].- Kahn B. A., Hyde J. K., Cole J. C., Stoffella P. J. and Graetz D. A., 2005.- Replacement of a Peat-Lite Medium with Compost for Cauliflower Transplant Production, *Compost Science and Utilization*, vol. 13: 175-179.
- [14].- Van Der Gaag D. J., van Noort F. R., Stapel-Cuijpers L. H. M., Kreij C., Termorshuizen A. J., van Rijn E., Zmora-Nahum S., Chen Y., 2007.- The Use of Green Waste Compost in Peat-Base Potting Mixtures: Fertilization and Suppressiveness Against Soilborne Diseases. *Scientia Horticulturae*, vol. 114, N°4: 289-297.
- [15].- M'Sadak Y., Ben M'barek A., 2015a.- Valorization agricultural of a solid digestate avicolous resulting from the industrial Biomethanisation in Tunisia, *J Fundam Appl Sci.*, vol. 7, N°3: 298-321.
- [16].- Hoitink H.A.J., Stone A.G., Han D.Y., 1997.- Suppression of Plant Diseases by Composts, *HortScience*, vol. 32, N°2: 184-187,
- [17].- Abad M, Noguera P, Bure´S S. 2001.- National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain, *Bioresource Technology*, 77: 197-200.
- [18].- M'Sadak Y., Ben M'barek A., 2015b.- Évaluation de la maturité et de la qualité chimique des substrats de croissance à base de méthacompost avicole pour une

meilleure exploitation, Larhyss Journal, N° 23: 117-138.

- [19].- M'Sadak Y., Bouallegue A., 2015.- Study of opportunities of use of composts cunicoles for the aboveground production of tomato plants in Tunisia, J. Fundam. Appl. Sci., vol. 7, N°2: 244-259.
- [20].- M'Sadak Y., Fhima F., 2015.- Potentialités de substitution de la tourbe importée par un substrat à base de compost ou Co-compost en pépinière maraîchère hors sol (Tunisie), Revue Agriculture Sétif (RAS), N°10: 31-37.
- [21].- Nzengue E., Midoko Iponga D., M'Sadak Y., Assong Owona G. S., Zinga-Koumba C.R., Assani S., M'Batchi B., Mavoungou J. F., 2016.- Production des plants de Tomate (*Lycopersicon esculentum*) sur substrats de culture à base de parche de café à différents gradients de désinfection dans une pépinière maraîchère hors sol au Gabon, International Journal of Innovation and Scientific Research (IJISR), vol. 26, N°1: 83-94.
- [22].- Mustin M., 1987.- Le compost : Gestion de la matière organique, Ed. François Dubusc, Paris, 954 p.
- [23].- Larbi M., 2006.- Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques, Dissertation, Forschungs institut für Biologischen Landbau (FiBL), Friik, Université de Neuchâtel, Suisse, 161 p.
- [24].- Bernal M. P., Paredes C., Sanchez M. M. A., Cegarra J., 1998.- Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes, Bioresource Technology, 63: 91-99.
- [25].- Bernal M. P., Albuquerque J. A., Moral R., 2009.- Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment, Bioresource Technology, 100: 5444-5453.
- [26].- Nicolardot B., 1986.- Appréciation simple de la maturité des composts urbains en relation avec leurs effets sur la production végétale, Agronomie, 6 (9): 819-827.
- [27].- Sullivan D. M. and Miller R. O., 2001.- Compost quality attributes, measurements, and variability. In: Stoffella, P. J. et Kahn, B.A (Ed.). Compost utilization in horticultural cropping systems, Lewis Publishers, New York, USA, 95-120.
- [28].- Lamhamedi M. S., Andre Fortin J., Ammari Y., Ben Jelloun S., Poirier M., Fecteau B., Bougacha A. et Godin L., 1997.- Évaluation des composts, des substrats et de la qualité des plants élevés en conteneurs, Ed. Direction Générale des Forêts, Tunisie et Pampev Internationale Ltée, Canada, Projet BIRD N° 3601, Tunisie, 121 p.
- [29].- Lamhamedi M. S., Fecteau B., Godin L., Gingras C., 2006.- Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie, Pampev Internationale Ltée, Canada et Direction Générale des Forêts, Tunisie, 114 p.

- [30].- Wigthman K. E., 1999.- Bonnes pratiques de culture en pépinière forestière : Directives pratiques pour les pépinières communautaires, Manuel Technique, N°2, 95 p.
- [31].- M'Sadak Y., Elouaer M. A., El Kamel R., 2012.- Évaluation des substrats et des plants produits en pépinière forestière, Revue Bois et Forêts des Tropiques, N° 313 (3): 61-71.

EFFET DE MILIEUX DE CULTURE SUR LA CROISSANCE ET LA PRODUCTION DE CHLORAMPHENICOL CHEZ DEUX SOUCHES DE *Saccharothrix* sp. PAL 54 ET PAL 42 ISOLEES D'UN SOL DE LA PALMERAIE DE GHARDAÏA

BOUALI Hadjer¹, HAMZA Karima¹, BOURAS Noureddine^{1,2*}, AOUICHE Adel¹, MEKLAT Atika^{1,3}, MOKRANE Salim¹, HAMZA Kahina⁴ et SABAOU Nasseridine¹

⁽¹⁾Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM), Ecole Normale Supérieure de Kouba, 16050, Vieux-Kouba, Alger, Algérie

⁽²⁾Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, Université de Ghardaïa, 47000 Ghardaïa, Algérie

⁽³⁾Département de Biologie et Physiologie Cellulaire, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Saâd Dahleb, Blida, Algérie

⁽⁴⁾Laboratoire de recherche sur les Produits Bioactifs et la Valorisation de la Biomasse (LPBVB), Ecole Normale Supérieure de Kouba, 16050, Vieux-Kouba, Alger, Algérie

E-mail: noureddine_bouras@yahoo.fr

(Received 26 January 2017– Accepted 13 April 2017)

Résumé.- Le présent travail s'intéresse à deux souches de *Saccharothrix* sp. PAL₅₄ et PAL₄₂ dans le but de les étudier et d'optimiser la production du chloramphénicol en recherchant les meilleures milieux de culture qui favorisent aussi bien cette production que la croissance des deux souches d'actinobactéries. Tous les essais ont été effectués en double et chaque valeur représente la moyenne de deux essais. Les microorganismes-cibles choisis sont *Bacillus subtilis* ATCC 6633 (bactérie à Gram positif, sensible aux antibiotiques) et *Klebsiella pneumoniae* E₄₀ (bactérie à Gram négatif, multi-résistante aux antibiotiques) pour les deux souches PAL₄₂ et PAL₅₄, et pour les trois milieux de culture (deux milieux semi-synthétiques: MSS₁ et MSS₂, et un milieu complexe: ISP₂). D'après les résultats obtenus, le choix du milieu de culture s'est porté sur le milieu MSS₁. Ce dernier s'est révélé favorable pour la production d'antibiotiques par les deux souches de *Saccharothrix*. Bien que cette production soit moins intense par rapport aux milieux MSS₂ et ISP₂, la raison de ce choix est due principalement au fait qu'il est privilégié le milieu qui contient le moins d'extrait de levure tout en permettant une bonne croissance et une bonne activité.

Mots clés: *Saccharothrix*, milieu de culture, croissance, biomasse, antibiotique, chloramphénicol.

EFFECT OF CULTURE MEDIA ON THE GROWTH AND PRODUCTION OF CHLORAMPHENICOL BY TWO STRAINS OF *Saccharothrix* sp. PAL 54 AND PAL 42 ISOLATED FROM THE SOIL OF GHARDAÏA PALM GROVE

Abstrat.- In this work we interested in two strains of *Saccharothrix* sp. PAL₅₄ and PAL₄₂ in order to study and optimize the production of chloramphenicol by looking for the best culture media that promote this production as well as the growth of the two strains of actinobacteria. All experiments were carried out in duplicate and each value represents the average of two values. The target microorganisms selected are *Bacillus subtilis* ATCC 6633 (Gram-positive bacteria, antibiotic-sensitive) and *Klebsiella pneumoniae* E₄₀ (Gram-negative bacteria, multi-resistant to antibiotics) which used with two strains PAL₄₂ and PAL₅₄, and for three culture media (two semi-synthetic media: MSS₁ and MSS₂, and a complex medium: ISP₂). The best selected culture medium was MSS₁ medium. The latter has proved favorable for the production of antibiotics by the two *Saccharothrix* strains. Although the antibiotic production was lower in this medium compared to the MSS₂ and ISP₂ media, MSS₁ was selected due to the fact that we have favored the medium which contains the least yeast extract while allowing good growth and good activity.

Keywords: *Saccharothrix*, culture medium, growth, biomass, antibiotic, chloramphenicol.

Introduction

Les actinobactéries sont des bactéries mycéliennes à Gram positif, généralement saprophytes, hétérotrophes, aérobies et mésophiles. Ces microorganismes ubiquitaires sont rencontrés sur une grande variété de substrats naturels: sols, débris végétaux, sédiments marins, lacs, mers et océans, etc. [1].

Les actinobactéries constituent l'un des plus grands groupes de la population microbienne du sol. Ils sont capables de dégrader les résidus organiques récalcitrants telles que les ligno-celluloses et la chitine, et contribuent ainsi à la fertilisation des sols [1]. Grâce à leurs propriétés antagonistes, les actinobactéries sont utilisés dans la lutte biologique pour la protection de certaines plantes contre les maladies fongiques et bactériennes [2].

Les actinobactéries sont utilisés dans de nombreux processus biotechnologiques pour la production d'enzymes, de facteurs de croissance, de substances probiotiques, anticholestérolémiques, antihistaminiques, anticancéreuses, etc. [3]. Cependant, les actinobactéries sont surtout réputés pour la production de nombreux antibiotiques, et près de 50% des molécules actives connues et d'origine microbienne, sont sécrétées par ce groupe de microorganismes [4]. De nos jours, la recherche de nouvelles molécules actives est une orientation que privilégient beaucoup de chercheurs. Ceci s'explique par la prolifération des souches pathogènes résistantes aux antibiotiques disponibles sur le marché mondial et l'apparition de nouvelles maladies dangereuses [5].

Des espèces ou souches appartenant à des genres peu fréquents ou rares (autres que *Streptomyces*) sont sélectionnées et étudiées, et ce, de manière à augmenter les chances de découverte de nouvelles molécules actives. Ainsi, de nombreuses stratégies visant à mettre au point des méthodes de sélection des genres rares, l'utilisation d'échantillons provenant des milieux extrêmes (comme les zones arides) ont conduit à la découverte de nouveaux genres et espèces et/ou de nouveaux antibiotiques [6], dont certains se sont montrés intéressants par leur forte action antimicrobienne [7].

L'une des pistes exploitées par les chercheurs consiste en l'exploration d'écosystèmes particuliers, souvent ignorés par le passé, avec une variété de nouvelles cibles [8]. Par conséquent, la recherche a été dirigée principalement sur les actinobactéries des sols sahariens, sols qui ont montré une grande diversité en genres et en espèces, y compris ceux qui sont parmi les plus rares au monde [9].

Parmi les actinobactéries rares, deux souches de *Saccharothrix* sp. nommées PAL₅₄ et PAL₄₂, ont été isolées à partir d'un sol saharien sur un milieu sélectif à base de chitine et de vitamines B [10]. Les études taxonomiques basées sur les critères morphologiques, chimiques, physiologiques et moléculaires ont montré que ces deux souches appartiendraient très probablement à une même espèce mais semblent se distinguer de celles existantes [10]. Les travaux menés ont montré qu'elles produisent toutes les deux du chloramphénicol, un antibactérien de la famille des phénicolés [11].

Le chloramphénicol (C₁₁H₁₂Cl₂N₂O₅, masse moléculaire de 323.14 g/mol) est une substance solide cristallisée, jaune pâle blanchâtre, inodore, très peu soluble dans l'eau (<2,5 g/l à 20°C). Sa structure est représentée sur la figure 1. Le chloramphénicol absorbe

sous UV à 213 et 273 nm [12].

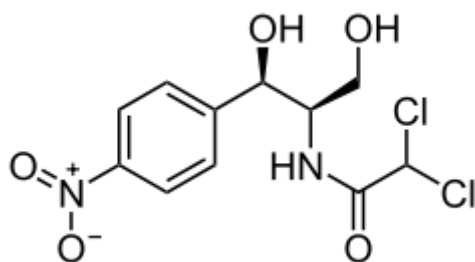


Figure 1. Structure du chloramphénicol.

Le chloramphénicol a une structure relativement simple et fut le premier antibiotique à large spectre découvert. Largement utilisé en médecine humaine dans les années qui suivirent sa découverte en raison de la nature de son spectre et de son excellente diffusion dans l'organisme, cet antibiotique est actuellement réservé, compte-tenu des troubles hématologiques et des inductions de résistance qu'il peut provoquer, au traitement des infections du système nerveux central (méningites à *Haemophilus influenzae* des enfants), au traitement des abcès profonds provoqués par des germes anaérobies, et au traitement des salmonelloses en particulier de la fièvre typhoïde [13].

En médecine vétérinaire, son large spectre d'activité, son efficacité particulière sur les salmonelles, les rickettsia, les mycoplasma, les chlamydia, les pasteurelles et les coliformes, son coût modéré font du chloramphénicol un antibiotique très utilisé, comme en témoigne sa présence dans de nombreuses spécialités pharmaceutiques [14,15].

Nous nous sommes intéressées aux deux souches de *Saccharothrix* sp. PAL₅₄ et PAL₄₂ dans le but d'étudier et d'optimiser la production du chloramphénicol en recherchant les meilleurs milieux de culture qui favorisent aussi bien cette production que la croissance des deux souches d'actinobactéries.

1. - Matériel et Méthodes

1.1. - Souches d'actinobactéries

Les deux souches de *Saccharothrix* sp. (PAL₅₄ et PAL₄₂) ont été isolées à partir des échantillons de sols provenant de la palmeraie de Beni-Isguen (Mzab, Ghardaïa-Algérie). Les deux souches sont productrices de chloramphénicol [11].

1.2. - Souche de microorganismes-cibles

Les microorganismes-cibles utilisés sont les suivants: Une bactérie à Gram positif: *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), et une bactérie à Gram négatif *Klebsiella pneumoniae* (E₄₀). Elles sont conservées à 4°C sur milieu solide ISP₂. Elles proviennent, respectivement, de la collection du Laboratoire de Biologie Cellulaire et Moléculaire, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), Alger (Algérie), et du Laboratoire de Microbiologie Appliquée (LMA), Université Abderrahmane Mira de Béjaïa (Algérie). Les profils de résistance de ces bactéries vis-à-vis de plusieurs antibiotiques cliniquement utilisés ou non sont indiqués dans le tableau 1.

Tableau I.- Profils de résistance des bactéries-cibles utilisées [16,17]

Bactérie cible	Origine	Résistance à:	Sensibilité à:
<i>Bacillus subtilis</i> (ATCC 6633)	ATCC	NEO.	C, CAR, CHL, ERY, GEN, K, RIF, SPI, SSS, VAN.
<i>Klebsiella pneumoniae</i> (E ₄₀)	Lait *	AMX, CAZ, CFP, CTX, FEP, GEN, PIP, TIC, TOB.	AMC, ATM, C, CXC, TCC.

Légende:

ATCC: *American Type Culture Collection*; *: Source hospitalière.

AMC: Amoxicilline + clavulanate, ATM: Aztréonam, AMX: Amoxicilline, C: Chloramphénicol, CAR: Carbénicilline, CAZ: Ceftazidime, CFP: Cefpirome, CHL: Chlorotétracycline, CTX: Céfotaxime, CXC: Céfotaxime + Clavulanate, ERY: Erytromycine, FEP: Céfépime, GEN: Gentamicine, K: Kanamycine, NEO: Néomycine, PIP: Pipéracilline, RIF: Rifampicine, SPI: Spiramycine, SSS: Sulfamide, TCC: Ticarcilline + Clavulanate, TIC: Ticarcilline, TOB: Tobramycine, VAN: Vancomycine.

1.3. - Milieux de cultures

Trois milieux de culture (liquides) sont utilisés: deux milieux semi-synthétiques (MSS₁ et MSS₂) contenant respectivement 2 g/l et 3 g/l d'extrait de levure, et un autre complexe, qui est l'ISP₂. Ces trois milieux de culture contiennent le glucose (à 10 g/l pour MSS₁ et MSS₂) ou (à 4 g/l pour l'ISP₂).

Le milieu de culture MSS1 est composé de: D-glucose: 10 g, extrait de levure: 2 g, NaCl: 2 g, KH₂PO₄: 0,5 g, K₂HPO₄: 1 g, MgSO₄.7H₂O: 0,2 g, CaCO₃: 5 g, (NH₄)₂SO₄: 2 g, eau distillée q.s.p. 1 L; pH = 7,2 [6]. Le milieu MSS2 est composé de: D-glucose: 10 g, extrait de levure: 3 g, NaCl: 2 g, KH₂PO₄: 0,5 g, K₂HPO₄: 1 g, MgSO₄.7H₂O: 0,2 g, CaCO₃: 2 g, eau distillée q.s.p. 1 L; pH = 7,2 [18]. L'ISP₂ (*International Streptomyces Project 2*) est composé de: D-glucose: 4 g, extrait de levure: 4 g, extrait de malt: 10 g, eau distillée q.s.p. 1 L; pH = 7,2 [19].

Les souches (PAL₅₄ et PAL₄₂) sont conservées à 4°C sur milieu ISP₂ [19] solide (contenant 18 g/l d'agar).

1.4. - Stérilisation des milieux de culture

La stérilisation des milieux de culture s'effectue à 120°C dans un autoclave. Les fioles Erlenmeyer de 500 ou de 250 ml et contenant respectivement 100 ou 50 ml de milieu, sont stérilisées pendant 20 min à 120°C (sous 1 bar).

1.5. - Conditions de fermentation

La cinétique de production des antibiotiques (par les deux souches) a été réalisée, et l'évolution de l'activité antibactérienne, du pH et du poids sec du mycélium sont suivis quotidiennement. Tous les essais ont été effectués en double et chaque valeur représente la moyenne de deux essais (± écarts-types).

1.5.1. - Pré-culture

Des pré-cultures sont préparées à partir de cultures mûres des souches de *Saccharothrix* sp. (PAL₅₄ ou PAL₄₂) âgées de 10 j et poussant sur milieu solide ISP₂. La surface des colonies est raclée à partir d'une culture en boîte de Pétri avec une anse stérile pour récupérer les spores. Celles-ci sont inoculées dans des Erlenmeyers de 500 ml contenant chacun 100 ml de milieu liquide ISP₂ pour chaque souche. L'incubation se fera

pendant 2 à 3 jours dans un agitateur (Shaker New Brunswick) à une température de 30°C et sous une agitation de 250 rpm. Parmi les pré-cultures obtenues, il est choisi celle qui contient le plus de biomasse pour servir à ensemercer 3 milieux de cultures différents (MSS₁, MSS₂ et ISP₂).

1.5.2. - Cinétique de croissance et de production du chloramphénicol en milieu liquide

La cinétique de croissance et de production des antibiotiques (par les deux souches de *Saccharothrix* sp. PAL₅₄ et PAL₄₂) a été réalisée dans le but de comparer les trois milieux de culture utilisés (MSS₁, MSS₂ et ISP₂), et de choisir le milieu de culture qui permet une bonne croissance et une production de l'activité antibactérienne (mais qui contient en même temps un minimum d'extrait de levure).

Des fioles d'Erlenmeyer de 500 ml contenant chacune 100 ml de milieu liquide (pH 7,2) sont ensemencées chacune avec 0,1 g ($\pm 0,02$ g) d'actinobactérie contenu dans 5 ml de la pré-culture. Les cultures sont incubées à 30°C et agitées à 250 rpm dans un agitateur pendant une période de 9 jours. Cette durée correspond à la production maximale de substances actives produites par les deux souches de *Saccharothrix* (constatation faite lors d'études préliminaires).

Pendant les 9 jours d'incubation, 4 ml (2 ml en double) de chaque milieu de cultures sont prélevés à des intervalles de temps fixe (de 48 h) dans des conditions aseptiques, dans des tubes Eppendorf de 2 ml afin d'évaluer les variations de la biomasse, du pH et de l'activité antibactérienne vis-à-vis des deux microorganismes cibles.

1.5.3. -Mesure du pH

Les tubes Eppendorf contenant les filtrats de cultures sont centrifugés à 12000 rpm (Centrifuge 54 15 R) pendant 10 min. Les surnageants obtenus sont utilisés pour enregistrer, grâce à un pH mètre (HANNA instruments), les variations de pH au cours du temps.

1.5.4. -Estimation de la biomasse

L'évolution de la biomasse durant la fermentation est estimée selon la méthode de PFEFFERLE *et al.* [20] avec quelques modifications. Pour chaque échantillon, 4 ml de culture sont prélevés et mis dans 2 tubes Eppendorf (2 ml par tube) préalablement tarés. Les tubes sont ensuite centrifugés (comme cité précédemment). Le culot est lavé par centrifugation à deux reprises avec une solution d'HCl (0,35 N) qui dissout le CaCO₃ résiduel. Un dernier lavage est effectué à l'eau distillée. Par la suite, les tubes sont placés dans une étuve à 100°C durant 24 h, puis pesés (après refroidissement) pour déterminer le poids de la matière sèche après soustraction du poids de la tare. Le poids sec ainsi déterminé est ensuite rapporté au litre de volume de fermentation (exprimé en gramme de matière sèche par litre de milieu de culture). Les pesées sont effectuées sur une balance analytique (KERN ABJ).

1.5.5. -Détermination de l'activité antimicrobienne globale des antibiotiques

Les tubes Eppendorf contenant les filtrats de cultures sont centrifugés à 12000 rpm pendant 10 min. Les surnageants sont récupérés et vont servir pour déterminer

l'activité antibactérienne par la méthode des puits.

Deux cent microlitres de filtrat de culture de l'actinobactérie sont prélevés quotidiennement à l'aide d'une micropipette dans des conditions stériles, puis déposés dans un puits de 10 mm de diamètre, sur milieu ISP₂ (en surfusion à 45°C, et contenant 12 g/l d'agar) afin de permettre une bonne diffusion de l'antibiotique préalablement ensemencé par le germe-cible (*Bacillus subtilis* ATCC 6633 et *Klebsiella pneumoniae* E₄₀) et coulé dans une boîte de Pétri de 90 mm de diamètre. Les boîtes sont gardées à 4°C durant 3 h de manière à inhiber momentanément la croissance des germes-cibles tout en permettant la diffusion des antibiotiques. Ensuite, les boîtes sont incubées pendant 24 h dans l'étuve (à 28°C); le diamètre des zones d'inhibition des germes est ensuite mesuré. L'activité est estimée par la mesure du diamètre de l'auréole d'inhibition du germe-cible autour des puits.

2. – Résultats

Dans le but de choisir les meilleures conditions de culture, il est choisi trois milieux de culture, et établis une cinétique de croissance, de pH et de production des antibiotiques de deux souches de *Saccharothrix* sp. (PAL₅₄ et PAL₄₂) durant 9 jours en milieu liquide agité (250 rpm, 30°C).

Tous les essais ont été effectués en double et chaque valeur représente la moyenne de deux essais. Les microorganismes-cibles choisis sont *Bacillus subtilis* ATCC 6633 (bactérie à Gram positif, sensible aux antibiotiques) et *Klebsiella pneumoniae* E₄₀ (bactérie à Gram négatif, multi-résistante aux antibiotiques) pour les deux souches PAL₄₂ et PAL₅₄, et pour les trois milieux de culture.

2.1.- Milieu MSS1

Le milieu MSS1 (milieu semi-synthétique avec 2 g/l d'extrait de levure) s'est révélé favorable pour la croissance de deux souches de *Saccharothrix*, ainsi que la production d'activité antibactérienne. Les cinétiques de croissance, de pH et de production des antibiotiques de deux souches de *Saccharothrix* (PAL₅₄ et PAL₄₂) en milieu MSS1 sont illustrées sur la figure 2.

La courbe de croissance de la souche PAL₅₄ débute directement par une phase exponentielle d'une durée de 3 jours, puis une phase de ralentissement qui dure 2 jours (entre J₃ et J₅), est observées. Au-delà du 5^{ème} jour, il est noté la présence d'une phase de déclin qui persiste jusqu'au 9^{ème} jour (avec une légère stabilisation entre J₈ et J₉). Au cours de la croissance, le pH augmente légèrement lors de la phase de croissance (jusqu'à 7,75), il continue à augmenter encore pour atteindre un maximum de 8,14 au 7^{ème} jour lors de la phase de déclin. Au-delà du 7^{ème} jour le pH commence à baisser. La production d'antibiotiques débute le 3^{ème} jour contre *B. subtilis* et *K. pneumoniae*, soit, durant la phase exponentielle de croissance. Le maximum de production est noté lors de la phase de déclin selon le germe-cible.

La courbe de croissance de la souche PAL₄₂ débute directement par une phase exponentielle d'une durée de 3 jours (entre J₀ à J₃). Une phase stationnaire est observée entre J₃ et J₅, puis une seconde phase exponentielle est notée entre J₅ et J₇, ceci suggère la présence d'un phénomène de diauxie, phénomène qui n'a pas été remarqué chez la souche PAL₅₄. Une phase de déclin débute le 7^{ème} jour (avec une légère stabilisation entre J₈ et J₉).

Au cours de la croissance, le pH augmente légèrement lors de la phase exponentielle (jusqu'à 7,8). Par la suite, le pH diminue légèrement à 7,7 pour se stabiliser durant toutes les autres phases de croissance. La production d'antibiotiques débute le 3^{ème} jour contre les deux germes-test, soit, durant la phase exponentielle. Le maximum de production est noté le 9^{ème} jour pour *B. subtilis* et *K. pneumoniae*, c'est-à-dire à la fin de la phase de déclin. Quoique la production de l'antibiotique a été régulière et continue jusqu'au dernier jour de la culture pour la souche PAL₄₂, celle de la souche PAL₅₄ a été légèrement plus forte.

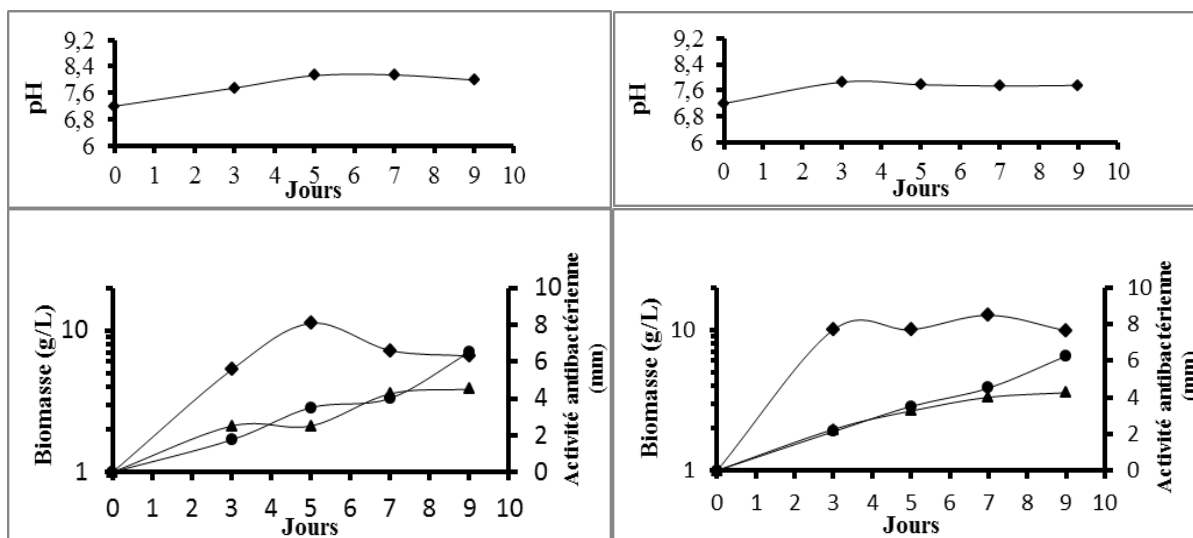


Figure 2.- Cinétiques de production des activités antibactériennes et évolution du pH et de la biomasse de la souche PAL₅₄ (à gauche) et de la souche PAL₄₂ (à droite) en milieu liquide MSS1 (◆, biomasse; ●, activité contre *B. subtilis*; ▲, activité contre *K. pneumoniae*)

2.2. - Milieu MSS2

Le milieu MSS₂ est un milieu semi-synthétique avec 3 g/l d'extrait de levure, il a donné une bonne croissance et une bonne production d'antibiotique pour les deux souches étudiées sur milieu liquide. Les cinétiques de croissance, de pH et de production des antibiotiques de deux souches en milieu MSS₂ sont illustrées par la figure 3.

Une phase exponentielle d'une durée de 5 jours (J₀ à J₅) est directement observée durant la cinétique de croissance de la souche PAL₅₄. La croissance passe directement dans une phase de déclin qui persiste jusqu'au dernier jour (avec une légère stabilisation entre J₈ et J₉). Il faut noter que le minimum de croissance (4,57 g/l) est atteint avec ce milieu par rapport aux deux autres milieux durant la phase de déclin (9^{ème} jour). Le pH varie au cours de la même phase exponentielles, en premier lieu, il augmente (jusqu'à 8,15), puis baisse pour atteindre le même pH de départ. Par la suite, le pH augmente durant la phase de déclin pour baisser de nouveau. La production d'antibiotiques débute le 3^{ème} jour contre *B. subtilis* et *K. pneumoniae*, soit, durant la phase exponentielle de croissance. Le maximum de production est noté le 9^{ème} jour pour *B. subtilis* et *K. pneumoniae*, c'est-à-dire à la fin de la phase de déclin.

La courbe de tendance de la cinétique de croissance de la souche PAL₄₂ prend exactement la même allure que celle de la souche PAL₅₄, sauf qu'au-delà du 7^{ème} jour, il est noté la présence d'une légère croissance additive ou croissance cryptique et ce, jusqu'au 9 jour. La courbe de tendance du pH de la souche PAL₄₂ varie exactement de la même

façon que la courbe de la souche PAL₅₄, sauf qu'à la fin, le pH ne baisse pas, il continue à augmenter. La production d'antibiotiques débute le 3^{ème} jour contre les deux germes-test. Le maximum de production est noté le 7^{ème} jour pour *B. subtilis* et *K. pneumoniae*, c'est-à-dire à la fin de la phase de déclin. L'activité diminue par la suite lors de la seconde phase exponentielle.

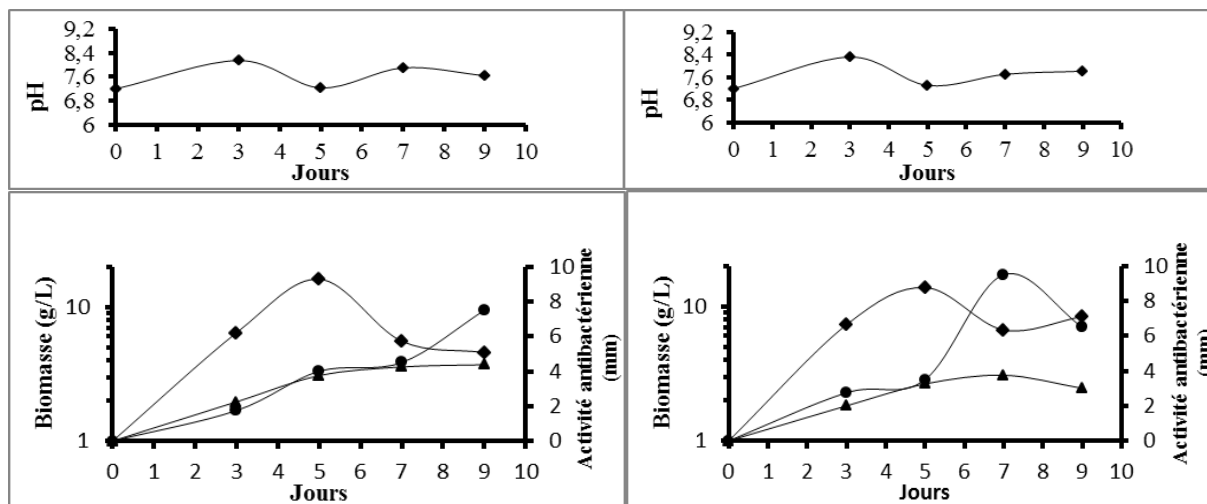


Figure 3.- Cinétiques de production des activités antibactériennes et évolution du pH et de la biomasse de la souche PAL₅₄ (à gauche) et de la souche PAL₄₂ (à droite) en milieu liquide MSS₂ (◆, biomasse; ●, activité contre *B. subtilis*; ▲, activité contre *K. pneumoniae*)

2.3. - Milieu ISP₂

Le milieu ISP₂, milieu complexe, a donné de bons résultats de croissance et de production d'antibiotique pour les deux souches (PAL₅₄ et PAL₄₂). Les cinétiques de croissance, de pH et de production des antibiotiques de la souche PAL₅₄ et de la souche PAL₄₂ en milieu ISP₂ sont illustrées sur la figure 4.

La courbe de croissance de la souche PAL₅₄ débute par une phase exponentielle d'une durée de 3 jours (J₀ à J₃). Une phase de ralentissement est notée entre J₃ et J₅ puis la croissance passe directement dans une phase de déclin qui persiste jusqu'au 7^{ème} jour. Au-delà, une croissance additive (ou croissance cryptique) est observée. Il faut noter que la croissance durant les premiers jours était minimum par rapport au deux autres milieux, MSS₁ et MSS₂. Au cours de la croissance, le pH augmente légèrement lors de la phase exponentielle (jusqu'à 7,7) mais une légère baisse apparaît (pH = 7,6) lors de la phase de ralentissement. Par la suite, le pH augmente de nouveau à 8,1 lors de la phase de déclin, pour diminué légèrement de nouveau et atteindre la valeur 8 au 9^{ème} jour. La production d'antibiotiques débute le 3^{ème} jour contre les deux germes-cibles (*B. subtilis* et *K. pneumoniae*), soit, durant la phase exponentielle. Le maximum de production est noté le 7^{ème} jour pour les deux germes-cibles, c'est-à-dire à la fin de la phase de déclin. L'activité diminue par la suite durant la croissance cryptique.

La courbe de croissance de la souche PAL₄₂ débute directement par une phase exponentielle d'une durée de 3 jours (J₀ à J₃). La croissance passe dans une phase stationnaire (entre J₃ et J₅). Il se remarque ensuite une phase de déclin qui persiste jusqu'au 9^{ème} jour (avec une légère stabilisation entre J₇ et J₉). Au cours de la croissance, le pH augmente légèrement lors de la phase exponentielle (jusqu'à 7,4). Il continu à augmenter lors de la phase stationnaire et de la phase de déclin. Par la suite, une légère baisse est observée. La courbe de tendance pour la production d'antibiotiques chez la souche PAL₄₂

prend exactement la même allure que la souche PAL₅₄, avec seule différence la quantité produite, elle est légèrement plus importante chez la souche PAL₅₄.

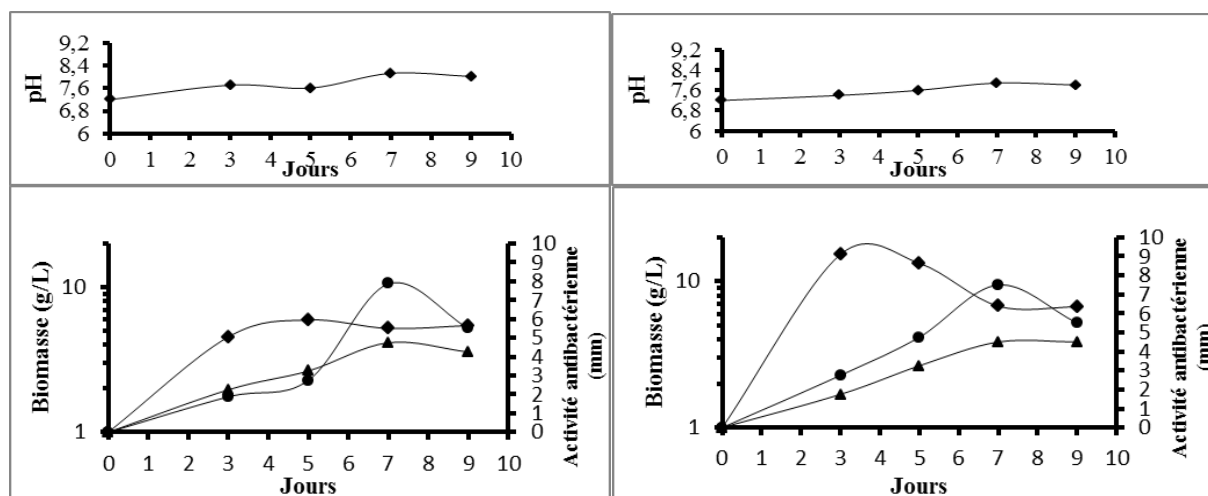


Figure 4.- Cinétiques de production des activités antibactériennes et évolution du pH et de la biomasse de la souche PAL₅₄ (à gauche) et de la souche PAL₄₂ (à droite) en milieu liquide ISP₂ (◆, biomasse; ●, activité contre *B. subtilis*; ▲, activité contre *K. pneumoniae*)

3. - Discussion

Les souches PAL₅₄ et PAL₄₂ de *Saccharothrix* sp. possèdent de fortes potentialités inhibitrices contre *Bacillus subtilis* et la bactérie pathogène *Klebsiella pneumoniae* E₄₀ (bactérie multi-résistante aux antibiotiques). Les cinétiques de croissance et de production des antibiotiques par les deux souches d'actinobactéries ont été menées en conditions liquides et en agitation, en utilisant le milieu complexe ISP₂, et les deux milieux semi-synthétique MSS₁ et MSS₂. Ce choix a été fait en tenant compte des résultats obtenus lors des études réalisées précédemment et qui ont démontré que le milieu ISP₂, composé d'extrait de malt (10 g/l), d'extrait de levure (4 g/l) et de glucose (4 g/l), est l'un des plus favorables à la production d'antibiotiques chez les actinobactéries [7,10,18,21]. La différence existante entre les milieux semi-synthétiques MSS₁ et MSS₂ réside dans la quantité d'extrait de levure (2 g/l pour le premier et 3 g/l pour le second) et la quantité de CaCO₃ (5 g/l pour le premier et 2 g/l pour le second).

Le choix du milieu de culture pour l'étude s'est porté sur le milieu MSS₁. Ce dernier s'est révélé favorable pour la production d'antibiotiques par les deux souches de *Saccharothrix*. Bien que cette production soit moins intense par rapport aux milieux MSS₂ et ISP₂, la raison de ce choix est due principalement au fait qu'il est privilégié le milieu qui contient le moins d'extrait de levure tout en permettant une bonne croissance et une bonne activité. En effet, la complexité de la composition de l'extrait de levure incite à l'utiliser en faible quantité lors des études d'optimisation, ce composé ne pouvant être complètement enlevé au vu de l'auxotrophie des deux souches de *Saccharothrix*. Le même travail a été mené par LAMARI (2006), pour l'optimisation de la production des antibiotiques dithiopyrrolones chez *Saccharothrix algeriensis*, qui a démontré que la croissance mais aussi la production évolue positivement en fonction de l'augmentation de la concentration d'extrait de levure et que la meilleure concentration est aussi de 2 g/l tout comme pour le milieu MSS₁ qui est retenu [7].

L'addition de carbonate de calcium est souvent effectuée pour maintenir le pH aux environs de la neutralité. Plusieurs chercheurs utilisent le CaCO_3 pour favoriser la croissance bactérienne et augmenter la biomasse cellulaire, et par la suite la production des antibiotiques [7,22,23]. Les travaux réalisés par LAMARI (2006) ont démontré que le CaCO_3 stimulait nettement la biomasse [7]. Dans ce cas, le milieu MSS₁ contient 5 g/l de CaCO_3 , quantité plus élevée que celle contenue dans les milieux MSS₂ et ISP₂.

Concernant la cinétique de croissance, il est noté certains points communs entre les deux souches dans les différents milieux de culture, comme par exemple, l'absence d'une phase de latence et d'une phase stationnaire. L'absence de la phase de latence peut être expliquée par le fait que les pré-cultures soient menées dans les mêmes conditions que les cultures et qu'elles étaient prises en phase exponentielle de croissance. L'absence de la phase stationnaire est un phénomène qui a déjà été observé plusieurs fois chez les actinobactéries [18].

L'autre point commun est celui de la production des antibiotiques au cours de la phase exponentielle. Contrairement à ce phénomène, la production des métabolites secondaires par les microorganismes a lieu généralement durant les phases de ralentissement et stationnaire (idiophase). Cependant, dans le cas des actinobactéries, le moment de production est variable: il peut avoir lieu en phase exponentielle [18,21], durant les deux phases stationnaires observées lors de croissance diauxique comme dans le cas de *Saccharothrix algeriensis* [24], ou même en fin de phase de déclin [25].

Le chloramphénicol fut découvert en 1947 à partir de *Streptomyces venezuelae*. Cette molécule est synthétisée également par *S. omiyaensis* et *S. phaeochromogenes* [26]. Il fut préparé en 1948 par synthèse chimique [26]. C'est un antibiotique appartenant à la famille des phénicolés (famille des aromatiques benzéniques). Il a un spectre large touchant plusieurs bactéries pathogènes à Gram positif et à Gram négatif [27]. Le chloramphénicol est un antibiotique bactériostatique qui inhibe la synthèse protéique bactérienne en inhibant l'activité peptidyl transférase de la grande sous-unité du ribosome bactérien 50S [26]. Le chloramphénicol présente un risque d'induction d'aplasie médullaire due à l'inactivation des mitochondries des cellules de la moelle osseuse. L'induction d'aplasie médullaire a des conséquences très graves (maladie irréversible et mortelle), mais d'incidence faible (environ 0,1% des cas).

Du fait de sa toxicité potentielle, il n'est plus utilisé qu'en application externe dans les pays occidentaux (collyres dans les infections ophtalmiques) ou parfois dans le cas d'infections sévères et résistantes en milieu hospitalier. Cependant, Il reste encore utilisé par voie générale dans certains pays en voie de développement (comme le Cambodge). L'organisation mondiale de la santé (OMS) le conserve sur sa liste des médicaments autorisés considérant que malgré ce risque, il peut apporter un bénéfice important.

La résistance au chloramphénicol est due le plus souvent à la production des enzymes inactivant les phénicolés, comme une chloramphénicol acétyl-transférase plasmidique détectée chez certaines espèces d'entérobactéries telles que *Salmonella typhi*, *Pseudomonas* sp. et *Yersinia* sp. Cependant, il existe également une résistance au chloramphénicol par le biais d'une nitroréductase [28].

Références bibliographiques

- [1].- Lacey J., 1997.- Actinomycetes in composts. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 4, 113–121.
- [2].- Goodfellow M. et Williams S. T., 1983.- Ecology of actinomycetes. *Ann. Rev. Microbiol.*, 37: 189–216.
- [3].- Buckingham J., 1997.- *Dictionary of Natural Products*. England: Chapman and Hall/CRC, CD-ROM.
- [4].- Solecka J., Zajko J., Postek M, Rajnisz A., 2012.- Biologically active secondary metabolites from Actinomycetes. *Cen. Europ. J Biol.*, 7: 373–39.
- [5].- Kumarasamy K. K, Toleman M. A, Walsh T. R., 2010.- Emergence of a new antibiotic resistance mechanism in India, Pakistan, and the UK: a molecular, biological, and epidemiological study. *The Lancet Infect Dis*, 10: 597–602.
- [6].- Bouras N., Mathieu F., Sabaou N., Lebrihi A., 2006.- Effect of amino acids containing sulfur on dithiopyrrolone antibiotic productions by *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137. *Journal of Applied Microbiology*, 100: 390–397.
- [7].- Lamari L., 2006.- Production de nouveaux antibiotiques du groupe des pyrrothines par une nouvelle espèce d'actinomycète, *Saccharothrix algeriensis*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 153 p.
- [8].- Phoebe C. H., Cambie J., Albert, F. G., Van Tran K., Cabrera J., Correira H. J., Gruo Y., Lindermuth J., 2001.- Extremophilic organisms as an unexplored source of antifungal compounds. *Journal of Antibiotics*. 54: 56–65.
- [9].- Sabaou N., Boudjella H., Bendji A., Mostefaoui A., Zitouni A., Lamari L *et al.* 1998.- Les sols des oasis du Sahara algérien, source d'actinomycètes rares producteurs d'antibiotiques d'antibiotiques. *Secheresse*, 9: 147–153.
- [10].- Aouiche A., 2010.- Recherche sur les actinomycètes des sols de Ghardaïa antagonistes de microorganismes pathogènes et toxigènes pour l'homme: isolement, taxonomie et caractérisation des molécules actives. Mémoire de Magister en microbiologie, Université de Sidi Bel-Abbes, 127 p.
- [11].- Aouiche A, Sabaou N, Meklat A, Zitouni A, Bijani C, Mathieu F, Lebrihi A., 2012.- *Saccharothrix* sp. PAL54, a new chloramphenicol-producing strain isolated from a Saharan soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28: 943–951.
- [12].- Lu X.W., Dang Z. and Yang C., 2009.- Preliminary investigation of chloramphenicol in fish, water and sediment from freshwater aquaculture pond. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6: 597–604.
- [13].- Powell D. A., and Nahata M. C., 1982.- Chloramphenicol: new perspectives on an old Drug intelligence and clinical pharmacy, 16: 295–300.
- [14].- Dagnra A. Y., Akolly K., Gbadoe A., Aho K. and David M., 2007.- Émergence des souches de salmonelles multirésistantes aux antibiotiques à Lomé (Togo). *Médecine*

et maladies infectieuses, 37: 266–269.

- [15].- Weill F. X., 2008.- *Salmonella*: épidémiologie, typage et résistance aux antibiotiques. Revue Francophone des Laboratoires, 38: 38-48.
- [16].- Touati A., 2006.- Caractérisation des phénotypes de résistance acquis aux β -lactamines des souches d'entérobactéries isolées dans les hôpitaux de Bejaia. Doctorat soutenu à l'Université A. Mira de Bejaia, 96 p.
- [17].- Messai Y., Iabadene H., Benhassine T., Alouache S., Tazir M., Guatier V., Arlet G. and Bakour R., 2008.- Prevalence and characterization of extended-spectrum β -lactamases *Klebsiella pneumoniae* in Algiers hospitals (Algeria). Pathologie Biologie, 56: 319–325.
- [18].- Zitouni A., 2004.- Etude taxonomique et des propriétés antagonistes des *Nocardiosis* et des *Saccharothrix* des sols sahariens et production de nouveaux antibiotiques par *Saccharothrix* sp. 103. Thèse de Doctorat, INP-ENSAT, 230 p.
- [19].- Shirling B. and Gottlieb D., 1966.- Methods for characterization of *Streptomyces* species. International Journal of Systematic Bacteriology, 16: 3313-3340.
- [20].- Pfefferle C., Theobald U., Gürtler H., Fiedler H-P., 2000.- Improved secondary metabolite production in the genus *Streptosporangium* by optimization of the fermentation conditions. Journal of Biotechnology, 80: 135-142.
- [21].- Badji B., 2006.- Étude de la taxonomie et des antibiotiques antifongiques de trois souches d'actinomycètes d'origine saharienne appartenant aux genres *Actinomadura* et *Nonomuraea*. Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 226 p.
- [22].- Ikeda Y., Naganawa H., Kondo S. et Takeuchi T., 1992.- Biosynthesis of bellenaminate by *Streptomyces nashvillensis* using stable isotope labeled compounds. Journal of Antibiotics (Tokyo), 45: 1919–24.
- [23].- Lamsaïf D., 1992.- Effets des sources d'azote sur la biosynthèse de la spiramycine chez *Streptomyces ambofaciens*. Etude des enzymes impliquées dans l'assimilation des ions ammonium. Thèse de Doctorat de l'INPL de Nancy, 127 p.
- [24].- Strub C. 2008.- Modélisation et optimisation de la production de thiolutine chez *Saccharothrix algeriensis*. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 203 p.
- [25].- Toumatia O., 2010.- Actinomycetes sahariens producteurs d'antifongiques: isolement, taxonomie, caractérisation des antibiotiques et essais de lutte contre les maladies de plantes. Magister de Microbiologie, ENS. de Kouba, Alger, 115 p.
- [26].- Asselineau J. et Zalta P., 1973.- Les antibiotiques. Structure et exemples de mode d'action. Ed. Hermann, Paris: 1-6.
- [27].- Berdy J., Aaszalos A. and Mc Nitt K. L., 1987.- CRC Handbook of antibiotic compounds. Vol. XIII. Microbial metabolites. part 1,2,3. Florida, USA. CRC Press,

Boca Raton, 577 p.

- [28].- Smith A. L., Erwin, A. L, Kline T., William C. T., Unrath K. N., Weber A. and Howald W. N., 2007.- Chloramphenicol is a substrate for a novel nitroreductase pathway in *Haemophilus influenza*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 51: 2820–2829.

RESSOURCES HYDRIQUES: TRAITEMENT ET REUTILISATION DES EAUX USEES EN ALGERIE

BOUCHAALA Laid, CHARCHAR Nabil et GHERIB Abde Elfettah

Division Biotechnologies et Environnement,

Centre de Recherche en Biotechnologies (C.R.Bt), Constantine, Algérie

E-mail: l.bouchaala@crbt.dz / mlaidb@yahoo.fr / n.chechar@crbt.dz / a.gherib@crbt.dz

(Received 06 December 2016– Accepted 12 May 2017)

Résumé.- La présente étude est une analyse des données statistiques et scientifiques sur les ressources hydriques en Algérie, notamment dans le domaine du traitement et de la réutilisation des eaux usées. De ce fait, une enquête sur le terrain est menée par une équipe de recherche, durant la période d'octobre 2014 à février 2015, à travers le recueil des données auprès des organismes concernés dont le ministère des ressources en eaux (MRE), l'Office National d'Assainissement (ONA), les Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP) et les Stations de Lagunage (SL) de l'Algérie. Les résultats obtenus montrent que les potentialités hydriques, y compris eaux de surfaces et eaux souterraines, s'élèvent à 18 milliards de m³. Elles restent très faibles par rapport à la demande croissante de la population. Quant aux ouvrages de traitement et d'épuration, leur nombre a augmenté d'une façon remarquable ses dernières années. Il est enregistré en 2015, 200 STEP et 350 stations de pompage. Le volume annuel des eaux usées générée par la population algérienne est de 927 millions m³/an, dont, 700 millions m³/an sont traitées par l'ONA et réutilisées par les activités industrielles (3,1 millions m³/an), l'irrigation agricole (3,4 millions m³/an). En 2014, l'ONA compte 108 STEP en exploitation dont 60 SL. Le MRE compte 97 barrages pour le stockage de 9,1 milliards de m³ d'eau.

Mots clés: Algérie, ressources en eaux; eaux usées, station d'épuration, réutilisation des eaux usées.

WATER RESOURCES TREATMENT AND REUSE OF WASTEWATER IN ALGERIA

Abstract.- This study aims to the collect and analysis of statistical and scientific data on water resources in Algeria, particularly in the field of wastewater treatment and reuse. Consequently, many investigations were carried out during the period from October 2014 to February 2015, through the collection of data from the Ministry of Water Resources (MRE), the National Office of Sanitation (ONA), Wastewater Treatment Plants (WWTPs) and Wastewater Treatment Plants (SL). The obtained results show that the water potential, including surface water and groundwater, amounts to 18 billion m³, but they remain very low compared to the growing demand of the population. As for treatment and treatment plants, a remarkable increase has been observed in recent years, in 2015, 200 STEP and 350 pumping stations were registered. The annual volume of wastewater generated by the Algerian population is 927 million m³ / year, of which 700 million m³ / year were treated by ONA and reused by industrial activities (3.1 million m³ / year) and Irrigation (3.4 million m³ / year). In 2014, 108 STEP in operation, of which 60 LS were registered by ONA, and 97 dams for storage of 9.1 billion m³ of water were registered by MRE.

Key words: Algeria, water resources; Wastewater, sewage treatment plant, reuse of wastewater.

Introduction

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure dans tous les pays du monde. L'Algérie est l'un des pays de la méditerranée touchés par le stress hydrique. Elle est classée dans la catégorie des pays pauvres en cette matière, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé à 1000 m³/hab. /an [1]. En revanche, les

ressources actuelles sont affectées par plusieurs facteurs parmi: les changements climatiques, la demande croissante de la population, le manque des ouvrages d'immobilisation des ressources hydrique ainsi que le phénomène de pollution des eaux souterraines et superficielles par différentes activités humaines [2].

Cependant, les eaux des pluies, des barrages et des forages restent insuffisantes pour satisfaire les besoins de la population actuelle et aller avec le développement croissant des activités industrielles et urbaines [3]. L'Algérie a dû relever le défi pour faire face à cette situation critique. Elle a adopté un plan national de l'eau jusqu'à l'horizon 2025, à travers la mise en place d'une politique de gestion de ces ressources hydriques, afin de faire sortir le pays de cette situation, assurer la durabilité des ressources et garantir une bonne gouvernance de l'eau, dans un contexte de développement durable [4,5]. Ce qui explique de nos jours, l'ambition de l'Algérie de traiter un milliard de mètres cube d'eaux usées [3].

L'objectif de la présente étude est la récapitulation et l'analyse des données statistiques et scientifiques sur les ressources hydriques en Algérie, notamment dans le domaine du traitement et de réutilisation des eaux usées, en se basant sur des données d'une enquête menée auprès des différents organismes actifs dans ce domaine.

1.- Méthodologie de travail

La méthodologie du travail consiste à effectuer plusieurs sorties sur le terrain, visant les organismes actifs dans le domaine des ressources hydriques en Algérie, durant la période d'octobre 2014 à février 2015. Il s'agit du Ministère des Ressources en Eaux (MRE), de l'Office National d'Assainissement (ONA), des Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP) et des Stations de Lagunage (SL) de l'Algérie. Des enquêtes sur le terrain ont été menées par l'équipe chargée de l'étude pour recueillir des informations à travers la mise en place d'un questionnaire à remplir par les organismes concernées. Outre, des investigations effectuées sur le terrain, des entretiens avec les responsables et les acteurs du domaine des ressources hydriques, des recherches bibliographiques et webgraphiques sur internet et sur les sites officiels des organismes nationaux et internationaux, sont effectuées. Il est également collecté et sélectionné des données à partir des articles de presse, des documents écrits, des fiches techniques, des rapport officiels et des documents iconographiques ou statistiques réalisées par des organismes concernés et/ou au niveau du ministère (textes et directives) selon la méthode décrite par GHERIB *et al.* (2016) [7].

2.- Résultats et discussion

2.1.- Etat des lieux sur les ressources hydriques en Algérie

Avec une superficie de 2 381 741 km², l'Algérie est divisée en 48 wilayas, dont près de 80% du territoire représente une zone désertique où les précipitations sont quasi-nulles et les ressources en eau superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie du flanc septentrional de l'Atlas [8]. Selon MOZAS et ALEXIS (2013), les potentialités hydriques de l'Algérie sont estimées en moyenne à 18 milliards de m³/an, dont 12.5 milliards de m³ dans les régions Nord (10 milliards de m³ d'écoulements superficiels et 2.5 milliards de m³ de ressources souterraines renouvelables), 5.5 Milliards de m³ dans les régions sahariennes (0.5 milliards m³ d'écoulements superficiels, 5.0 milliards de m³ ressources souterraines fossiles) [9] (fig. 1). Les ressources hydriques algériennes sont

renouvelables, 60% pour les eaux de surface et 15% pour les eaux souterraines [10, 8, 11 12] (fig. 2).

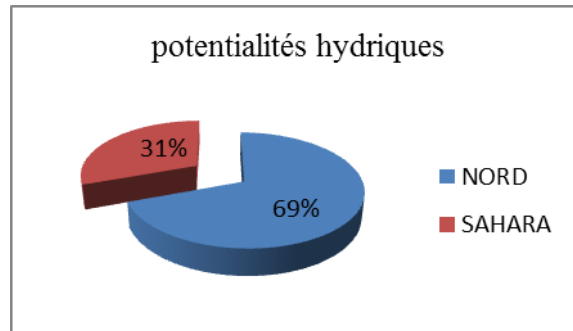


Figure I.- Pourcentage du potentiel hydrique de l'Algérie [9]

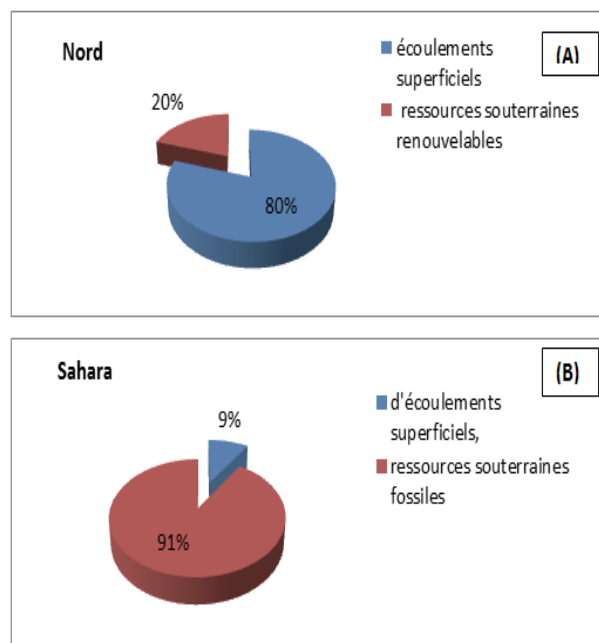


Figure II.- Pourcentage de potentiel hydrique (A: Nord; B: Sahara) [11]

2.2.- Ressources en eaux de surface et souterraines

Les résultats recueillis par l'enquête à partir des rapports de la commission de l'aménagement du territoire et de l'environnement du ministère des ressources en eaux (tab. I); ont permis de constater une répartition spatiale inégale des eaux de surface et souterraines en Algérie, d'une région hydrographique à l'autre. Cependant, les eaux de surfaces sont concentrées principalement dans le nord du pays, avec 3,7 milliard de m³ dans le Constantinois-Seybouse-Mellegue, et 3,4 milliard de m³ dans l'Algérois-Hodna - Soummam. Les eaux souterraines sont concentrées principalement dans le Sahara, avec 5 milliard de m³ (tab. I).

Tableau I.- Répartition spatiale des eaux de surface et souterraines en Algérie [5]

Régions hydrographiques	Eaux superficielles	Eaux Souterraines	Total de la ressource
Oranie, Chott Chergui	1 milliard de m ³	0.6 milliard de m ³	1.6 milliard de m ³
Cheliff, Zahrez	1.5 milliard de m ³	0.33 milliard de m ³	1.83 milliard de m ³
Algérois, Hodna, Soummam	3.4 milliard de m ³	0.74 milliard de m ³	4.14 milliard de m ³
Constantinois, Seybouse, Mellegue	3.7 milliard de m ³	0.43 milliard de m ³	4.13 milliard de m ³
Sahara	0.2 milliard de m ³	5 milliard de m ³	Nappe albienne

Les nappes phréatiques sont alimentées par les précipitations grâce à la perméabilité des sols. Dans le nord du pays, les eaux souterraines sont estimées à 1,9 milliard de m³. Ces ressources qui sont relativement faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90% (tab. I), beaucoup de nappes connaissent même une surexploitation critique tels qu'au Mitidja et autres périmètres urbains industriels et touristiques. Actuellement, il est estimé à plus de 12000 forages, 9000 sources et 100000 puits qui sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture, l'alimentation en eau potable et industrielle (AEPI) [11].

Dans le nord du pays, les réservoirs sont renouvelables. Ils sont estimés à 126 nappes principales. Dans le sud, quelques nappes phréatiques souvent saumâtres existent, dans les lits des oueds tels que les oueds Ghir, M'Zab, Saoura etc. Mais, l'essentiel du potentiel hydrique se trouve dans les nappes du Sahara septentrional. Le renouvellement de ces nappes fossiles ou semi fossiles n'est assuré qu'à hauteur de 80 millions de m³ (tab. I).

2.3.- Barrages

Les barrages sont le principal vecteur disponible en matière de domestication des eaux superficielles. L'Algérie avec ses 84 barrages de plus de 15 m de hauteur (78 sont en exploitation), ne mobilise que 8.9 milliard de m³ [12]. Cependant, des pays comme le Maroc mobilise 10 milliard de m³, avec 104 grands barrages, la Tunisie mobilise 2.4 milliard de m³, avec ses 28 grands barrages [8].

Le secteur des ressources en eau en Algérie a connu une grande évolution. Dans les années 1962 le nombre des barrages n'était que 13 barrages, alors que de nos jours, le parc national compte 84 barrages, ce qui a augmenté la capacité des eaux mobilisées de 0.45 milliard de m³ à 8.9 milliard m³, soit les 78% des potentialités (fig. 3). Dans le programme du MRE, 19 barrages pour une capacité de 1.3 milliards m³, ont été programmé par MRE durant la période 2010-2014.

Pour ADJOU (2013), il faut signaler pour l'ensemble des barrages algériens que les sédiments causent un grand problème en privant le pays de 800 millions de m³ d'eau [12]. Soulignons que les conditions naturelles et économiques en Algérie ne permettent pas d'avoir des barrages de plus grandes capacités comme c'est le cas par exemple de l'Egypte où le barrage d'Assouan renferme une capacité théorique de 160 milliards de m³ (soit 4 fois les écoulements superficiels de tous les pays du Maghreb) [3].

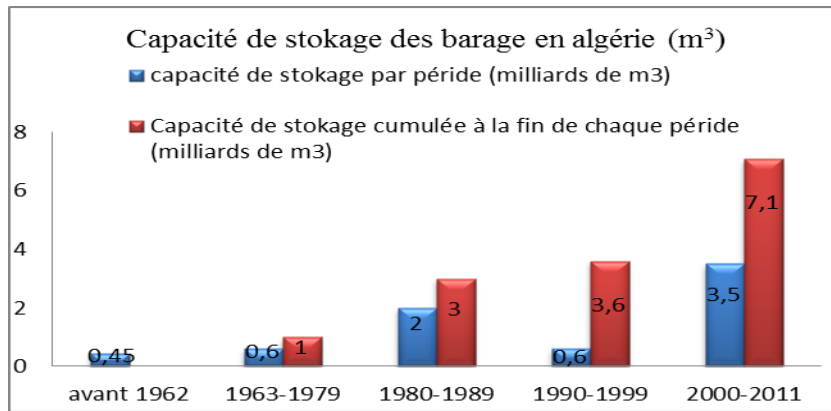


Figure III.- Evolution du nombre de barrages réalisés et capacité de stockage en Algérie 1992- 2011 [11].

2.4.- Ouvrage de traitement et d'épuration des eaux usées

La protection des ressources en eau contre les effets de la pollution a été prise en considération par les pouvoirs publics algériens dès 1970 [10]. C'est ainsi qu'à la fin de 1990, l'Algérie comptait au moins 36 stations en exploitation [14]. Le nombre a passé à 200 STEP en 2015, avec une capacité d'épuration estimée à 12 millions Eq/H, soit 800 hm³/an sur un volume d'eau rejeté estimé à 1.4 milliard m³/an [15].

L'ONA compte diversifier les projets entre station d'épuration et stations de lagunage, ainsi sur les 108 STEP en exploitation en 2014, 60 sont des stations de lagunages. Près de 350 stations de pompage sont gérées par l'ONA, 39.000 km de réseau d'assainissement avec la perspective de récupérer un total de 44.000 km en étendant son activité à de nouvelles wilayas. Cependant, avec les 927 Hm³/an de volume d'eau rejetée, la capacité théorique totale d'épuration est de l'ordre de 700 Hm³/an. Cette quantité augmentera pour atteindre les 900 Hm³/an à l'horizon de 2020, soit une capacité de traitement de l'ordre de 75% [13].

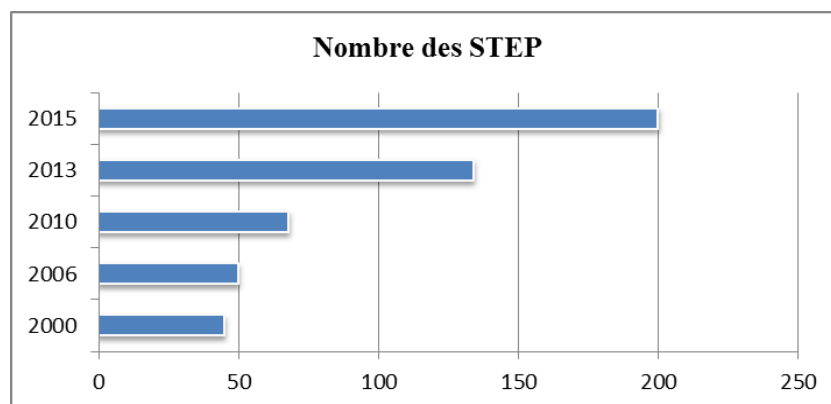


Figure IV.- Evolution du nombre des STEP et stations de lagunage en Algérie (2000-2015) [16].

2.4.- Situation actuelle des eaux usées et leur réutilisation

En Algérie, les eaux usées représentent une des composantes de l'offre globale en eau, au même titre que les eaux superficielles et souterraines, leur volume annuel est estimé

entre 700 et 750 millions de m³ par an [17,13], dont plus de 550 millions de m³ correspondent aux agglomérations de plus de 50 000 habitants [18]. La capacité totale de traitement est près de 7 million Eq/H, soit un débit nominal journalier de plus d'un million m³/j (plus de 52% de la population raccordée à un réseau d'assainissement bénéficiant d'un traitement d'eau usée). Selon le MRE, plus de 160 millions de m³ d'eaux usées ont été épurées en 2013, pour une population de près de 20 millions d'habitants [19] (fig.5 et 6).

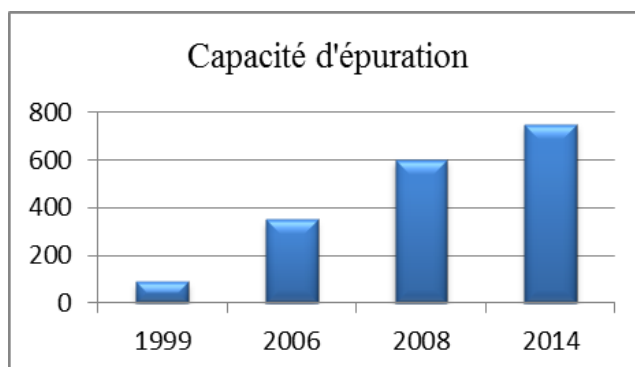


Figure V.- Evolution des capacités d'épuration [19]

Le potentiel de réutilisation des eaux usées à des fins agricoles, a connu une évolution de manière significative d'environ 45 millions de m³ en 2012 à environ 325 million m³ en 2014 [13].

2.5.- Réutilisation des eaux usées

La réutilisation des eaux usées non traitées est formellement interdite par la loi n° 83-03 du 5 février 1983, relative à la protection de l'environnement et la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, portant le code des eaux. Les valeurs maximales de rejets d'effluents liquides par les établissements industriels sont définies par le décret 93-160 du 10 juillet 1993 qui charge également les Inspections de l'Environnement des wilayas (IEW) d'effectuer les contrôles.

Selon les résultats de l'enquête, il se distingue deux types de réutilisations des eaux usées dont les réutilisations domestiques et industrielles (3,1 millions de m³/an) et les réutilisations pour irrigation des grands et petits périmètres agricoles (3,4 millions de m³/an) (tab. II).

Tableau II.- Répartition de l'eau utilisée par usages [19]

Usages	Utilisation (2012) (millions de m ³ /an)	2030 (millions de m ³ /an)
Usage domestique et industriel	3,1	4,2 – 4,6
Irrigation (Grands et petits périmètres)	3,4	7,8 – 8,2
Total	6,5	12 – 12,8

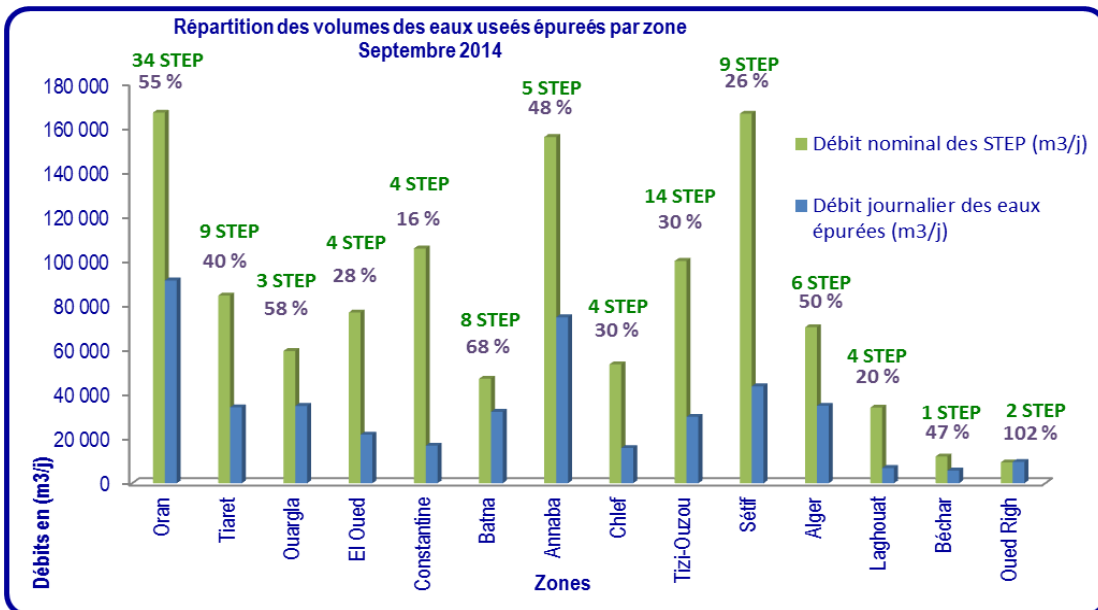
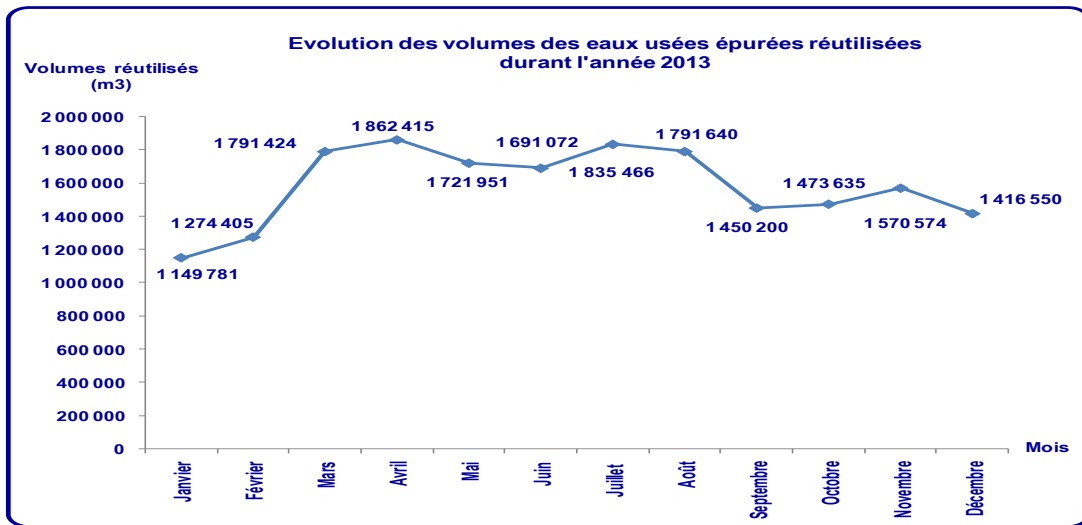
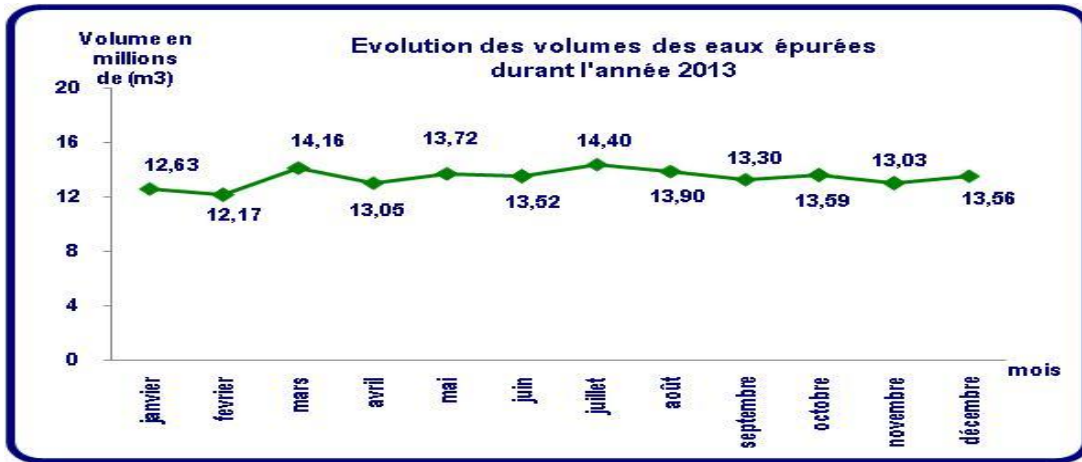


Figure VI.- Statistiques sur les eaux usées épurées en Algérie [13]

2.6.- Réutilisation pour l'irrigation

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique qui date des temps anciens. Selon le MRE, dès les années 1990, des programmes de réalisation et de modernisation d'ouvrages de traitement destinés à la réutilisation des eaux usées en irrigation ont été mis en œuvre [19]. Le ratio entre la réutilisation des eaux usées et l'affectation des ressources permet d'estimer la contribution de la réutilisation des eaux usées en irrigation. Cette contribution est de 13.37% dans le cas de la région hydrographique Chelif Zahrez, de 21.4% dans la région hydrographique Constantine-Seybousse-Mellegue, et de 34.92 % dans la région hydrographique Oranie-Chott-Chergui. Cette dernière est nettement déficitaire en pluviométrie par rapport aux autres régions du Nord algérien (400 mm/an environ). La composante réutilisation des eaux usées en irrigation devient même prépondérante avec un ratio de 45%, voire 100% dans le cas du périmètre de Mléta dans la région de l'Oranie de l'Ouest algérien [3, 20].

Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle [19]. Parmi les stations d'épurations exploitées par l'ONA à travers les 43 wilayas, quelques stations sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. En 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m³/an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles [19]. En effet ce potentiel de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles a connu une évolution significative où environ 17 millions de m³ ont été enregistrés en 2011, environ 45 millions de m³ en 2012 300 millions de m³ en 2014 [19, 13].

Selon l'enquête, 25 STEP sont actuellement concernées par les projets de REUE pour l'irrigation de plus de 70 000 hectares de terres agricoles (tab. III). **D'un autre côté**, un projet d'élaboration de normes algériennes et d'un guide technique pour les bonnes pratiques de la réutilisation des eaux usées pour des fins agricoles est en cours d'approbation par l'Institut Algérien de Normalisation (IANOR).

2.7.- Réutilisation municipale

Les réutilisations d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses. En Algérie, les eaux usées épurées sont réutilisées principalement par la protection civile qui récupère un volume de 18763 m³/mois d'eau usée épurée de la STEP de Tipaza pour lutter contre les incendies, et les collectivités locales qui récupèrent 12 m³/mois des eaux épurées pour le nettoyage de la ville à partir de la STEP de Boumerdès.

2.8.- Réutilisation industrielle

Pour certains pays, l'eau recyclée fournit 85% des besoins globaux en eau pour l'industrie [12]. La REUE industrielle peut se faire dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Outre, cette réutilisation est possible dans les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc. [21]. En Algérie, le seul exemple à citer est celui de la STEP de Jijel, qui cède un volume de 15000 m³/mois d'eau usée au profit de la tannerie de Jijel.

Tableau III.- Statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles [14]

Désignation	Capacité (Eq/H)	Débit nominal (m3/j)	Volume mensuel épuré (m3)	Volume mensuel réutilisé (m3)	Domaine Agricole (ha)	Type de culture	Utilisateurs (Concessionnaire)
Station d'épuration à boues activées de Boumerdes	75000	15000	484480	62282,4	Flici : 49	Pépinière d'Olivier, Oranger et Vignes	Flici
				62282,4	Rahmoun :76		Rahmoun
Station de lagunage aéré d'Ouargla	260102	56997	991950	99195	16.5	4000 palmiers dattiers et 100 Oliviers	Autorisation DRE
Station de lagunage aéré de kouinine (El Oued)	239134	44335	567600	33600	15	Arbres/(Eucalyptus et kazarina)	ONA
Station d'épuration à boues activées de Tlemcen	150000	30000	510300	484785	Plaine de Hennaya 912 22	Arboriculture	ONID
Station d'épuration à boues activées de Guelma	200000	32000	550560	550560	Guelma, Bou mahra et Bouchegouf 6980	Les cultures Maraichères et Les vergers	O.N.I.D Réutilisation indirecte Apport à Oued Seybousse
Station d'épuration à boues activées de Bordj Bou Arreridj	150000	30000	324720	324720	Dhaissa 150	Céréales	/
Station d'épuration à boues activées de Souk Ahras	150000	30000	182460	182460	200	Arboriculture	Réutilisation indirecte Apport à Oued Medierda
Station d'épuration à boues activées de M... ..	100000	13000	276240	276240	400	Oliviers	Associations agriculteurs Réutilisation indirecte
Station de lagunage aéré de Ghriss	48000	5800	34950	34950	420		
Station de lagunage aéré de Bouhanifia	32500	3900	STEP à l'arrêt		475		
Station de lagunage aéré de Hacine	20000	3200	24630	24630	390		
Station de lagunage naturel d'Oued Taria	21000	2520	19440	19440	196		
Station de lagunage naturel de Hachem	15000	1800	38400	/	220		
Station de lagunage naturel de Sehaouria	12600	1513	STEP à l'arrêt		143		
Station de lagunage naturel de Tizi	12000	1440	26490	26490	200		
Station de lagunage naturel de Mohammadia Est	19000	2280	35100	35100	175		
Station d'épuration à boues activées de Ain El Hadjar	30000	4800	101670	22150	58	Arboriculture, Céréales	Autorisation DRE
Total des 17 STEP	1534336	278585	4168990	2238885	11076		

Conclusion

La gestion intégrée des eaux usées épurées est la meilleure approche pour la mise en valeur et la gestion efficace et durable des ressources hydriques, pour faire face à la demande croissante de la population en Algérie. Les résultats obtenus laissent apparaître que les potentialités hydriques, y compris eaux de surfaces et eaux souterraines, s'élèvent à 18 milliards de m³. Elles restent très faibles par rapport à la demande croissante de la population. Quant aux ouvrages de traitement et d'épuration, leur nombre a augmenté d'une façon remarquable ces dernières années, dont il est enregistré en 2015, 200 STEP et 350 stations de pompage. Le volume annuel des eaux usées générées par la population est de 927 millions m³/an, dont 700 millions m³/an sont traitées par l'ONA et réutilisées par les activités industrielles (3,1 millions m³/an), l'irrigation agricole (3,4 millions m³/an). En 2014, l'ONA compte 108 STEP en exploitation dont 60 SL. Le MRE compte 97 barrages pour le stockage de 9,1 milliards de m³.

La réutilisation des eaux usées traitées, constitue une forme de valorisation d'un potentiel hydrique important, qui permet d'alléger le recours aux ressources hydriques conventionnelles, notamment les eaux de surface et souterraines très vulnérables. Actuellement, les eaux usées épurées constituent une ressource alternative renouvelable, fortement sollicitée par les agriculteurs, les industriels et les collectivités locales.

Remerciement

Nous tenons à remercier vivement la direction du Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBT) de Constantine (Algérie), pour le financement de cette étude et remercions également les responsables de l'ONA, de STEP et de LS pour leur coopération.

Références bibliographiques

- [1].- OMS, 1989.- L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture: recommandation avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, pp 17-60.
- [2].- Nichane M., Khelil M. A., 2014.- Changements climatiques et ressources en eau en Algérie: vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation. Revue des BioRessources, vol. 4 N° 2: 1-7.
- [3].- Hartani T., 2005.- La réutilisation des eaux usées en irrigation: cas de la Mitidja en AliHammani, Marcel Kuper, Abdelhafid Debbarh. Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, IAV Hassan II, Rabat, Maroc, 11 p.
- [4].- Benblidia M., 2011.- L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche Economique Etude nationale Algérie, Plan Bleu Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM, Sophia Antipolis, France, 24p.
- [5].- Bouchedja A., 2012.- La politique nationale de l'eau en Algérie. Euro-RIOB, 10^{ème} Conférence Internationale, Istanbul, Pp 25.

- [6].- MRE, 2007.- Ressource superficielles. Ed. Ministère de ressources en eau, Algérie.
[http:// www.mer.gov.dz/eau/ress_superf.htm](http://www.mer.gov.dz/eau/ress_superf.htm). Consultation le 02/9/2014.
- [7].- Gherib A., Boufendi M., Temime A. et Bedouh Y., 2016.- Applications of phytoremediation in wastewater treatment in Algeria. Larhyss Journal, 26: 99-112.
- [8].- Kettab A., 2001.- Les ressources en eau en Algérie: Stratégies, enjeux et vision. Desalination, 136 (1): 25-33.
- [9].- Mozas M. et Alexis G., 2013.- État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. IPAMED, France, 27p.
- [10].- CATE, 2000.- Conseil nationale économique et social: l'eau en Algérie: le grand défi de domaine. Commission de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Algérie. [http:// www.cnes.dz/eau](http://www.cnes.dz/eau).
- [11].- Terra M., 2013.- Les réalisations de l'Algérie dans le secteur de l'eau de 1962 à 2012. Ministère des ressources en eau, Algérie, 37p.
- [12].- Adjou A., 2013.- l'Algérie se met hors de danger par 94 barrages et des ressources hydriques considérables après le pétrole restera l'eau. Mon journal (DZ), Algérie, 3p. <http://www.algerie360.com/algerie>.
- [13].- ONA, 2014.- Documentation interne du service d'exploitation ONA. Office nationale d'assainissement, Algérie. 20p.
- [14].- Amine S., 2008.- Algérie: sur les 300 stations d'épuration, seules 36 sont fonctionnelles. Mon journal (DZ), Algérie, 2p. <http://archives.tsa-algerie.com/divers>.
- [15].- APS, 2014.- L'Algérie aura 200 stations d'épuration d'eau en 2015 (ONA). Algérie presse service Algérie. Pp 3.
- [16].- Kasbadji M. N. 2013.- Potentiel Hydrique et énergies renouvelables en Algérie. Centre de Développement des Energies Renouvelables, Unité de développement des équipements solaire, Algerie: 1-34.
- [17].- Bouroubi Ouadfel Y.- Réseaux de surveillance des ressources en eaux du Nord-est algérien, Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), Algérie, 33p.
- [18].- MRE, 2003.- Synthèse sur la situation de l'assainissement et évaluation des besoins en station de traitement et d'épuration en vue de protéger les ressources en eau. Séminaire sur le secteur de l'eau en Algérie, Ministère de ressources en eau, Ministère des Ressources en eau, Algérie, 11p.
- [19].- MRE, 2012.- Document interne. Ministère des Ressources en Eau, Algérie, 15p.
- [20].- Attab S., 2011.- Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration haoud-berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local. Mémoire magister, Université Kasdi Merbah-Ouargla, Algérie, 152 p.

- [21].- Baumont S., Jean-Philippe C. A. et Lefranc A. F., 2004.- Réutilisation des eaux usées épurées: Risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.

BIODIVERSITE ET REPARTITION DES MOUSTIQUES (DIPTERA: CULICIDAE) DANS LES OASIS DE LA REGION DE BISKRA (SUD-EST ALGERIEN)

BENHISSEN Saliha^{1,2*}; HABBACHI Wafa¹; OUAKID Mohamed Laid¹

⁽¹⁾*Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Badji Mokhtar, El-Hadjar, Annaba, Algérie*

⁽²⁾*Département de Biologie, Faculté des sciences-Université Med Boudiaf, M'Sila, Algérie*

E-mail: s.benhissen@yahoo.com / s.benhissen@yahoo.com / ouakidmomo@yahoo.fr / habbachi.waffa@yahoo.fr.

(Received 22 October 2016 - Accepted 28 March 2017)

Résumé.- *Les Culicidés constituent un fléau de santé publique. Ces insectes piqueurs sont nuisibles aux populations et continuent de transmettre des maladies infectieuses (le paludisme en particulier). Dans le but d'améliorer nos connaissances sur la biodiversité sur ces nuisibles, il est mené une série de récoltes dans différents gîtes larvaires dans la région de Biskra. Au cours d'une période d'étude allant du mois d'Octobre 2015 jusqu'au mois de Mars 2016; l'inventaire faunistique des espèces de Culicidae entrepris dans 3 sites a abouti au recensement de 11 espèces appartenant à 4 genres Culex, Aedes, Anopheles et Culiseta. Le genre Culex est le mieux représenté particulièrement avec l'espèce Culex pipiens, il est suivi du genre Aedes.*

Mots clés: *Biodiversité, Culicidae, inventaire faunistique, Biskra, Culex, Aedes.*

BIODIVERSITY AND DISTRIBUTION OF MOSQUITOES (DIPTERA: CULICIDAE) IN THE OASIS OF BISKRA REGION (SOUTH-EAST ALGERIA)

Abstract.- *The Culicidae constitute a plague of health these insects stiches are harmful with the populations and continue to transmit infectious diseases (paludism in particular). To improve our knowledge of biodiversity these pests, we conducted a series of crop in various breeding in Biskra-region during the period: October 2015 to March 2016. The faunal species inventory of Culicidae at 3 sites leads to the census of 11 species belonging to 4 genus Culex, Aedes, Anopheles and Culiseta. The Culex is best represented with particularly Culex pipiens, is followed Aedes.*

Key words: *Biodiversity, Culicidae, Inventory faunal, Biskra, Culex, Aedes*

Introduction

En Algérie, les Culicidés constituent les insectes piqueurs les plus nuisibles aux populations, certaines espèces peuvent transmettre des maladies infectieuses (paludisme en particulier). Des campagnes de démoustication régulières sont menées contre ces insectes à la fois pour la réduction des nuisances au niveau des centres urbains et ruraux. L'efficacité de telles luttes, qu'elles soient chimiques ou biologiques, est tributaire de la connaissance de l'écologie de ces insectes [1].

Au cours des trois dernières décennies, les études bioécologiques concernant les Culicidés du Maghreb et plus particulièrement de l'Algérie, ont été délaissées; les seuls travaux réalisés sur ces sujets sont des études écologiques disparates, les plus souvent non publiées. La bioécologie des moustiques sur le littoral algérois a fait l'objet de peu de travaux. Dans le Nord de l'Algérie, BERCHI (2000) et BOUDEMAGH *et al.* (2013) ont penché sur l'inventaire et l'étude de la bioécologie des Culicidae à l'est [2,3], à Alger et Tizi-Ouzou on note les travaux de LOUNACI (2003) [4] et à l'Ouest les travaux de

HASSAIN (2002) à Tlemcen [5]. Cependant, les travaux entrepris dans le Sahara sont restreints et ils sont résumés dans les travaux de BEBBA (2004) et de CLASTRIER et SENEVET (1961) à Oued Righ (Touggourt et Djamâa) [6,7] et les travaux de MERABETI et OUAKID (2010), de BENHISSEN *et al.* (2014) et de BENHISSEN (2016) dans la région de Biskra [8,9,10]. C'est dans cette perspective qu'il sera abordé une étude dynamique des populations dans la localité de l'oasis d'Elhadjeb et Djemorah à Biskra.

1.- Matériels et méthodes

1.1.- Présentation de la région d'étude

La région de Biskra est située au sud-est de l'Algérie. Elle est située entre le 4°15' et le 6°45' Est de longitude et entre le 35°15' et le 33°30' Nord de latitude dont l'altitude varie entre 29 et 1600 mètres. Elle est limitée par les wilayas de Batna et Msila au Nord, Ouargla et El-Oued au Sud, Khenchela à l'Est et Djelfa à l'Ouest (fig. 1). Cette zone est caractérisée par un étage bioclimatique aride.

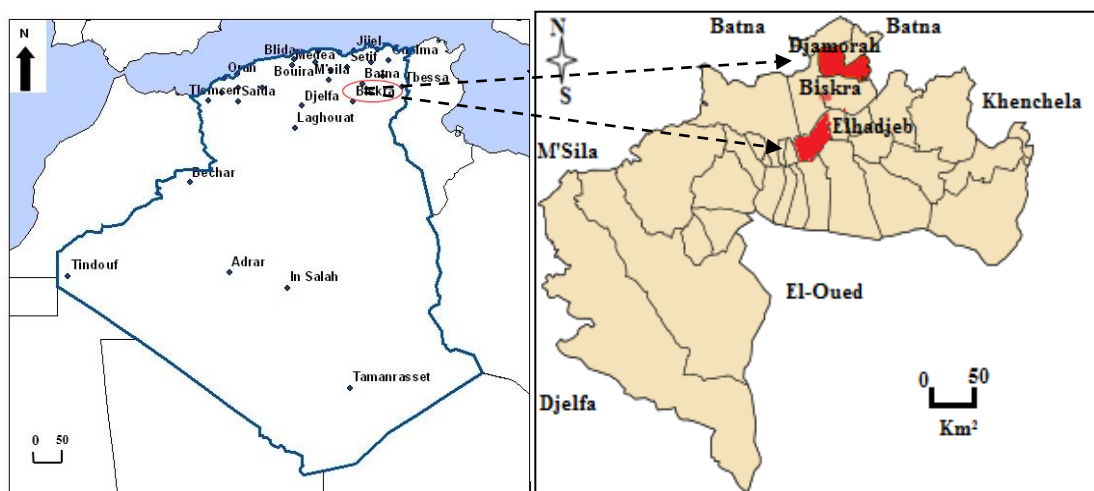


Figure 1.- Localisation géographique des sites d'étude (Elhadjeb; Djemorah) [11]

1.2.- Gîtes prospectés

Cette étude a eu lieu du mois d'Octobre 2015 jusqu'au mois de Mars 2016, soit sur une durée de 6 mois. Elle a porté sur un échantillon de 8 gîtes dans les deux sites Elhadjeb et Djemorah [puits (1), bassin (1), mare (3), marécage (2), fossés (2)] choisis selon différents critères: la présence des larves de Culicidés dans un lot de gîte, l'accessibilité, la pérennité et le non traitement par les insecticides.

1.3.- Echantillonnage et identification de la population culicidienne

La collecte des larves est réalisée à l'aide d'une louche (de 500 ml) puis les larves sont triées par stade et élevées au laboratoire (température de 25 °C; humidité de 70 % et 12 heures de scotopase) en vue d'une étude taxonomique.

Pour la détermination des spécimens, il est utilisé les clés dichotomiques de HIMMI *et al.* (1995) [12]. Les résultats obtenus ont été, par ailleurs, confirmés grâce au logiciel d'identification des Culicidae de l'Afrique méditerranéenne [13].

1.4.- Méthode d'exploitation des résultats

Afin de caractériser ce peuplement Culicidien, les indices écologiques de composition ont été calculés pour connaître, l'abondance relative (Fc) [14], la fréquence d'occurrence (C%) [15] et la catégorie de chaque espèce [14].

2.- Résultats et discussion

2.1.- Composition de la faune culicidienne

Sur les sites, l'abondance des gîtes et la spécificité de leur habitat présentent de grands avantages pour une telle étude.

L'analyse de la composition du peuplement culicidien des sites d'études (tab. I), révèle la présence de 11 espèces appartenant à quatre genres différents qui sont répartis en deux sous famille. La première est l'Anophelinae qui est présente par une seule espèce *Anopheles multicolor* et la deuxième est celle des Culicinae, où il est noté 3 tribus, la tribu des Aedini est représentée par une trois espèces: *Aedes caspius*, *Aedes dorsalis* et *Aedes detritus*. La tribu des Culicini est formée par un seul genre, celui des *Culex* qui compte 6 espèces: *Culex pipiens*, *Culex modestus*, *Culex hortensis*, *Culex theileri*, *Culex deserticola* et *Culex laticinctus* et la tribu des Culisetini est formée par une seule espèce. Il s'agit de *Culiseta longiareolata*.

Le site d'Elhadjeb héberge une faune culicidienne plus diversifiée. Il réunit 10 espèces dont quatre sont propres à ce type de milieu. Ce sont *Aedes caspius*, *Aedes dorsalis* et *Aedes detritus* et *Culex deserticola*. Cela traduit bien l'affinité très marquée de ces espèces pour le milieu qui se caractérise par des teneurs assez considérables en sel. Les biotopes larvaires favorables à ces espèces répondent à des exigences en périodicité de mise en eau, avec un niveau de salinité permettant le développement d'une végétation halophile [16,17].

Tableau I.- Culicidae identifiés dans les sites d'étude

Site	Elhadjeb 01	Elhadjeb 02	Djemorah
Espèces identifiées	<i>Aedes caspius</i>	<i>Culiseta longiareolata</i>	<i>Culiseta longiareolata</i>
	<i>Aedes dorsalis</i>	<i>Culex laticinctus</i>	<i>Culex laticinctus</i>
	<i>Aedes detritus</i>	<i>Culex deserticola</i>	<i>Culex pipiens</i>
	<i>Culex pipiens</i>	<i>Culex pipiens</i>	<i>Culex deserticola</i>
	<i>Culex deserticola</i>		<i>Culex hortensis</i>
	<i>Culex modestus</i>		<i>Culiseta longiareolata</i>
	<i>Culex theileri</i>		<i>Culex laticinctus</i>
	<i>Culex laticinctus</i>		
	<i>Culiseta longiareolata</i>		
	<i>Anopheles multicolor</i>		

2.2.- Indices écologiques de composition

Au vu des résultats, 36960 individus sont récoltés au niveau des différentes stations de la région de Biskra. Le genre *Culex* occupe la première position. Il est représenté par 6 espèces. *Cx. pipiens* est l'espèce la mieux représentée. La deuxième position est occupée par le genre *Aedes* dont *A. caspius* est l'espèce la plus abondante et la plus fréquemment récoltée au niveau des différents gîtes prospectés (tab. II).

En ce qui concerne l'abondance relative, il est remarqué que l'espèce *C. longiareolata* prend la première place avec 13076 larves, soit 51,02%. En deuxième position *Cx. pipiens* avec 13076 larves, soit 35,38 % et la troisième c'est *Cx. laticinctus* avec 2728 larves, soit 7,38 %. Les autres espèces, présentent des valeurs variables de l'abondance relative. Ceci peut être expliqué par le nombre d'échantillons réalisé dans cette région ainsi que la période de prospection.

Les résultats obtenus s'expliquent par le fait que la région est caractérisée par la présence d'espèces dont le nombre d'individus dépend de l'état de santé des femelles, de l'abondance alimentaire, des conditions climatiques et l'éclosion des œufs. Selon ARON et GRASSE (1939), les Culicidés sont conditionnés par la température et par la composition biologique ou chimique de l'eau [18]. Les composantes physico-chimiques d'une eau peuvent jouer un rôle primordial non seulement dans la biologie d'une espèce mais aussi dans la structure et la dynamique de la biocénose toute entière [2].

Toutes les espèces récoltées au niveau des stations d'étude de la région de Biskra sont de les mêmes catégories (omniprésente ou régulière) à l'exception de les deux espèces *Culex theileri* et *Culex hortensis* qui son des catégories différentes (accidentelle et accessoire) respectivement. Ceci semble être lié à l'échantillonnage, aux conditions écologiques différentes et aux conditions climatiques. Pour SEGUY (1947) [19], l'abondance en espèces de Culicidae diminue lorsque le couvert végétal et l'ombre qui sont créés par les arbres diminuent.

Tableau II.- Paramètres écologiques de composition des populations culicidiennes dans la région de Biskra (Fc%: abondance relative; C%: fréquence d'occurrence)

Espèce	N	Fc %	Occurrence	C%	Catégorie
<i>Aedes caspius</i>	1179	3,19	5	100,00	omniprésente
<i>Aedes detritus</i>	521	1,41	5	100,00	omniprésente
<i>Aedes dorsalis</i>	9	0,02	3	60,00	régulière
<i>Anopheles multicolor</i>	466	1,26	4	80,00	régulière
<i>Culex deserticola</i>	101	0,27	3	60,00	régulière
<i>Culex laticinctus</i>	2728	7,38	5	100,00	omniprésente
<i>Culex modestus</i>	15	0,04	4	80,00	régulière
<i>Culex pipiens</i>	13076	35,38	5	100,00	omniprésente
<i>Culex theileri</i>	4	0,01	1	20,00	accidentelle
<i>Culex hortensis</i>	5	0,01	2	40,00	accessoire
<i>Culiseta longiareolata</i>	18856	51,02	5	100,00	omniprésente

Conclusion

Les inventaires ont été effectués dans cinq sites différents. Les prospections menées sur terrain, ont permis d'inventorier 11 espèces de Culicidae appartenant à 3 genres (*Culex*, *Culiseta* et *Aedes*). L'analyse de la composition en espèces de Culicidae dans les différents sites d'étude montre en premier lieu que chaque milieu présente une particularité faunistique.

En effet, *Cx. pipiens* et *Cs. longiareolata* se développent dans tous types de gîtes qu'ils soient artificiels ou naturels. Leur probabilité de rencontre est élevée et leur pouvoir de dispersion est considérable. Il existe des espèces communes pour la plupart des gîtes d'études, c'est le cas de *Cx. pipiens* et *C. longiareolata*, d'autres sont propres à certains

gîtes.

Références bibliographiques

- [1].- Lounaci Z., Doumandji S., Doumandji M. B. et Berrouane F. Z., 2014.- Diptéran biodiversity of agricultural and medico veterinary interest in the marsh of Reghaia (Algeria). *International Journal of Zoology and Research (IJZR)*,4 (5): 71-82.
- [2].- Berchi S., 2000.- Bioécologie de *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae) dans la région de Constantine et perspectives de luttés. Thèse de Doctorat Sciences, option Entomologie. Université de Constantine, Algérie, 133p.
- [3].- Boudemagh N., Bendali Saoudi F., Soltani N., 2013.- Inventory of Culicidae (Diptera: Nematocera) in the region of Collo (North-East Algeria). *Annals of Biological Research*, 4 (3): 1-6.
- [4].- Lounaci Z., 2003.- Biosystématique et bioécologie des Culicidae (Diptera, Nematocera) en milieux rural et agricole. Thèse de Magistère, INA, El-Harrach, 120p.
- [5].- Hassain K., 2002.- Biogéographie et biotypologie des Culicidae (Diptera–Nematocera) de l’Afrique méditerranéenne. Bioécologie des espèces les plus vulnérantes (*Aedes caspius*, *Aedes detritus*, *Aedes mariaae* et *Culex pipiens*) de la région occidentale d’Algérie. Thèse de doctorat Sciences, Université de Tlemcen, 191p.
- [6].- Bebbi N., 2004.- Etude comparative des effets des insecticides sur les populations larvaires de Culicidae de Constantine et Oued Righ (Touggourt et Djamâa). Mémoire Magistère, Université de Constantine, 179p.
- [7].- Clastrier J., Senevet G., 1961.- Les moustiques du Sahara central. Ed. Institut Pasteur d’Algérie et laboratoire d’entomologie der service antipaludique de la délégation générale du gouvernement en Algérie, T. XXIX, no 2: 241- 253.
- [8].-Merabeti I. et Ouakid M. L., 2010.- Contribution à l’étude des moustiques (*Diptera: Culicidae*) dans les oasis de la région de Biskra (nord-est d’Algérie). Actes Du Séminaire International Sur La Biodiversité Faunistique En Zones Arides Et Semi-Arides:185-189.
- [9].- Benhissen S., Habbachi W. Masna F., Mecheri H., Ouakid M.L., Bairi A., 2014.- Inventaire des Culicidae des zones arides: cas des oasis d’Ouled-Djellal (Biskra; Algérie). *Journal ElWahat*, 7 (2): 86-91.
- [10].- Benhissen S., 2016.- Identification, composition et structure des populations Culicidiennes de la région d’Ouled-Djellal (Biskra). Effet des facteurs écologiques sur l’abondance saisonnière. Essais de lutte. Thèse de Doctorat, Université d’Annaba, Algérie, 135p.
- [11].- CRSTRA, 2009.- Centre de Recherche Scientifique et Techniques sur les Régions Aride, Revue scientifique annuelle, n° 08, 141p.

- [12].- Himmi O., Dakki M., Bouchra T. et El Agbani M. A., 1995.- Les Culicidae du Maroc: Clés d'identification, avec données biologiques et écologiques. Travaux de l'Institut Scientifique, Série Zoologie, N°44, Rabat, 50p.
- [13].- Brunhes I., Rhaim A., Geoffroy B., Angel G., Hervy J. P., 1999.- Les moustiques de l'Afrique méditerranéenne : logiciel d'identification et d'enseignement. Paris (FRA), Tunis : IRD ; IPT, 2000, 1 CD-ROM (Didactiques), ISBN 2-7099-1446-8.
- [14] - Dajoz R., 1971.- Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434p.
- [15].- Dajoz R., 1982.- Précis d'écologie. Ed. Bordas, Paris, 483p.
- [16].- Harant H. et Rioux J. A., 1953.- Notes écologiques sur les Diptères Culicidés. La fiche biocénotique. Travaux de la Société de pharmacie de Montpellier, 13: 66-70.
- [17].- Gabinaud A., Croset H., Cousserans J., Rioux J. A., 1975.- Ecologie de deux *Aedes* halophiles, *Aedes (O.) caspius* (Pallas, 1771) et *Aedes (O.) detritus* (Haliday, 1833) dans le midi de la France. I. Structure chorionique et critères d'identification des deux espèces au stade de l'œuf. Annales de Parasitologie Humaine et Comparée, 50: 123-130.
- [18].- Aron M. et Grasse P., 1939.- Biologie animale. Ed. Masson, Grigny, 1413p.
- [19].- Seguy E., 1947.- La vie des mouches et des moustiques. Ed. P. Lechevalier, Paris, 252 p.

INFESTATION DES AGRUMES PAR LA MOUCHE MEDITERRANEENNE DES FRUITS *Ceratitis capitata* (WIEDEMANN, 1824) (DIPTERA, TRYPETIDAE) A TLEMCEN-ALGERIE

SETTAOUI Soumia^{1,2}, TAIBI Ahmed^{1,2}, HAMMADI Fatiha³
et DOUMANDJI Salaheddine⁴

⁽¹⁾Département d'Agronomie, Faculté SNV/STU, Université Abou Bakr Belkaid,
Tlemcen, Algérie

⁽²⁾Laboratoire de recherche Gestion conservatoire de l'eau, du sol et des forêts et développement
durable des zones montagneuses de la région de Tlemcen, Université Abou Bakr Belkaid,
Tlemcen, Algérie

⁽³⁾Station régionale de la protection des végétaux, INPV, Tlemcen, Algérie.

⁽⁴⁾Département de zoologie, Ecole Nationale Supérieure Agronomique,
El Harrach, Alger, Algérie.

E-mal: e_coli1982@yahoo.fr

(Received 26 April 2017 - Accepted 06 June 2017)

Résumé.- La présente recherche consiste à comparer l'efficacité de capture de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* par trois types de pièges, à savoir le piège alimentaire, le piège à phéromone et le piège jaune. Les pièges sont placés sur quatre variétés d'agrumes (Thomson, Clémentine, Portugaise et Valentia-late) dans la station El Fehoul dans la région de Tlemcen (Algérie) entre 2015 et 2016. Il en ressort que le piège alimentaire (781 individus) qui est le plus efficace dans la capture des adultes de la Cératite, en comparaison avec le piège à phéromone (629 individus) et le piège jaune (34 individus). Les résultats montrent aussi que le vol des Cératites dure pratiquement trois générations, avec deux périodes de grandes activités en novembre et décembre pour les agrumes précoces (Thomson et Clémentine) et en mars pour les agrumes tardifs (Portugaise et Valentia-late). La densité des Cératites dans les différents vergers est en relation étroite avec la diversité des plantes hôtes, les conditions climatiques et la période d'utilisation des insecticides.

Mots clés: Agrume, variété, *Ceratitis capitata*, piège, Tlemcen.

INFESTATION OF CITRUS BY THE MEDITERRANEAN FRUIT FLY *Ceratitis capitata* (WIEDEMANN, 1824) (DIPTERA, TRYPETIDAE) AT TLEMCEN-ALGERIA

Abstract.- The present research is to compare the efficiency of the uptake of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* in three types of traps, namely the trap food, the trap to pheromone and the Trap yellow. The traps are placed on four varieties of citrus fruit (Thomson, Clementine, Portuguese and Valentia-late) in the station El Fehoul in the region of Tlemcen (Algeria) between 2015 and 2016. It shows that the trap food (781 individuals), which is the most effective in the capture of adults of the Mediterranean fruit fly, in comparison with the trap to pheromone (629 individuals) and the Trap yellow (34 individuals). The results also show that the flight of the Mediterranean fruit fly lasts almost three generations, with two periods of high activity in November and December for the early citrus fruit (Thomson and Clementine) and in March for citrus fruit late (Portuguese and Valentia-late). The density of the Mediterranean fruit fly in the different orchards is in close relationship with the diversity of host plants, climatic conditions and the period of use of insecticides.

Key words: Citrus fruit, variety, *Ceratitis capitata*, trap, Tlemcen.

Introduction

L'arboriculture fruitière fait partie intégrante de la vie économique et sociale à travers le monde entier. Les agrumes, en particulier, ont une grande importance dans le développement économique et social des pays producteurs. Ils constituent les produits d'exportation et de transformation en divers dérivés telles que les jus, confitures, essences, comme ils peuvent être une source d'emplois [1]. Le nom agrume est donné aux arbres appartenant à la famille des Rutacées et au genre botanique *Citrus*. Cette appellation d'origine italienne désigne les fruits comestibles et par extension les arbres qui les portent. À cette catégorie d'arbre appartiennent les orangers, les mandariniers, les citronniers, les cédratiers et les pamplemoussiers [1]. Les agrumes sont les fruits les plus produits dans le monde [2]. L'Algérie était traditionnellement exportatrice d'agrumes, éprouvait des difficultés à satisfaire les besoins de consommation qui ne cessent de croître sous l'effet de la consommation des fruits frais [2]. L'Algérie par sa situation géographique, son climat et la qualité de sa production, peut à juste titre prétendre occuper sur les places européennes une position de choix pour l'ensemble de sa production agrumicole [2].

L'agriculture algérienne vit une situation très difficile généralement par l'instabilité où les rendements n'ont pas progressé depuis l'indépendance. À cette régression des rendements, s'ajoute une diminution de la qualité qui rend les agrumes non compétitifs, contrairement à ceux des autres pays méditerranéens [2].

En effet, l'extension des zones cultivées enregistre des phénomènes de pullulation de certains prédateurs, parmi lesquels, il est retenu la classe des insectes qui est la plus importante. Parmi ces insectes, *Ceratitis capitata* Wiedemann, 1824 communément appelée la mouche méditerranéenne des fruits, est considérée comme étant l'insecte le plus redoutable sur les agrumes [3].

L'importance de la mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata*) en tant que ravageur, est liée à plusieurs facteurs, elle s'attaque aux cultures à haute valeur ajoutée et aux fruits sur le point de mûrir. Il s'agit d'une espèce très polyphage qui évolue sur différentes espèces fruitières à maturité successive dans le temps, tels que les agrumes, les abricots, les pêches et les figes. L'inventaire des plantes hôtes est de 353 espèces cultivées et non cultivées parmi lesquelles figurent pratiquement toutes les espèces fruitières [4]. Signalée pour la première fois en Algérie en 1858 [5], cet insecte se trouve dans les régions littorales surtout, et dans les oasis, des conditions bioclimatiques favorables à son extension. La mouche méditerranéenne des fruits est l'un des principaux obstacles à la production des fruits sains et à leur exportation [6].

L'objectif de la présente recherche est de faire un suivi des dégâts de la Cératite en fonction du temps dans la région de Tlemcen. C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent article qui consiste à suivre l'évolution des captures de trois pièges (alimentaire, phéromone et jaune) sur 4 variétés d'agrumes (Thomson, Clémentine, Portugaise et Valentia-late). La recherche est réalisée dans une station de la région de Tlemcen (El Fahoul) entre novembre 2015 et avril 2016.

1.- Matériels et méthode

La station d'étude est une partie de la région de Tlemcen, à l'extrême Nord-Ouest de l'Algérie. Elle fait partie de la commune d'El Fehoul et de la daïra de Remchi, située à une

altitude moyenne de 170 mètres. Elle est limitée par la wilaya d'Ain Temouchent à l'Est, par la commune de Ben Sekrane au sud, par la commune d'Ain Youcef au nord-ouest et par la commune de Sebaa Chioukh au nord. Elle se situe entre la commune d'Ain Youcef et la commune d'El Fehoul. La présente recherche est réalisée dans la ferme Belaidouni Mohamed s'étendant sur une superficie totale de 205 ha (105 ha en irriguée et 100 ha sont à sec). Les principales cultures dans la ferme sont l'arboriculture (agrume, oléiculture, pistachier), la viticulture, les cultures annuelles et saisonnières (céréales et pomme de terre) et l'apiculture.

Les ressources hydriques sont assurées par deux oueds (Oued Tafna et Oued Isser) et cinq barrages (El Mafrouch, El Abdelli, Beni Bahdel, Boughrara et Sekkak).

Le dépôt des pièges est effectué entre le 4 novembre 2015 et le 6 janvier 2016 pour les variétés Thomson et Clémentine, et entre le 18 février et le 15 avril 2016 pour les variétés Portugaises et Valentia-Late. Il est réalisé une sortie tous les 8-10 jours afin de suivre la dynamique des populations de la Cératite.

Le piège à phéromone utilisé (phéromone de type Russell IPM, UK) combine une couleur jaune et une phéromone qui attire les Cératites mâles. Sur le couvercle; est pulvérisé un insecticide (Deltaméthrine) qui tue la Cératite lorsqu'elle entre dans le piège. Pour être efficace, ce dispositif doit être mis en place avant l'apparition de la Cératite sur la culture, environ une à deux semaines. Il doit permettre de capturer les toutes premières Cératites qui émergent ou migrent vers la parcelle pour ralentir le cycle de reproduction de la Cératite.

Le deuxième piège est un piège alimentaire qui consiste à une bouteille en plastique de 1,5 litre contenant un liquide à base d'hydrolysate de protéines dissocié dans une quantité d'eau.

Le troisième piège est une plaque jaune engluée. Elle repose sur l'attraction des insectes par la couleur jaune. La surface de la plaque est couverte par une couche engluée qui fixe l'insecte sans sécher même avec une forte température.

La prospection pour le calcul des cératites capturées est assurée chaque semaine, des plaques ou des phéromones peuvent être changées.

2.- Résultats

Un total de 629 cératites a été capturé par le piège à phéromone, 781 individus par le piège alimentaire et 34 individus par le piège jaune (tab. 1). Les pièges jaunes concernent seulement les variétés Portugaise et Valentia-late. C'est la variété Thomson qui comporte le plus grand nombre de captures avec 353 cératites par le piège alimentaire et 287 individus par le piège à phéromone. Le piège alimentaire est le plus efficace pour la capture de la cératite, car l'alimentation est un bon moyen pour capturer les adultes.

Dans la présente étude, la cératite effectue deux générations en présence des variétés Thomson et Clémentine, et elle effectue une troisième génération en présence des variétés Portugaises et Valentia-late (fig. 1, 2, 3 et 4). Les dégâts de la cératite commencent au début de novembre sur les variétés précoces. Les dégâts ne s'arrêtent pas sur les agrumes jusqu'à la fin d'avril.

Tableau I.– Comparaison des pièges en fonction de la variété de la plante hôte (-: Absence de données)

Variétés	Piège à phéromone	Piège alimentaire	Piège jaune
Thomson	287	353	-
Clémentine	261	302	-
Portugaise	38	66	16
Valentia-late	43	60	18
Total	629	781	34

Sur les variétés Thomson et Clémentine, le pic des vols des adultes est observé à la fin novembre. La deuxième génération apparaît à la mi-décembre juste avant la récolte (fig. 1 et 2). Un traitement insecticide contre la cératite est effectué à la fin novembre à base de Malathion avec une dose allant de 1 à 1,5 l/ha.

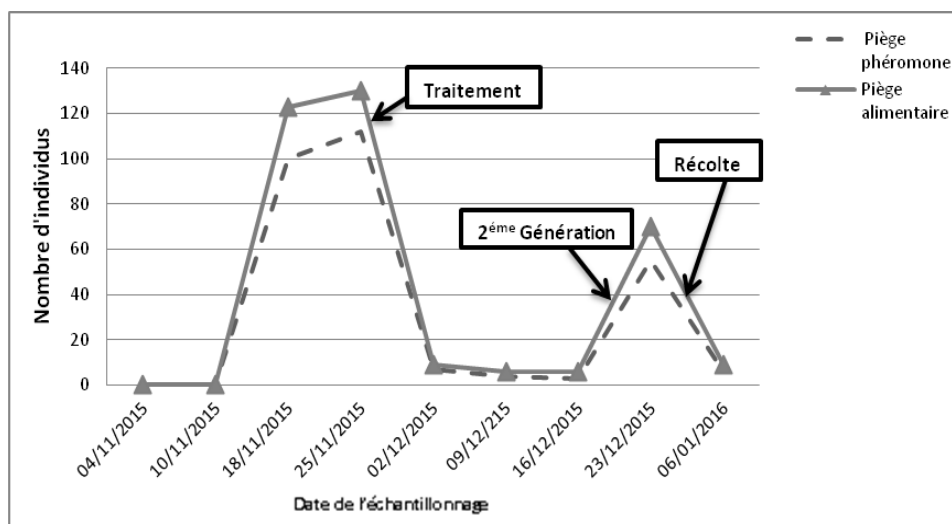


Figure 1.– Evolution des captures de *C. capitata* sur la variété Thomson

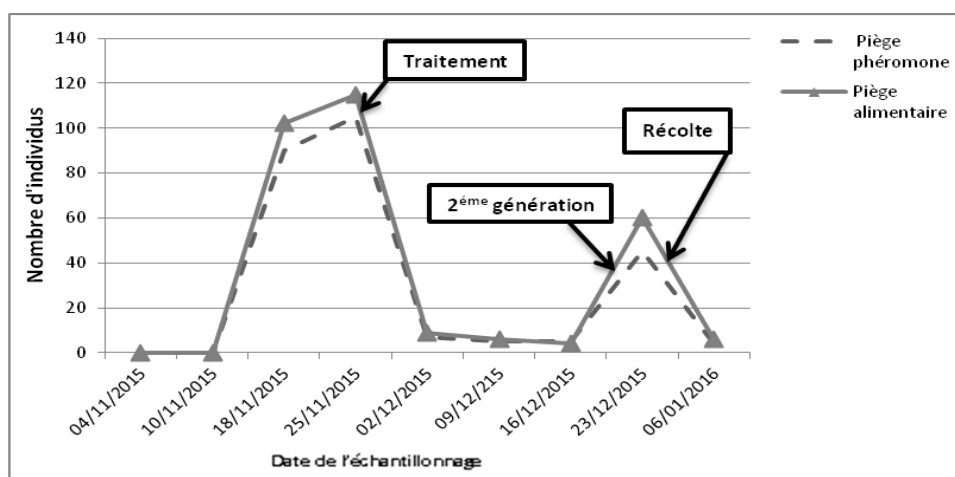


Figure 2.- Evolution des captures de *C. capitata* dans la parcelle à Clémentine

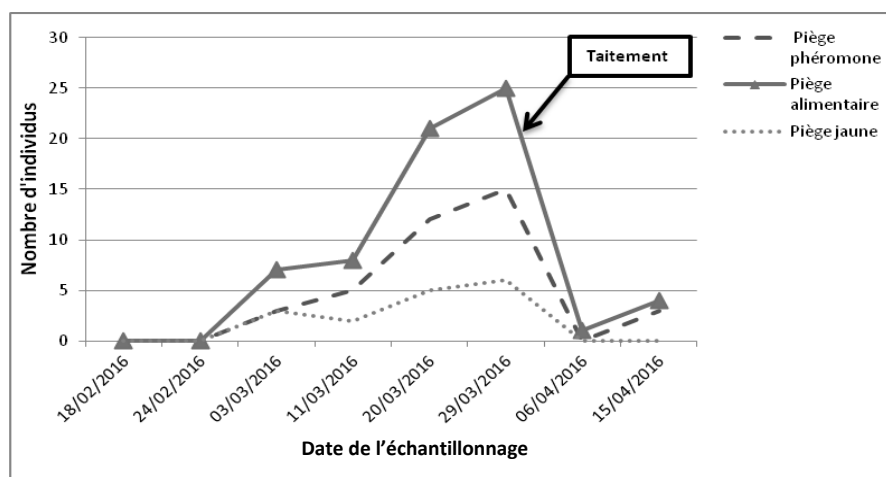


Figure 3.- Evolution des captures de *C. capitata* dans la parcelle Portugaise

Pour les deux variétés Portugaise et Valentia-late, les cératites commencent à apparaître au début mars et le pic des vols des adultes est observé à la fin mars. Un traitement insecticide à base d'Imaxi à une dose de 0,5 l/ha. Ce traitement est efficace contre la cératite, car il est observé une nette diminution du nombre d'individus.

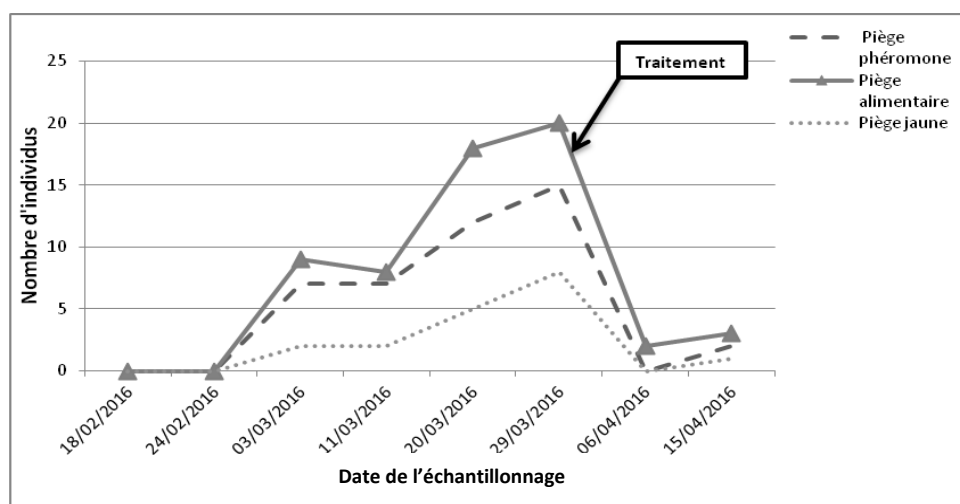


Figure 4.- Evolution des captures de *C. capitata* dans la parcelle à Valentia-late

3.- Discussion

La mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* est plus connue sur les agrumes que sur les autres espèces fruitières. Car la multitude variétale du genre citrus échelonnée sur une durée de huit à neuf mois, de la fin septembre pour les variétés précoces de *Citrus clementina*, à janvier ou février pour les variétés précoces de *Citrus sinensis* tel que Thomson navel et Washington navel, et avril à mai pour les variétés les plus tardives de *Citrus sinensis* comme Portugaise et Valencia-late.

Le nombre total des captures est plus importants durant le mois de novembre que les autres mois, ce qui coïncide avec la récolte des fruits des variétés Thomson et Clémentine. AHMED-SADOUDI (2007) souligne un maximum de 1.268 mouches durant le mois de novembre [7].

Il ressort de cette étude que la variété Thomson qui est légèrement plus attaquée que la variété Clémentine. La variété Thomson est une plante préférentielle de la Cératite [8, 9, 10].

DELASSUS *et al.* (1931) et, CHAPOT et DELLUCHI (1964) classent la clémentine et la Thomson au même niveau d'infestation [11,12].

Il est trouvé que la Cératite attaque beaucoup plus les variétés précoces d'agrumes que celles qui sont tardives. La teneur en jus et l'épiderme de la variété jouent un rôle important dans le développement de la mouche. Un épiderme plus épais gêne le développement larvaire des insectes ravageurs [1]. Sur les agrumes, les œufs et les larves présentent une très forte mortalité à cause de la toxicité des essences de la peau [13]. La mortalité larvaire chez les citrus, en particulier l'oranger, pourrait être due à la composition chimique de l'écorce des fruits [14,15]. La faible teneur en jus et les huiles essentielles de la peau entraînent une forte mortalité des œufs et des plus jeunes larves, ces dernières peuvent être tuées par les sécrétions gommeuses des fruits [16]. L'acidité du fruit d'orange peut agir sur le taux d'infestation par la mouche méditerranéenne des fruits, mais d'une manière non significative [17]. L'acidité agit sur la mortalité larvaire [18].

En comparant le nombre total de Cératites capturé au niveau de toutes les variétés, il est constaté qu'il a été capturé est de 781 individus par le piège alimentaire, 629 individus par le piège à phéromone, et seulement 34 individus au piège jaune. Les protéines liquides sont utilisées pour capturer de nombreuses espèces de mouches des fruits et capturent aussi bien les femelles que les mâles, avec un pourcentage légèrement supérieur pour les femelles.

FELLAH et DHOUBI (1995) ont testé deux types de pièges (Magreb Med et Bouteille miel) englués et à sec avec l'insecticide DDVP. Il apparaît que le nombre de captures dans les pièges testés à sec est beaucoup plus important que le nombre de captures dans les mêmes pièges mais testés à glu [19].

L'utilisation des pièges à phéromone permet la capture des mâles adultes de la mouche, ce qui renseigne sur la cinétique, les attaques du ravageur, de la date d'émergence ou d'apparition d'une nouvelle génération, représentée par un pic d'infestation, ce qui permet d'estimer le nombre de générations durant la période d'étude. En extrapolant il est possible de déduire approximativement le nombre de générations par an de la Cératite dans la région d'étude (3 générations dans notre cas, 2 sur les variétés précoces et 1 génération sur les variétés tardives). En Algérie, il existe 4 générations sur différents arbres fruitiers, la première est entre mars et avril, la deuxième avec un faible nombre d'individus est en mai, la troisième est en juillet, enfin la quatrième génération entre août et septembre sur les agrumes [20]. Les facteurs climatiques peuvent également être à l'origine de la différence des niveaux d'infestations observée, notamment la température et les précipitations. Les baisses de températures et spécialement si elles sont associées aux grandes pluies, augmentent considérablement la mortalité des adultes [8]. Les limites supérieures et inférieures au développement de la cératite sont respectivement 35°C et 9°C [5].

Le seuil de nuisibilité est défini entre 3 et 4 cératites capturées par pièges et par jour. Ils doivent être modulés en fonction de la sensibilité de la culture. En cas de dépassement de ce seuil, un traitement est préconisé pour réduire les niveaux de la

population. Si un traitement curatif est possible, un contrôle de 100 fruits peut être réalisé. En cas de détection de piqûres de pontes, un traitement est déclenché. Dans la présente recherche, à la fin de novembre et de mars le nombre de mouches capturées augmente, ce qui oblige les agriculteurs à faire des traitements comme le Malathion avec une dose de 1 à 1,5 l/ha pour les variétés précoces et Imaxi avec 0,5 l/ha pour les variétés tardives. La lutte chimique reste l'arme la plus déployée contre la mouche des fruits [21]. Elle doit viser uniquement le stade adulte, par l'emploi des produits de contact [21]. Les produits systémiques bien qu'ils soient capables de détruire les œufs et les larves *in situ* sont à déconseiller sur les fruits proches de la maturité est appelé à être cueillis dans 2 à 3 semaines, en raison du risque de résidus qu'ils peuvent présenter [21].

Conclusion

Il en ressort de la présente étude que le piège alimentaire est le plus efficace dans la capture des adultes de la cératite. Les mouches sont attirées par l'hydrolysate de protéines, se nourrissent du mélange et sont tuées par l'insecticide. Cette méthode donne de bons résultats et elle est très largement utilisée dans le monde entier. La variété Thomson s'est révélée être la plus piquée. C'est donc le fruit d'agrumes le plus apprécié et le plus attaqué par cette mouche. La cératite attaque beaucoup plus les variétés précoces d'agrumes que ceux qui sont tardives. La teneur en jus et l'épaisseur de l'épiderme de la variété jouent un rôle important dans le développement de la mouche. La présence de l'hôte est le facteur environnemental le plus important dans la détermination de l'abondance et la distribution des mouches méditerranéennes des fruits. L'hôte influence considérablement l'épidémiologie de la cératite, cette influence revêt une importance capitale, car elle détermine le nombre de générations et donc le nombre de femelles en quête de ponte dans un biotope donné. En Algérie et dans la région de Tlemcen, la cératite trouve les conditions favorables pour sa pullulation, ce qui lui permet de développer jusqu'à 3 générations sur les variétés d'agrumes. Les deux premières générations sont sur les variétés précoces et la troisième est sur les tardifs. Le développement de la mouche est très dépendant des conditions thermiques et l'optimum se situe à 32°C. En conditions de températures favorables, le cycle de développement complet dure une quinzaine à une vingtaine de jours.

Remerciements

Nous remercions l'équipe de l'INPV de Tlemcen pour le soutien financier et scientifique durant la période d'étude. Cette étude est sous le soutien du département d'agronomie, faculté SNV/STU à l'université de Tlemcen et l'INPV de Tlemcen (Algérie).

Références bibliographiques

- [1].- Loussert R., 1987.- Les agrumes, arboricultures. Ed. Mkalles–Mar Roukoz, Liban. Technique scientifique universitaire, 113 p.
- [2].- Boudi M., 2005.- Vulgarisation agricole et pratiques des agrumiculteurs de la Mitidja. Institut national Agronomique, El Harrach, Alger, 133 p.
- [3].- White I. M. and Elson-Harris M. M., 1992.- Fruit Flies of Economic Significance: their identification and bionomics. C.A.B. ACIAR, 601 p.

- [4].- Liquido N. J., Shinoda L. and Gunninghm R. T., 1991.- Host plants of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae). An Annotated World Eeview, Misc. Publication 77, Ent. Soc. America, 52 p.
- [5].- Bodenheimer F. S., 1951.- Citrus entomology. Ed. Dio. Junk Denhang, 663 p.
- [6].- Oukil S., Bues R., Toubon J. F. and Quilici S., 2002.- Allozyme polymorphism in populations of *Ceratitiscapitata* from Algeria, the north western Mediterranean coast and Reunion Island. Fruit, (57): 183- 191.
- [7].- Ali Ahmed-Sadoudi D., 2007.- Bio-écologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitiscapitata* Wiedemann, 1824 (Diptera: Trypetidae) dans quelques vergers de la Kabylie. Thèse de Doctorat, Univ. Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, 197 p.
- [8].- Abdelli O., 1996.- Etude de quelques aspect de la bio-écologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitiscapitata* (Wiedemann, 1824), (Diptera: Trypetidae) dans le parc de Chaib. Thèse. Mag. Inst. Sc. Nat., Uni. Tizi Ouzou, 76 p.
- [9].- Smail O. et Keddouci D., 2000.- Relations entre le degré d'infestation de différentes variétés fruitières par *Ceratitiscapitata* Wied., 1824 (Diptera; Trypetidae) et les caractéristiques physico-chimiques des fruits dans différents vergers de la wilaya de Tizi-Ouzou. Thèse Ing., Univ. Tizi-Ouzou, 64 p.
- [10].- Dekhli L., 2006.- Estimation de l'infestation par *Ceratitiscapitata* (Wied. 1824) et suivi de la dynamique de ses populations sur différentes espaces et variétés fruitières a Tizi-ouzou et Boumerdes. Thèse. Ing., Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, Univ. Tizi-Ouzou, 90 p.
- [11].- Delassus M., Brichet J., Balachowsky A. et Lepigne A., 1931.- Les ennemis des cultures fruitières en Algérie et les moyens pratiques de les combattre. Ed. Recher. Agro. Algérie, 53-62.
- [12].- Chapot H. et Dellucchi V. L., 1964.- Maladies, troubles et ravageurs des agrumes au maroc. Ed. Institut National de la Recherche Agronomique, Rabat, 339 p.
- [13].- Delrio G., 1985.- Tephritid pests in citriculture. CEC/Proc. Experts meting. Acireal; Balkema Rotterdam Integrated pest control in citrus. Ed. Recher, Cavaloroand Dimartino, 135-149.
- [14].- Soria F., 1963.- Etude des populations et de dispersion de *Ceratitiscapitata*Wied. (Diptera: Trypetidae) en Tunisie a l'aide des radios - isotopes. Int. Atomic. Energy. Agency IAEA I Vienne, 357-363.
- [15].- Dhouibi M. H., Gahbich H. et Saadie B., 1995.- Evolution de l'attaque des fruits par *Ceratitiscapitata* en fonction de la position sur l'arbre et du degré de maturité des oranges. Fruits, vol. 50, n°1: 39 - 49.
- [16].- Bertin Y., Didier C. et Ducellier D., 1998.- Protection phytosanitaire des agrumes. CIRO-FLHOR., France, 73 - 76.

- [17].- Sampaio A. S., Myazaki I. Suplicy Filho N., Oliveira D.A., Britran E. A. And Sobrinho J., 1984.- Possible factors determining the degree of susceptibility of certain citrus varieties to attack by fruit flies (*Ceratitis capitata* Wied., 1824 and *Anastrepha spp.*). *Biologico*, 50 (12) : 273-284.
- [18].- Nicanor J., Roy T. and Susumu N., 1990.- Host plants of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tryptetidae) on the Island of Hawaii (1949-1985 Survey). *J. Economic Entomol.*, 83 (5): 1864-1878.
- [19].- Fellah H. et Dhouibi M. H., 1995.- Piège sexuel de la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* Wied (Diptera, Tephritidae). Act. des 2^{ème} Jour. Nat. Sur les acquis de la Rech. Agro. Halie. Et Vété., Horti., vol. 2: 282-295.
- [20].- Oukil S., 1995.- Effets des insecticides et des radiations ionisantes en relation avec la variabilité (Diptera: Tryptetidae). Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Aix. Marseille III, Fac. Sc. Tech-St Jérôme, 138 p.
- [21].- Bateman M. A., 1972.-The ecology of fruit flies. *Ann. Rev. Entomol.*, (17): 493-518.

QUELQUES ASPECTS HISTO-MORPHOLOGIQUES DU PISTACHIER DE L'ATLAS (*Pistacia atlantica* DESF.) DANS LE NORD OCCIDENTAL DE L'ATLAS TELLIEU (TLEMCEU - ALGERIE)

BERRICHI Mohamed*, CHIKH Mohamed, HADDAD Ahmed,
ALLAM Fatfallah, GUEFFAR Mohamed et BELKHODJA Yacine
*Laboratoire de recherche N° 31: Gestion Conservatoire de l'Eau, des Sols et des Forêts,
Université de Tlemcen, Tlemcen, Algérie*

E-mail: berrichi_mohamed@yahoo.fr, m_chikh@mail.univ-tlemcen.dz, a_haddad2005@yahoo.fr,
fethallah_allam@yahoo.fr, mohamedghfr@gmail.com, belkho@yahoo.fr

(Received 26 January 2017– Accepted 04 April 2017)

Résumé.- *Le pistachier de l'Atlas (Pistacia atlantica Desf.) est une espèce d'une grande amplitude écologique et d'une plasticité remarquable très appréciée dans les zones pré-désertiques comme essences de reboisement, de fourrage et de lutte contre la désertification. Ce travail consiste à présenter les caractéristiques microscopiques du bois et la morphologie des feuilles de cette espèce dans une zone du semi-aride. La structure primaire montre l'agencement des tissus de protection, de soutien et de conduction. La structure secondaire du bois du pistachier de l'Atlas (Pistacia atlantica Desf.) est caractérisée par un diamètre tangentiel moyen des vaisseaux du bois initial de 83,33µm, le diamètre tangentiel moyen des vaisseaux du bois final est de 26,11µm. Le nombre moyen de vaisseaux par mm² est 74,06. La longueur moyenne des vaisseaux est de 451,25 µm et les fibres ont une longueur moyenne de 671,34µm. La morphologie des feuilles matures prises à partir de 10 arbres sur les 4 point cardinaux (N, S, E, O) montre que l'espèce possèdent des valeurs végétatives plus élevées par rapport au pistachier étudié dans des zones à conditions climatiques plus difficiles.*

Mots clefs: *Pistacia atlantica Desf, région de Tlemcen, microscopie du bois, morphologie des feuilles.*

SOME HISTO-MORPHOLOGICAL ASPECTS OF PISTACHIO ATLAS (*Pistacia atlantica* DESF.) IN THE WESTERN NORTH OF THE TELLIAN ATLAS (TLEMCEU - ALGERIA)

Abstract.- *The pistachio atlas (Pistacia atlantica Desf.) is a species of great ecological amplitude and remarkable plasticity. Used in pre-desert areas in reforestation in addressing against desertification and as animal feed. The present study is to present the microscopic characteristics of wood and leaf morphology of this species in a semi-arid area. The objective of this study is to present the microscopic characteristics of wood and leaf morphology of this species in a semi-arid area. The primary structure shows the arrangement of the protective tissue, supporting tissue and conductive tissue. The secondary structure of the wood of the Pistacia atlantica Desf. is characterized by an Average tangential vessel diameter of the initial wood of 83,33 µm. Average tangential diameter latewood vessels is 26,11µm. The average number of vessels per mm² is 74.06. The average length of vessels is 451.25 microns and the fibers have an average length of 671,34µm. The morphology of mature leaves taken from 10 trees on the 4 exposures (N, S, E, W) shows that the species have higher values compared to vegetative pistachio studied in areas with difficult climatic conditions.*

Keywords: *Pistacia atlantica Desf, Tlemcen region, wood microscopy, leaf morphology*

Introduction

La Wilaya de Tlemcen est constituée par un grand nombre de types d'écosystèmes naturels. Les plus diversifiés, sont de types forestiers dans les étages bioclimatiques subhumides et semi arides. Les principales espèces arborescentes et arbustives sont: le chêne vert, le pin d'Alep, le Thuya, Le genévrier, le chêne liège, le chêne zeen, le chêne kermès, bruyère. Au Sud de l'Atlas tellien, les hautes plaines abritent l'écosystème steppique à base d'alfa, d'armoise et de sparte. Le Nord de l'Atlas tellien est formé de vestiges de formations pré-forestières à base d'oléastre, du caroubier et du pistachier [1].

Le pistachier appartient à la famille des anacardiées, à la classe des dicotylédones du sous-embranchement des angiospermes et à l'embranchement des Spermaphyte [2]. La famille des anacardiées comporte généralement des arbres et des arbustes à feuilles alternes, composées et imparipennées que l'on rencontre non seulement en région tropicale mais aussi dans la région méditerranéenne, dans l'Est de l'Asie et en Amérique [3,4]. En Algérie le pistachier (*Pistacia* ssp) est représenté par le pistachier térébinthe (*Pistacia terebinthus* L.), le pistachier vrai (*Pistacia vera* L.), le pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus* L.) et le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) [5, 6].

Le pistachier de l'Atlas est un arbre caduque, dioïque et à tronc pouvant atteindre 20 m de hauteur. A un âge avancé, la couronne est hémisphérique et peut atteindre 7 m de rayon et son écorce se crevasse superficiellement. Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) est endémique en Afrique du Nord. Il peut vivre plusieurs siècles en s'adaptant parfaitement aux conditions édaphiques et climatiques contraignantes de son habitat [7,8].

Cette espèce qui présente beaucoup d'intérêts socio-économique, agro-écologique et médical a fait objet d'un certain nombre de travaux dans le domaine de l'écologie, de la génétique et de la taxonomie. La morphologie des feuilles de l'espèce a suscité aussi de l'attention de la part de MONJAUZE (1980), BELHADJ *et al.* (2008), AIT SAID *et al.* (2011), BOUDOUAYA *et al.* (2015) et BENABDALLAH (2012) [5,9,6,10,11].

Ce travail présente un aperçu histologique sur le bois et une description morphologique de la feuille du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans le Nord occidental de l'Atlas tellien de la Wilaya de Tlemcen (Algérie). Les résultats seront comparés aux caractéristiques histo-morphologiques d'autres pistachiers de la région de Tlemcen.

1. Matériels et méthodes

1.2. Matériel végétal

Le bois et les feuilles du *pistachier de l'atlas* proviennent des zones d'accumulation du tabulaire occidental de l'Atlas Tellien de la région de Maghnia à 30 km du chef-lieu de la Wilaya de Tlemcen (fig. 1).

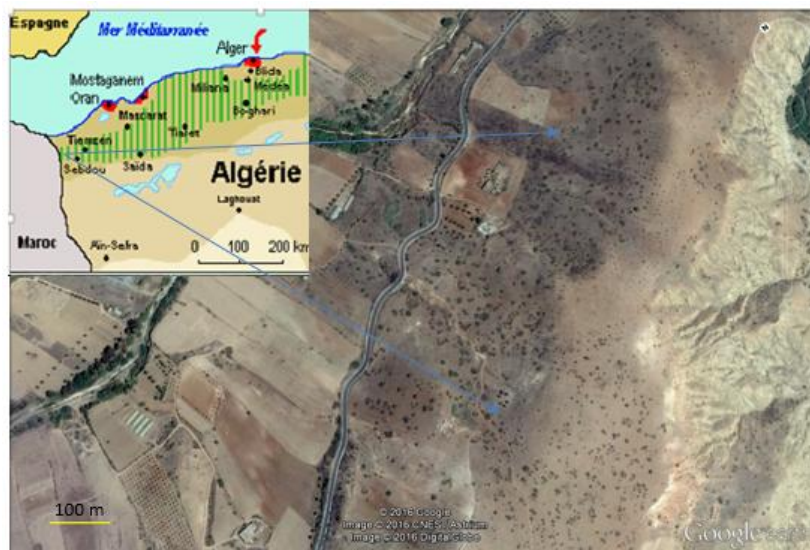


Figure 1.- Pistachier de l'Atlas dans la région de Maghnia (Tlemcen) [12].

La région d'étude ($35^{\circ} 02' N$ et $1^{\circ} 31' W$) appartient à l'étage bioclimatique semi-aride tempéré avec des précipitations annuelles de 300 à 350mm. Les températures moyennes estivales et hivernales sont respectivement de $30^{\circ}C$ et $10^{\circ}C$. L'indice de sécheresse est de 0,28 avec un régime saisonnier des précipitations de type «Automne - Hiver - Printemps -Eté» [1,12].

Dans la région de Maghnia, le pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica* Desf) est accompagné par le jujubier sauvage (*Zyziphus lotus* L.), l'oléastre (*Olea europea* L. subsp. *europaea* var. *sylvestris* Lehr), le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), le myrte (*Myrtus communis* L.), le rouvet blanc (*Osyris alba* L.), l'asperge sauvage (*Asparagus stipularis* L.), le calycotome épineux (*Calycotome spinosa* L.), le palmier nain ou le doum (*Chamaerops humilis* L.).

1.2.- Matériel technique

Le matériel technique utilisé en histologie se compose d'un microtome à glissière et d'un microscope doté de micromètre oculaire. L'étude de la morphologie de la feuille se base sur l'emploi du scanner et du logiciel de traitement de l'image «image J».

1.3.- Collecte des données et techniques de mesures

L'agencement des tissus de la structure primaire du bois est décrit à partir de coupes microscopiques transversales du pétiole du pistachier de l'Atlas. L'étude de la structure secondaire du bois nécessite la réalisation de coupes minces préparées selon un protocole défini par NORMAND (1998) [13]. Il est réalisé 50 mesures sur le diamètre tangentiel des vaisseaux du bois initial, 50 mesures sur le diamètre tangentiel des vaisseaux du bois final et 50 mesures sur le nombre de vaisseaux par millimètre carré. La longueur des fibres et des vaisseaux a fait aussi objet d'une quantification.

Les feuilles ont été prélevées au hasard sur dix arbres. De chaque arbre et des quatre expositions, un rameau a été prélevé. Au laboratoire, les feuilles ont d'abord fait

l'objet d'une description générale. Par la suite, à partir de chaque rameau, une feuille mature a fait l'objet d'une analyse quantitative. Au total, 40 feuilles réparties sur les quatre expositions ont été analysées.

Dans la feuille, les paramètres morphologiques étudiés sont: la longueur de la feuille (Lf) en mm, la largeur de la feuille (lf) en mm, la longueur du pétiole (AB) en mm, la longueur du rachis (BC) en mm et le nombre de foliole (Nbf). Les paramètres morphologiques des folioles étudiés sont: la longueur du limbe de la grande foliole (DE. Gf) en mm, la longueur du limbe de la petite foliole (DE. Pf) en mm, la largeur du limbe de la grande foliole (FG. Gf) en mm, la largeur du limbe de la petite foliole (FG. Pf) en mm, le périmètre de la grande foliole (P) en mm, la surface de la grande foliole (S) en mm² et l'angle d'insertion des feuilles avec le rachis (°). La figure 2 sont notés les paramètres morphologiques étudiés et leurs localisations.

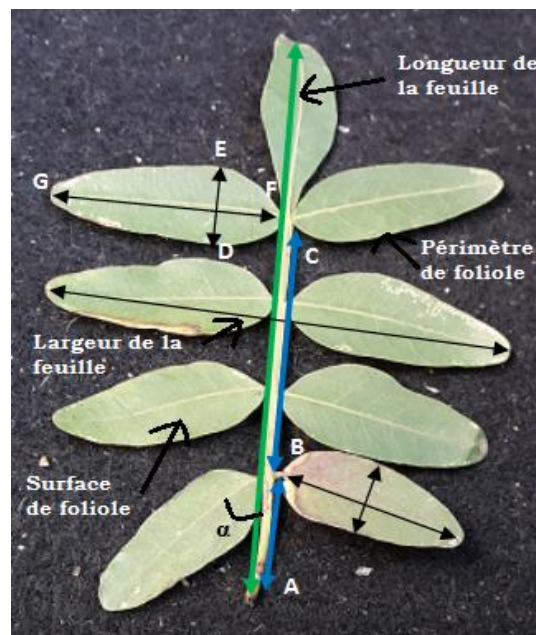


Figure 2.- Localisation des paramètres morphologiques de la feuille du pistachier de l'Atlas

Au laboratoire les feuilles sont individuellement scannées à une échelle (1/1) puis transférées vers un logiciel de traitement et de reconfiguration d'image de synthèse numérique. Le transfert des données avec la même échelle vers le logiciel de dessin assisté par ordinateur «Image J». Le logiciel de traitement et d'analyse d'image permet de calculer les différents paramètres morphologiques des feuilles [14].

Les mesures sont réalisées sur des feuilles dites «caractéristiques» qui sont des feuilles adultes où les causes de variation liées à la croissance et au polymorphisme sont éliminées [15].

1.4.- Traitement des données

A partir des mesures anatomiques effectuées des échantillons, il est calculé la moyenne (paramètre de position), l'écart-type et le coefficient de variation (paramètre de

dispersion). Le coefficient de variation, permet de quantifier l'écart-type par rapport à la moyenne, c'est-à-dire la variation qui peut affecter une moyenne [16].

Le test statistique utilisé pour mettre en évidence les différences qui peuvent exister entre les différents échantillons est le test de Student. Ce test est employé pour comparer les moyennes issues des deux échantillons au seuil de 5% et pour un ddl de $(n_1 + n_2) - 2$.

2.- Résultats

2.1.- Histologie du bois

Structure primaire

La figure 3 présente les différents tissus de la structure primaire du pistachier de l'Atlas obtenus à partir du pétiole de la feuille.

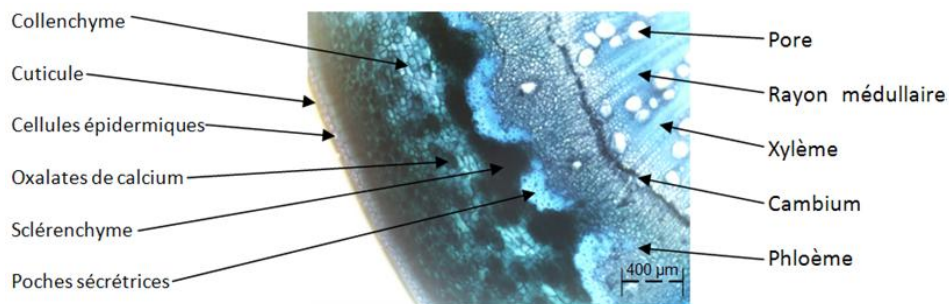


Figure 3.- Structure primaire du pistachier de l'Atlas [17]

Structure secondaire

La rondelle utilisée pour l'étude des paramètres microscopiques présente des couches d'accroissement apparentes à contour régulier. Le cœur est légèrement excentré. La section transversale (fig. 4) du bois du pistachier de l'Atlas montre des pores de nature «semi-poreuse». Le tableau I synthétise les paramètres microscopiques du bois du pistachier de l'Atlas.

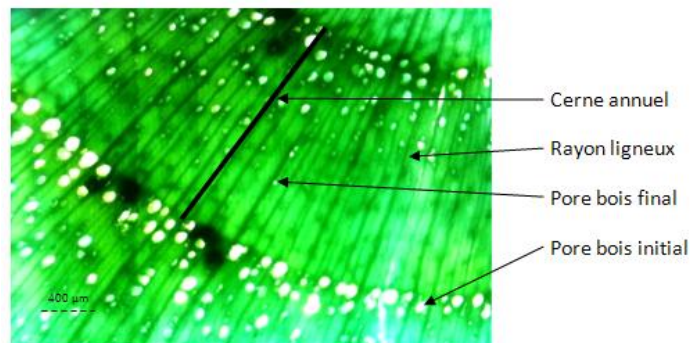


Figure 4.- Section transversale du bois du pistachier de l'Atlas [12]

Tableau I.- Eléments microscopiques du bois du pistachier de l'Atlas
 (X: moyenne arithmétique; σ : écart-type; CV%: coefficient de variation)

Paramètres mesurées	X	σ	CV %
Diamètre tangentiel des vaisseaux du bois initial (μm)	83,33	17,15	20,58
Diamètre tangentiel des vaisseaux du bois final (μm)	26,11	8,81	33,74
Nombre de vaisseaux par mm ²	152	13,48	8,86
Longueur des vaisseaux (μm)	451,25	128,55	28,48
Longueur des fibres (μm)	671,34	163,51	24,35

Les résultats du tableau I montrent que le diamètre tangentiel moyen des vaisseaux du bois initial et du bois final est respectivement de 83,33 μm et 26,11 μm . Le nombre moyen de vaisseaux par mm² est 74,06. La longueur moyenne des vaisseaux est de 451,25 μm et les fibres ont une longueur moyenne de 671,34 μm .

2.2.- Paramètres morphologiques de la feuille

Les tableaux II et III présentent respectivement les résultats des caractères morphologiques de la feuille et des folioles du pistachier de l'Atlas.

Tableau II.- Paramètres morphologiques de la feuille du pistachier de l'Atlas
 (X: moyenne arithmétique; σ : écart-type; CV%: coefficient de variation)

Paramètres mesurées	X	σ	CV %
Longueur de la feuille, «Lf» (mm)	126,1	17,58	13,94
Largeur de la feuille, «lf » (mm)	92,5	15,97	17,15
Longueur du pétiole, «AB» (mm)	27,32	7,16	26,20
Longueur du rachis, «BC» (mm)	54,24	12,17	22,43

Tableau III.- Paramètres morphologiques des folioles du pistachier de l'Atlas
 (X: moyenne arithmétique; σ : écart-type; CV%: coefficient de variation)

Paramètres mesurées	X	σ	CV %
Longueur du limbe de la grande foliole, DE (G.f) (mm)	51,62	9,08	17,59
Longueur du limbe de la petite foliole, DE (P.f)(mm)	34,19	7,26	21,23
Largeur du limbe de la grande foliole, FG (G.f)(mm)	17,20	3,31	19,24
Largeur du limbe de la petite foliole, FG (P.f)(mm)	13,07	2,94	22,49
Périmètre de la grande foliole, P (mm)	116,4	19,0	16,32
Surface de la grande foliole, S (mm ²)	671,5	215,9	32,15
Angle d'insertion des feuilles avec le rachis, α (°)	44,93	11,73	26,11

3.- Discussion

3.1.- Histologie du bois

Structure primaire

Le méristème primaire est à la fois histogène et organogène; il forme la structure primaire de la plantes et les organes tels que les feuilles et ils sont localisés dans les

phytomères [17]. De l'extérieur vers l'intérieur, la structure primaire du pétiole du pistachier de l'Atlas est composée des tissus suivants:

- L'épiderme est le tissu le plus externe, formé par une seule assise cellulaire recouverte d'une cuticule mince;
- Le tissu de soutien formé par le collenchyme situé sous l'épiderme et plus en profondeur, le sclérenchyme qui est composé d'un ensemble de cellules mortes à parois lignifiées, épaisses;
- Le cambium ou l'assise libéro-ligneuse formée de cellules génératrices;
- Les tissus conducteurs formés par le phloème et le xylème. Le phloème achemine la matière organique élaborée par photosynthèse des feuilles vers les autres parties de la plante. Le xylème achemine l'eau et les sels minéraux dissous des racines vers les autres parties de la plantes.

Structure secondaire

Les pores du bois initial de la figure 04 sont groupés en 2 à 3 rangées, ceux du bois final sont isolés, distendus radialement dans le tissu fibreux. Les rayons ligneux sont nombreux. Le bois du pistachier de l'Atlas possède un bois à pores de «fins grandeur» en zone initiale et «très fins» en zone finale. La structure secondaire est caractérisée par des pores qualifiés de "nombreux", des fibres très courtes et des vaisseaux qualifiés de moyenne longueur.

Le diamètre tangentiel des vaisseaux du bois initial et celui du bois final, la longueur des vaisseaux et la longueur des fibres présentent une dispersion importante autour de la moyenne ($CV > 20\%$). Cette hétérogénéité est une caractéristique spécifique au matériau bois.

Les vaisseaux constituent le système de conduction de la sève, ils sont de disposition et de dimension variée. Le diamètre et la densité des vaisseaux sont liés à l'espèce [18,19]. Néanmoins, l'hétérogénéité du sol, la lumière, la température et l'humidité de l'air autour de l'arbre, la structure interne du tronc, l'asymétrie de la couronne, l'architecture des racines et l'âge peuvent fortement influencer les éléments conducteurs [20, 21, 22].

Etude comparative de la structure secondaire

Le tableau IV, présente les paramètres anatomiques du bois des pistachiers de la région de Tlemcen.

Le tableau IV, montre que les caractères anatomiques étudiés sont spécifiques du fait de la présence d'une différence significative. La taille et le nombre des vaisseaux montrent que le bois du pistachier lentisque est le plus poreux. La longueur des fibres est plus importante chez le pistachier térébinthe. Le pistachier de l'Atlas est marqué par des vaisseaux plus longs.

Tableau IV. Paramètres anatomiques du bois des pistachiers de la région de Tlemcen (P. atl: *Pistacia atlantica*; P. ver: *Pistacia vera*; P. ter: *Pistacia terebinthus*; P. len: *Pistacia lentiscus*; ≠ce: différence; S: significative) [12, 23]

Paramètres mesurés	Pistacia				F (5%)		
	P.atl	P.ver	P.ter	P.len	f.obs	f.th	≠ce
Diamètre tangentiel des vaisseaux du bois initial (µm)	83.33	104.3	79.49	<u>114,5</u>	20.4	3.05	S
Diamètre tangentiel des vaisseaux du bois final (µm)	26.11	<u>29.8</u>	17.99	28,73	29.6	3.05	S
Nombre de vaisseaux par mm ²	152	176	138	<u>140,18</u>	42.3	2.66	S
Longueur des vaisseaux (µm)	451	433	327	269,9	19.9	3.05	S
Longueur des fibres (µm)	671	874	<u>1016</u>	588,3	28.5	3.05	S

3.2. Morphologie de la feuille

Analyse descriptive des paramètres morphologiques de la feuille

Les feuilles du pistachier de l'Atlas sont composées, stipulées, à rachis finement ailé, et à folioles lancéolées et obtuses au sommet. Elles ont une couleur vert pâle et sont imparipennées lisse sans poils. Composées de 5 à 11 folioles.

Analyse quantitatifs des paramètres morphologiques de la feuille

Le tableau II et le tableau III montrent que la longueur de la feuille du pistachier de l'Atlas et sa largeur ainsi que la longueur du limbe de la grande foliole et son périmètre présentent une faible dispersion autour de la moyenne (CV < 20%). Ce résultat peut être influencé par l'échantillon à base de feuilles matures qui présentent une certaine homogénéité, et si, c'est le cas, que peut-on dire sur la longueur du pétiole et celle du rachis qui présentent un (CV > 20%).

La longueur et la largeur de la feuille et de la foliole ainsi que la longueur du pétiole du pistachier de l'atlas dans la région de Tlemcen présentent des valeurs végétatives plus élevées que celles des stations en zone saharienne, de l'aride et du semi-aride étudiées par UEZEL et MEDAIL (2003), AIT SAID *et al.* (2011), BENABDALLAH (2012) et BENFODDIL (2015) [8,6,11,24]. Selon MONJAUZE (1980), la longueur de la feuille du pistachier de l'Atlas dépasse rarement 12 cm. Peut-on dire, que le Nord occidental de l'Atlas tellien de la région Tlemcen offre de bonnes conditions de croissance à l'espèce [5]. Selon ROYER *et al.*; (2008) les dimensions et la morphologie des feuilles sont affectées par le climat qui entraîne des variations au sein d'une même espèce [25].

Etude comparative des paramètres morphologiques

Les caractères morphologiques de la feuille et des folioles des pistachiers dans la région de Tlemcen sont présentés dans les tableaux V et VI.

Les paramètres morphologiques de la feuille et des folioles des pistachiers de la région de Tlemcen du tableau 6 et du tableau 7 illustrent tout d'abord une hétérogénéité morphologique entre les quatre espèces, marquée par la présence d'une différence significative. Entre espèce, il est noté que le pistachier lentisque présente les valeurs les

plus faibles. Le Pistachier vrai, est l'espèce qui présente les valeurs les plus développées. Le pistachier de l'atlas est marqué par l'importance de la longueur du rachis.

Tableau V. Paramètres morphologiques des feuilles des pistachiers de la région de Tlemcen (P. atl: *Pistacia atlantica*; P.ver: *Pistacia vera*; P.ter: *Pistacia terebinthus*; P.len: *Pistacia; lentiscus*; ≠ce: différence; S: significative) [11,23]

Paramètres mesurées	Pistacia				F (5%)		
	P.atl	P.ver	P.ter	P.len	f. obs	f. thé	≠ce
Longueur de la feuille, «Lf» (mm)	126,1	<u>164.7</u>	135.6	41.6	32.7	3.07	S
Largeur de la feuille, «lf » (mm)	92.5	<u>141.3</u>	104.7	29.6	64.1	3.07	S
Longueur du pétiole, «AB» (mm)	27.32	<u>43.43</u>	37.84	15.2	36.8	3.07	S
Longueur du rachis, «BC» (mm)	<u>54.24</u>	29.46	50.29	25.6	33.8	2.68	S

Tableau VI. Paramètres morphologiques des folioles des pistachiers de la région de Tlemcen (P. atl: *Pistacia atlantica*; P. ver: *Pistacia vera*; P. ter: *Pistacia terebinthus*; P. len: *Pistacia; lentiscus*; ≠ce: différence; S: significative) [11,23]

Paramètres mesurées	Pistacia				F (5%)		
	P.atl	P.ver	P.ter	P.len	fobs	fthe	≠ce
Longueur du limbe de la grande foliole (DE Gf) (mm)	51.62	<u>84.76</u>	56.45	25.6	85.2	3.07	S
Longueur du limbe de la petite foliole (DE Pf) (mm)	34.19	<u>58.57</u>	35.18	18,3	65.4	3.07	S
Largeur du limbe de la grande foliole, (FG Gf) (mm)	17.20	<u>56.24</u>	24.37	8.5	288	3.07	S
Largeur du limbe de la petite foliole (FG Pf) (mm)	13.07	<u>42.37</u>	15.94	6.5	270	3.07	S
Périmètre de la grande foliole, P (mm)	116.4	<u>219.4</u>	130.3	63.1	433	3.02	S
Surface de la grande foliole, S (mm ²)	671.5	<u>3306</u>	963.6	336	469	3.02	S
Angle d'insertion des feuilles avec le rachis (°)	44.93	<u>34.07</u>	41.99	<u>64,1</u>	6.7	3.02	S

Conclusion

Le bois du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) est un bois à «zone semi-poreuse». Les pores sont "nombreux", en zone initiale, ils sont groupés en 2 à 3 rangées et qualifiés de «fins grandeur», en zone finale ils sont isolés, distendus radialement et sont qualifiés de « très fins ». La structure secondaire est caractérisée par des fibres très courtes et des vaisseaux qualifiés de moyenne longueur.

Les valeurs végétatives du pistachier du Nord occidental de l'Atlas tellien de la région Tlemcen sont supérieures aux résultats obtenues dans des conditions de croissance contraignantes. Les autres pistachiers de la zone d'étude présentent des caractéristiques morphologiques hétérogènes, le pistachier lentisque présente les valeurs les plus faibles. Le Pistachier vrai, est l'espèce qui présente les valeurs morphologiques les plus développées. Le pistachier de l'atlas est marqué par l'importance de la longueur du rachis.

Références bibliographiques

- [1].- Medjahdi B., 2010.- Réponse de la végétation du littoral oranais aux perturbations: cas des monts des Traras (Nord-Ouest de l'Algérie). Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Algérie, 309p.
- [2].- Guignard J. L. et Dupont F., 2004.- Botanique: Systématique moléculaire, 13^{ème} éd. Masson, Paris, 237p.

- [3].- Kokwaro J.O., 1986.- Anacardiaceae. Ed Flora of Tropical, East Africa, 59 p.
- [4].- Arbonnier M. 2002. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Édité. Quae (CIRAD-MNHN), Montpellier, France, 573 p.
- [5].- Monjauze A., 1980.- Connaissance du bétoum « *Pistacia atlantica* Desf. ». Biologie et forêt. Revue forestière française, 4: 357-363.
- [6].- Ait Said S., Fernandez C., Greff S., Derridj A., Gauquelin T. et Mevy J. P., 2011.- Inter-population variability of leaf morpho-anatomical and terpenoid patterns of *Pistacia atlantica* Desf ssp *atlantica* growing along an aridity gradient in Algeria. Flora. Flora, vol (206): 397-405.
- [7].- Ozenda P., 1983.- Flore du Sahara. 2e édition. Ed. CNRS, Paris, 622 p.
- [8].- Quezel P. et Medail F., 2003.- Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier, Collection Environnement, Paris, 573 p.
- [9].- Belhadj S., Derridj A., Auda Y., Gers C. et Gauquelin T., 2008.- Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. Presse scientifique du CNRC, Canada, 86: 520-532.
- [10].- Boudouaya M., Benhassaini H. F., Bendimered Z., Mothe F. et Fournier M., 2015.- Evaluation de la durabilité naturelle du bois de *pistacia atlantica* Desf. du Nord de l'Algérie. Bois et forêts des tropiques, 2015, 325 (3): 50-58.
- [11].- Benabdallah F. Z., 2012.- Etude morphologique des feuilles et des fruits du pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) et valorisation des huiles essentielles des feuilles et de l'oléorésine. Magister en biologie, Université Miloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie. 58p.
- [12].- Allam F., 2013.- Etude histo-morphologique de trois espèces du genre *Pistacia*: *Pistacia atlantica*, *Pistacia vera* et *Pistacia terebinthus* dans la région de Tlemcen, Mémoire d'ing, Département de foresterie, Université de Tlemcen, 78p.
- [13].- Normand D., 1998.- Manuel d'identification des bois commerciaux. Ed CIRAD, Montpellier, 175p.
- [14].- Alexandre L., 2013.- Logiciels spécifiques: Analyse d'images sous Image, UMR 408 INRA, France, 7p
- [15].- Berrichi M. et Bouazzaoui A., 2015.- *Quercus faginea* in the Monts of Tlemcen (North-west Algeria): State of knowledge. Ecologia Balkanica, vol 7 (2): 21 -28.
- [16].- Dagnellie P., 1988.- Principes d'expérimentations. Presse agronomiques de Gembloux, Belgique, 405 p.

- [17].- Belkhodja Y., 2014.- Etude histo-morphologique des phytomères de quelques espèces du genre *Pistacia* dans la région de Tlemcen. Mémoire de Master, Département de foresterie, Université de Tlemcen, 45p.
- [18].- Polge H. et Keller R., 1973.- Qualité du bois et largeurs d'accroissements en forêt de Tronçais. Ann. Sci. For, 30 (2): 91-126.
- [19].- Benoit J., 2011- Anatomie et identification des bois. Liège, Université de Liège: 94 p
- [20].- Lafont J. P., Tharaud C. et Levy G., 1988. Biology of Cultivated Plants. vol. 1, organization, physiology of nutrition. Lavoisier, 238p.
- [21].- Huber F., 1993.- Déterminisme de la surface des vaisseaux du bois des chênes indigènes (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.). Effet individuel, effet de l'appareil foliaire, des conditions climatiques et de l'âge de l'arbre, Ann. Sci. For. 50: 509-524.
- [22].- Trouy M. C., 2015.- Anatomie du bois: Formation, fonctions et identification. Edition Universitaire Européenne, Sarrebruck, Allemagne, 189 p.
- [23].- Geffar M., 2012.- Etude des Caractéristiques histo-morphologique des feuillus cas de Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*) de la région de Msirda (Tlemcen). Mémoire d'ing, Département de foresterie, Université de Tlemcen, 76p.
- [24].- Benfoddil O., 2015.- Inventaire des champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. De la dayate El Gouffa (Laghout, Algérie). Magister en biologie. Université Miloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie, 171p.
- [25].- Royer D. L., McElwain J. C., Adams J. M. et Wilf P., 2008.- Sensitivity of leaf size and shape to climate within *Acer rubrum* and *Quercus kelloggii*. New phytologist, 179: 808–817.