

Directeur de la revue: BOUTARFAIA Ahmed
(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>



**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: BOUTARFAIA Ahmed
(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

Volume 5, numéro 2, Décembre 2015



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 MARBH-OUARGLA
ISSN 2170-1318



<p>Directeur de la revue Pr. BOUTARFAIA Ahmed</p>	<p>ADRESSE DE LA DIRECTION DE LA PUBLICATION <i>Algerian Journal of Arid Environment</i> 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</p>
<p>Directeur de la publication Mr KHELIFA Abdelkader</p>	<p>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 10, 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 : - 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.
<p>Directeur scientifique de la publication Pr. BISSATI Samia</p>	<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>Rédacteur en chef Pr. OULD EL HADJ Med Didi</p>
<p>Rédacteur en chef Pr. OULD EL HADJ Med Didi</p>	
<p>Comité de rédaction</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr. CHELOUFI Hamid - Pr. SAKER Med Lakhdar - Dr DADDI BOUHOUN Mustapha - Dr BOUAL Zakaria 	
<p>Mise en page Mr CHAABENA Ahmed</p>	
<p>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. ADAMO A., Algérie - Dr ESNAULT M. A., France - Dr M'SADAK Y., Tunisie - Dr SANON S., Burkina Faso - Dr BOURAS N., Algérie 	

Algerian Journal of Arid Environment

“AJAE”

vol. 5, n°2 - 2015

Sommaire

Analyse descriptive et facteurs d'évolution des numérations cellulaires individuelles du lait chez des petits troupeaux bovins hors sol dans la région de Monastir (Tunisie) M'SADAK Youssef et MIGHRI Leila.....	3
Variabilité de la tolérance au stress salin chez deux genotypes contrastés d'une légumineuse <i>Medicago truncatula</i> au stade germination AMOURI Adel Amar, FYAD LAMECHE Fatima-Zohra et KARKACHI Noureddine.....	17
Techniques de conservation des eaux et du sol dans le bassin versant d'oued Sidi Salah (Sfax Tunisie): essai d'évaluation FOURATI Marwa, BOUAZIZ Riadh, El AMRI Asma et MAJDOUB Rajouene.....	26
Situation de la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture saharienne: cas de la cuvette de Ouargla BOUHANNA Amal, DADDI BOUHOUN Mustapha et SAKER Mohamed Lakhdar.....	39
Rôle de la composition chimique et biochimique des résidus des cultures et de fumier de ferme dans la décomposition des sols dégradés sous climat aride tunisien BOUJILA Khedija, BEN JEDDI Faysa, TAAMALLAH Houcine, JEDDIDI Naceur et SANAA Mustapha.....	40
Effet du stress salin sur la teneur en eau et certains osmolytes chez le blé dur <i>Triticum durum</i> var Kebir pulvérisé par une phytohormone synthétisée: benzyl-amino-purine (BAP) DJAHRA Ali Boutlelis, BENMAKHOUL Zoubida, BENKHERARA Salah, BENKADDOUR Mounia, BORDJIBA Ouahiba.....	71
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>albedinis</i> : effets du milieu de culture sur la croissance mycélienne, la sporulation et la production de l'acide fusarique MECHTA Narimane, AZOUAOUI-AIT KETTOUT Tassadit et RAHMANIA Fatma.....	82
Etude de l'effet des huiles essentielles brutes foliaires de <i>Colocynthis vulgaris</i> (L.) Schrad (Cucurbitaceae) sur l'activité cholinestérasique chez des imagos de <i>Schistocerca gregaria</i> (forskål, 1775) HAMID OUDJANA Aicha, BOUDRAISSA Idriss, MOKADEM Samia, ROUIBAH Meriem, KEMASSI Abdellah, BOUAL Zakaria et OULD EL HADJ Mohamed Didi	91
Effet de la contrainte saline sur la germination et la croissance de quelques provenances algériennes d'arganier (<i>Argania spinosa</i> L.) NASRI Souhila et BENMAHIOUL Benamar.....	98
Composition avifaunistique dans un reboisement de pin d'alep à Chbika (Ain Maabed-Djelfa, Algérie) SOUTTOU Karim, SEKOUR Makhlof, ABABSA Labed, GUEZOUL Omar, CHOUKRI Karima et DOUMANDJI Salaheddine.....	113

ANALYSE DESCRIPTIVE ET FACTEURS D'ÉVOLUTION DES NUMÉRATIONS CELLULAIRES INDIVIDUELLES DU LAIT CHEZ DES PETITS TROUPEAUX BOVINS HORS SOL DANS LA RÉGION DE MONASTIR (TUNISIE)

M'SADAK Youssef* et MIGHRI Leila

Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, 4042, Tunisie

*E-mail: msadak.youssef@yahoo.fr

Résumé.- *L'objectif de ce travail consiste à analyser la variation des numérations cellulaires individuelles (CCI) des vaches au cours d'une lactation complète tout en insistant sur l'effet des principales variables d'évolution. Le suivi a été réalisé sur un échantillon de 40 élevages bovins hors sol dans la région de Monastir (Tunisie). Le diagnostic sanitaire mammaire a été effectué par la méthode de numération cellulaire directe sur le lait individuel de vache à l'aide d'un compteur cellulaire de type Fossomatic4000. Il ressort de cette étude que la distribution des CCI selon deux règles d'estimation donne deux résultats différents pour les échantillons du lait sains. En effet, 48% des échantillons correspondent à un lait normal ou sain avec un $CCI \leq 200000$ cell. /ml, alors que 57% des échantillons sont issus des mamelles saines avec un $CCI \leq 300000$ cell. /ml. Il est relevé aussi que 66% des vaches ont des moyennes arithmétiques des $CCI > 200000$ cell. /ml, alors que 52% des vaches ont des moyennes géométriques des $CCI > 200000$ cell. /ml. A cet égard, et pour mieux apprécier la distribution des CCI, il est utilisé le diagramme des quartiles qui a confirmé la fiabilité de l'utilisation de la méthode des moyennes géométriques pour l'étude des CCI. En plus de la variation des CCI selon la méthodologie d'étude, les variations peuvent résulter des facteurs physiologiques liées à la vache. En effet, les CCI sont plus faibles au début de la lactation et chez les primipares en comparaison avec la fin de la lactation et les multipares. Pour la relation entre la production laitière et les CCI, il est enregistré des CCI plus faibles au pic de lactation des vaches. De tels résultats coïncident exactement avec ceux relatés dans des études antérieures.*

Mots clés : *Élevage bovin hors sol, numération cellulaire individuelle, santé mammaire, analyse épidémiologique descriptive, facteurs physiologiques.*

DESCRIPTIVE ANALYSIS AND EVOLUTION FACTORS OF INDIVIDUAL CELL COUNTS MILK IN SMALL HERDS ABOVEGROUND IN THE REGION OF MONASTIR (TUNISIA)

Abstract.- *The objective of this study is to analyze the variation of individual cell counts (CCI) of cows during an entire lactation while insisting on the effect of main variables of evolution. The monitoring was conducted on a sample of 40 non-grazing cattle farms in the region of Monastir (Tunisia). Mammary health diagnosis was performed by the method of direct cell count on individual cow milk using a cell counter of type Fossomatic4000. It appears from this study that CCI distribution, according to two rules estimation, gives two different results for the samples of healthy milk. In fact, 48% of samples correspond to a normal or healthy milk with $CCI \leq 200000$ cell. / ml, while 57% of the samples are from healthy udders with $CCI \leq 300000$ cell. / ml. It also noted that 66% of cows have arithmetic $CCI > 200000$ cell. / ml, whereas 52% of cows present geometric $CCI > 200000$ cell. / ml. In this overall context, and to better assess the distribution of CCI, it was used quartiles diagram which confirmed the reliability of using the geometric method for the study of CCI. In addition to the variation of CCI according to the study methodology, changes can result from physiological factors related to the cow. Indeed, the CCI are lower in the beginning of lactation for primiparas compared with the end of lactation and multiparas. For the relation between milk production and CCI, this latter was recorded lowest at peak lactation of cows. These results coincide exactly with those reported in previous studies.*

Key words: *Cattle breeding aboveground, individual cell count, udder health, descriptive epidemiological analysis, physiological factors.*

Introduction

Les mammites consistent en une inflammation de la glande mammaire, le plus souvent développée en réponse à une infection bactérienne intramammaire. Elles constituent la pathologie la plus fréquente et la plus coûteuse rencontrée en élevage laitier [1]. On distingue les mammites cliniques associées à des symptômes inflammatoires et des mammites subcliniques [2]. La mammite subclinique est une pathologie de première importance chez la vache laitière. L'élévation persistante du taux cellulaire qui en résulte engendre d'énormes pertes économiques pour toute la filière laitière [3].

La numération cellulaire individuelle du lait est un témoin de l'état inflammatoire de la mamelle [4]. Le comptage des cellules somatiques du lait est devenu un élément d'appréciation de l'état sanitaire global de la mamelle, d'estimation de la prévalence des mammites dans le troupeau et d'évaluation de la qualité du lait destiné à la consommation [5, 6]. C'est aussi un reflet (quoiqu'imprécis) du nombre d'infections chroniques et contagieuses d'un troupeau [7].

Le diagnostic des mammites est la base fondamentale des programmes de contrôle et de suivi de la santé du pis [8], en faisant appel à des méthodes cellulaires indirectes et/ou directes. Les méthodes directes de comptage cellulaire sont reconnues par tous les partenaires de la filière lait et inscrites dans les dispositifs réglementaires internationaux [9, 10, 11].

Dans le cadre de l'étude des relations entre les concentrations cellulaires du lait individuel, la sensibilité des vaches aux infections mammaires et leur capacité de production laitière, le présent travail accompli chez des unités bovines hors sol relevant de la Tunisie semi-aride, se propose notamment d'évaluer, sur des vaches laitières soumises régulièrement à des comptages cellulaires individuels, la part des variations des numérations cellulaires du lait qui est imputable à l'état d'infection mammaire [12, 13] et également celle qui résulte particulièrement de l'influence de l'âge des vaches, du stade de lactation et de la production laitière [14, 15, 16, 17, 18, 19].

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Matériel

1.1.1.- Élevages mis à l'étude

Cette investigation a été réalisée sur 40 élevages bovins laitiers hors sol (inscrits au contrôle laitier) soumis à la traite biquotidienne mécanisée en pot, dans la région de Monastir (Sahel Tunisien), zone côtière caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride. Elle a touché 364 vaches présentes (VP) dont 317 vaches en lactation (VL), de même race (Frisonne Holstein), durant une période de suivi de 8 mois étalée de Septembre 2009 à Avril 2010 pour mieux cerner l'échantillonnage du lait et pour contrôler les conditions de traite (chantiers et équipements) et d'élevage (logement, litière, ...). Toutes les vaches ayant débuté leur production laitière lors du suivi mis en œuvre ont fait partie de l'étude entreprise relative à la lactation complète de chaque vache. Les vaches primipares représentent 31% de l'ensemble des vaches considérées. Les étables sont à stabulation entravée chez 65% des exploitations. Chez 35% des cas, l'aire de couchage est non propre (humide et non paillée).

Les troupeaux suivis sont de taille réduite variant de 2 à 29 VP et de 2 à 21 VL avec en moyenne respectivement 9 VP et 8 VL. Ils sont préservés, dans la plupart des cas, en zéro pâturage avec une alimentation à base, principalement, de foin d'avoine et du concentré, d'où, l'appellation élevage bovin laitier hors sol. Ce choix a été requis suite aux ressources hydriques insuffisantes quantitativement (milieu semi-aride) et qualitativement (eaux, majoritairement, saumâtres ou salées) pour produire suffisamment des fourrages destinés, entre autres, à l'affouragement en vert.

1.1.2.- Prélèvements du lait

Les échantillons de lait individuel ont été prélevés lors du chantier de traite, tout en subissant une homogénéisation du lait et un refroidissement à 4°C [20].

Ces échantillons de lait sont prélevés dans le cadre du contrôle laitier, réalisé par l'Office d'Élevage et des Pâturages (OEP), après la traite de chaque vache, le matin ou l'après midi en alternance, tout en subissant une homogénéisation du lait et un refroidissement à 4°C. Il convient de rappeler que tous les prélèvements individuels sont reproduits régulièrement toutes les 6 semaines pour le contrôle laitier AT6 (par le Technicien OEP) et toutes les 4 semaines (par l'éleveur engagé) pour le contrôle laitier B4. Un gobelet en acier inoxydable alimentaire muni d'une longue tige a été employé pour cette opération. De ce fait, chaque fois, 20 ml de lait sont retirés, versés dans un petit flacon contenant du bichromate de potassium (en tant que conservateur), placé dans une glacière et acheminé vers le laboratoire.

1.1.3.- Analyses du lait

Les analyses périodiques des échantillons du lait individuel ont été effectuées au sein du Laboratoire du Service de Contrôle Laitier du Centre d'Amélioration Génétique de Sidi Thabet, à l'aide d'un compteur cellulaire entièrement automatique de type Fossomatic 4000 [21], mis au point par la Société Danoise Foss Electric, donnant les résultats du comptage cellulaire selon la méthode fluoro-opto-électronique qui constitue un moyen direct du comptage des cellules somatiques [22].

1.1.4.- Traitement des données

Les données des Comptages Cellulaires Individuels (CCI) ont été relevées à partir des fiches des résultats disponibles dans la base nationale des données du contrôle laitier. Les CCI ont été traités pour les lactations ayant commencé entre Septembre 2009 et Avril 2010, de façon à aménager des lactations complètes permettant d'apprécier l'évolution des numérations cellulaires correspondantes.

La lactation (dès le vêlage au tarissement) des vaches est relatée dans cette étude, d'une part sur trois stades de lactation (< 100 j, 100-200 j et > 200 j), et d'autre part, sur 8 contrôles (de C₁ à C₈) qui sont séparés de 5 semaines en moyenne.

1.2.- Méthodologie d'étude

1.2.1.- Étude des numérations cellulaires individuelles

Les CCI ont été calculés par la moyenne arithmétique (MA) et la moyenne géométrique (MG), dont les formules utilisées sont:

$$MA = \frac{\sum_1^n NCS}{n} \quad \text{et} \quad MG = \sqrt[n]{NCS1 \times NCS2 \times \dots \times NCSn} \quad [23]$$

NCS : Numération cellulaire somatique dans le lait,
n : Nombre des échantillons de lait.

En outre, les quartiles (Q₁, Q₂ et Q₃) et l'écart interquartile (Q₃-Q₁) des valeurs des CCI ont été déterminés pour mieux apprécier la répartition des données cellulaires dans l'échantillon étudié.

1.2.2.- Analyse statistique des données

Les résultats concernant les CCI ont été traités par le logiciel SAS (2000) selon des statistiques descriptives. Il est ainsi déterminé entre autres des moyennes, des écarts-types et des fréquences.

2.- Résultats

2.1.- Présentation des numérations cellulaires individuelles

La moyenne arithmétique (MA) des comptages cellulaire individuels (CCI) des vaches contrôlées est de 640000 ± 1142000 cell. /ml. La moyenne géométrique (MG) des CCI des vaches est de 233000 cell. /ml. Le tableau I montre que 48% des échantillons ont un CCI ≤ 200000 cell. /ml et 52% ont un CCI > 200000 cell. /ml.

Tableau I.- Distribution des CCI selon les règles données par NOIRETERRE (2006)
(*: Pourcentages des échantillons selon le CCI attribué à chaque échantillon du lait individuel)

CCI (x1000 cell. /ml)	CCI *		Interprétation
	Nombre	%	
≤ 200	338	48	Lait normal
200 à 500	148	21	Mammite subclinique, Traite irritante
500 à 1000	96	14	Mammite subclinique, mammite latente
1000 à 5000	99	15	Doute de mammite clinique
> 5000	16	2	Mammite bien établie

Le tableau II montre que 57% des échantillons ayant un CCI < 300000 cell. /ml et 21% des échantillons ayant un CCI > 800000 cell. /ml.

Le tableau III laisse apparaître que le nombre des vaches ayant un CCI moyen ≤ 200000 cell. /ml a augmenté de 63 vaches avec la MA des CCI (34%) vers 89 vaches (48%) avec la MG des CCI. Le nombre des vaches ayant un CCI moyen > 1000000 cell. /ml a diminué de 44 vaches (24%) avec la MA des CCI vers 18 vaches (10%) avec la MG des CCI.

Tableau II.- Répartition des CCI selon les règles données par FABRE *et al* (1996)
 (*: Pourcentages des échantillons selon le CCI attribué à chaque échantillon du lait individuel)

CCI (x1000 cell. /ml)	CCI *		Interprétation
	Nombre	%	
< 300	397	57	Mamelle saine
300 à 800	153	22	Mamelle douteuse
> 800	147	21	Mamelle infectée

Tableau III.- Distribution des vaches selon leur CCI moyen [*: Pourcentages des vaches selon le CCI moyen par vache calculé par 2 moyennes (MA et MG)]

CCI (x1000 cell. /ml)	Selon MA CCI *		Selon MG CCI *	
	Nombre	%	Nombre	%
≤ 200	63	34	89	48
200-500	50	27	52	28
500-1000	28	15	26	14
> 1000	44	24	18	10
Total	185	100	185	100

Le tableau IV révèle que Q_1 des CCI est égal à 64000 cell. /ml, Q_2 des CCI est égal à 213000 cell. /ml, Q_3 trouvé est de 624000 cell. /ml et l'écart interquartile est de 560000 cell. /ml.

Il est repéré que 25% des vaches ont des MA des CCI < 110000 cell. /ml, 50% des vaches ont des MA des CCI < 369000 cell. /ml et 75% des vaches ont des MA des CCI < 792000 cell. /ml. L'écart interquartile relevé est de 682000 cell. /ml (tab. IV).

Tableau IV.- Détermination du diagramme des quartiles de la distribution des CCI

Variables	CCI	MA CCI
	(x1000 cell. /ml)	(x1000 cell. /ml)
Q_1 (Premier quartile)	64	110
Q_2 (Médiane)	213	369
Q_3 (Troisième quartile)	624	792
Q_3-Q_1 (Écart interquartile)	560	682

2.2.- Présentation des CCI selon certains facteurs physiologiques

Les MA des CCI et les MG des CCI des primipares sont inférieures à celles des multipares (tab. V). Les MG des CCI des primipares (145000 cell. /ml) et des multipares (288000 cell. /ml) sont moins élevées que les MA des CCI des primipares (452000 ± 1283000 cell. /ml) et des multipares ($745\ 000 \pm 1233000$ cell. /ml).

Tableau V.- Variation des valeurs des CCI (x1000 cell. /ml) selon le rang de lactation

	Min.	Max.	MA CCI	MG CCI
Primipares	2	15170	452 ± 1283	145
Multipares	10	7874	745 ± 1233	288

Il est constaté que les vaches primipares au début de la lactation (< 100 j) ont une MA CCI plus faible que celle des multipares. Finalement, les primipares à la fin de la lactation (> 200 j) ont une MA CCI plus faible que celle des multipares (tabl. VI).

Tableau VI.- Évolution des MA CCI (x1000 cell. /ml) selon le rang et le stade de lactation

	< 100 j	100-200 j	> 200 j
Primipares	423 ± 1504	464 ± 969	593 ± 885
Multipares	710 ± 1411	739 ± 991	772 ± 1099
Total	568 ± 1451	633 ± 991	705 ± 1055

La figure 1 montre que les CCI sont les plus faibles vers le 2^{ème} contrôle (C2), soit environ 70 jours et ils sont plus importants vers le 8^{ème} contrôle (C8), soit 280 jours. De même, les MA des CCI et les MG des CCI sont dans les 8 contrôles plus élevées pour les multipares que pour les primipares.

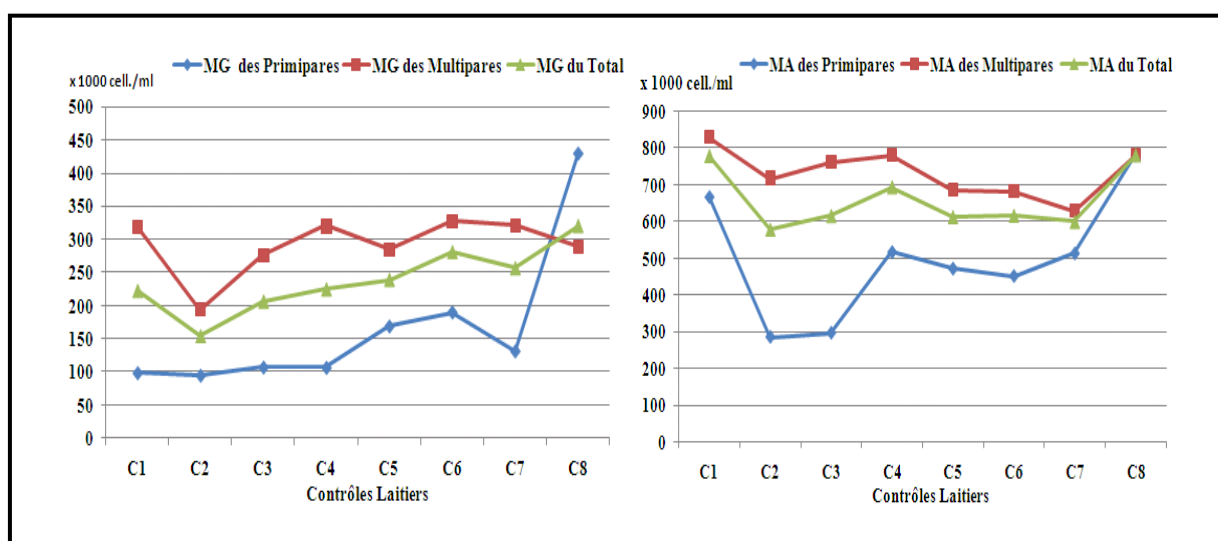


Figure 1.- Évolution des CCI moyens au cours de la lactation des vaches selon les MA et MG

La figure 2 illustre que les CCI sont élevés immédiatement après le vêlage, ils diminuent environ au 2^{ème} contrôle laitier (C₂), augmentent à la fin de la lactation.

3.- Discussion

3.1.- Distribution des numérations cellulaires individuelles

L'amélioration de la qualité du lait passe, entre autres, par l'évaluation de la santé mammaire à la ferme. L'évaluation des comptages en cellules somatiques individuels obtenus mensuellement au contrôle laitier est une avenue intéressante et économique pour

déterminer le portrait et la dynamique de la santé mammaire à la ferme [24]. Ainsi, la détermination systématique de la concentration en cellules somatiques du lait est indispensable étant donné qu'elle constitue un indicateur de santé mammaire en permettant la détection des mammites, particulièrement celles à caractère subclinique [25]. Elle admet également d'évaluer les pertes économiques [26] et enfin constitue un outil de sélection et d'amélioration génétique [27].

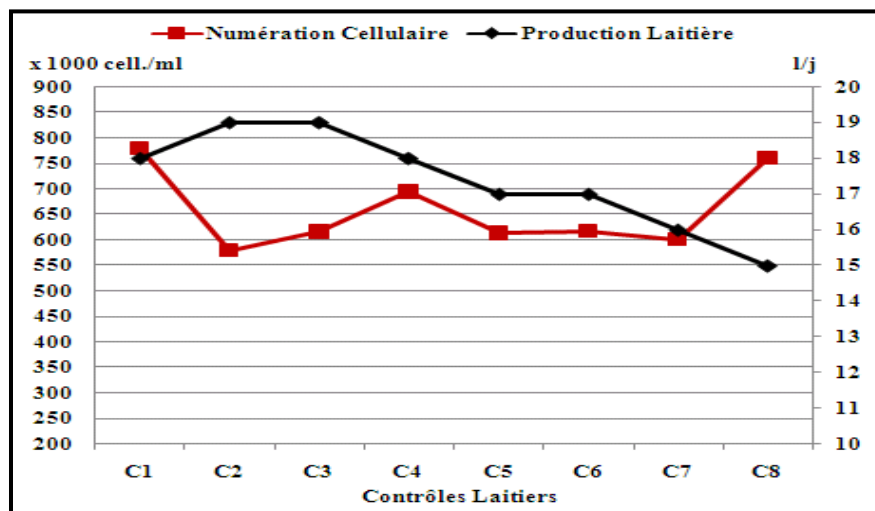


Figure 2.- Relation entre numération cellulaire et production laitière

Les données des CCI doivent être considérées comme une série des résultats disponibles au cours de la lactation des vaches, pour estimer le niveau et la gravité des infections mammaires [14]. Il a été considéré 185 lactations ayant débuté durant la période d'étude, avec un total de 697 échantillons de lait individuel.

La moyenne arithmétique des CCI trouvée est loin de 200000 cell. /ml qui est un seuil au-delà duquel une vache est considérée infectée [28, 29, 30]. Cette moyenne est également loin de 300000 cell. /ml, seuil moins sévère considéré par FABRE *et al* (1996) [31] et SEEGERS et SÉRIEYS (2002) [32].

La moyenne géométrique des CCI est largement moins importante par rapport aux résultats précédents basés sur la moyenne arithmétique. Un tel résultat devrait être considéré avec prudence étant donné le manque actuel des normes d'appréciation des CCI relatives à des moyennes géométriques. Partant du fait que les CCI présentent une distribution logarithmique [14], l'adoption de la moyenne géométrique dans l'analyse de la distribution des valeurs des CCI apparaît mieux garantie et reproduit plus correctement le statut sanitaire des vaches, d'où, la nécessité de l'établissement futur des normes cellulaires basées sur la moyenne géométrique.

Le Comptage des Cellules somatiques (CCS) du lait est une mesure continue et son interprétation nécessite la sélection d'une valeur seuil afin de déterminer le CCS à partir duquel on peut considérer un animal comme infecté [33]. A cet égard, il est réalisé deux façons de distribution des CCI selon deux règles d'appréciation persévérantes de la situation sanitaire mammaire, l'une rapportée par NOIRETERRE (2006) [29], et l'autre, par FABRE *et al* (1996) [31]. Par ailleurs, HANZEN (2015) [34] a révélé la tendance à l'augmentation des CCI avec l'état infectieux mammaire, justifiant ainsi la relation existante entre l'état d'infection mammaire et la concentration cellulaire du lait individuel de vache [14].

Il est distingué que 48% des échantillons incarnent du lait normal et 52% présentent la probabilité des mammites subcliniques ou cliniques, et c'est une interprétation clinique de la numération cellulaire d'un échantillon laitier de vache relatée par NOIRETERRE (2006) [29]. Avec les autres seuils utilisés par les Syndicats de Contrôle Laitier en France comme Estimateurs de prévalence des infections mammaires [31]. A cet égard, il a été discerné que 57% des échantillons sont considérés sains et 21% des échantillons sont considérés infectés, alors que 22% sont considérés problématiques des mammites subcliniques selon l'appréciation rapportée par FABRE *et al* (1996) [31].

Le diagramme des quartiles est utilisé pour mieux apprécier la distribution des CCI dans l'échantillon considéré. Il a été trouvé que 25% des échantillons du lait individuel ayant des CCI < 64000 cell. /ml, 50% des échantillons ont des CCI < 213000 cell. /ml, alors 75% des échantillons ont des CCI < 792000 cell. /ml. La valeur médiane (213000 cell. /ml) est très proche de la MG des CCI des échantillons du lait individuel (233000 cell. /ml) et loin de la MA des CCI, ce qui confirme l'utilité de l'utilisation de la moyenne géométrique dans la distribution des numérations cellulaires. Finalement, les valeurs de l'écart interquartile et l'écart-type apparaît élevées, ce qui explique l'hétérogénéité marquée des CCI des échantillons étudiés. A ce propos, signalons que la dispersion absolue est exprimée par un écart-type élevé, dépassant la moyenne, par conséquent, la dispersion relative est exprimée généralement par un coefficient de variation supérieur à 100%.

Comparativement, dans les trois régions du Sahel Tunisien, la médiane (Q_2) de la distribution cellulaire est de 234000 cell. /ml à Sousse [35], 213000 cell. /ml à Monastir (Zone d'étude) et 190000 cell. /ml à Mahdia [36], dont 50% des échantillons ont des CCI inférieurs à ces valeurs médianes. La moyenne CCI dépasse amplement le taux de 500000 cell. /ml pour chacune des régions considérées indiquant, ainsi, que les infections mammaires sont assez répandues. En outre, les vaches à Mahdia (primipares et multipares confondues) [36] enregistrent les moyennes de CCI les plus faibles, en comparaison avec les moyennes de CCI des vaches à Sousse [35] et dans la zone d'étude.

3.2.- Variation des CCI selon certains facteurs physiologiques

Les MA des CCI et les MG des CCI des primipares sont inférieures à celles des multipares, ce qui concorde avec des autres études. En effet, les primipares sont généralement moins touchées par les mammites que les multipares [37, 38, 36, 35]. Ainsi, le canal du trayon devient plus dilaté après chaque lactation, prédisposant davantage la vache aux infections mammaires [39]. De plus, la fréquence des infections augmente avec le nombre de lactations des animaux. Cette observation est imputable aux modifications morphologiques de la glande mammaire avec l'âge [40].

Le rang de lactation et le stade de lactation sont des facteurs physiologiques de variation des CCI des vaches. En effet, la MA des CCI est plus faible dans les 100 premiers jours de lactation qu'à la fin de la lactation (> 200 j). Cette étude est conforme avec plusieurs études ayant montré la tendance d'augmentation des CCI avec le rang et le stade de lactation des vaches [14, 15, 4, 28, 41, 38, 42, 36, 35].

Pour l'évaluation de l'évolution des CCI au cours de la lactation des vaches, une probable relation existe entre la numération cellulaire et la production laitière. En effet, les

CCI évoluent au cours de la lactation des vaches de façon inverse à la production laitière [23, 28, 17, 18, 19, 36, 35]. Ils atteignent leur minimum avec le pic de production laitière et leur maximum quelques jours avant le tarissement chez la vache. Cette constatation est confirmée par les résultats relevés lors de cette étude.

Dans l'ensemble, des études abondantes [46, 44, 45, 43] ont dévoilé que le lait de première semaine de lactation se caractérise par une forte concentration en cellules, suivie d'une baisse rapide et progressive entre le 25^{ème} et 45^{ème} jour après le vêlage, pour se fixer à un taux modique durant des semaines avant de croître de nouveau, progressivement, jusqu'à la fin de la lactation. L'élévation du taux cellulaire de fin de lactation serait naturellement due à l'augmentation de la concentration cellulaire dans un faible volume de lait suite à l'affaiblissement physiologique de fin de lactation [47, 45]. En période de lactation (mis à part le début), le risque de mammite essentiellement subclinique augmente avec la progression de la lactation. Ceci est dû à l'impact de la machine à traire et l'exposition répétée aux bactéries [48].

Conclusion

La numération cellulaire du lait, renseignant surtout sur le niveau d'infection subclinique de la glande mammaire des vaches laitières et sur la quantité et la qualité du lait produit, est un paramètre utilisé actuellement dans l'établissement du prix de lait livré par les éleveurs dans le système de paiement du lait à la qualité dans plusieurs pays. Ainsi, la Tunisie a entamé un programme visant l'analyse de la situation laitière actuelle, dans le but de fixer des normes de qualité applicables dans le contexte tunisien.

Dans le cadre de ce programme, la présente analyse descriptive des comptages cellulaires périodiques, sur lait de vache au cours d'une lactation chez un échantillon des petits élevages bovins hors sol, a permis de dégager un certain nombre de constatations relatives tant à la situation sanitaire mammaire des vaches (faisant appel au dépistage des mammites à partir de la qualité cellulaire du lait de vache) qu'à la méthodologie d'étude à adopter ultérieurement.

Cette étude, menée en milieu littoral semi-aride, a confirmé nettement les travaux réalisés antérieurement sur la variation des valeurs des CCI en fonction du rang et du stade de lactation ainsi que de la production laitière chez les moyens et les grands troupeaux bovins laitiers. Elle a permis aussi de repérer les orientations pour des investigations ultérieures à propos des diagnostics épidémiologiques descriptif et analytique des infections mammaires cliniques et subcliniques au niveau de chaque troupeau. Le recours futur au diagnostic bactériologique s'avère indispensable pour certaines vaches ayant, comme base préliminaire d'analyse, trois contrôles CCI qui dépassent 500000 cell. /ml avant le tarissement. Par ailleurs, il convient, dans l'avenir, d'appliquer, d'une part, les règles d'appréciation mammaire annoncées par FABRE *et al* (1996) [31], et d'autre part, la moyenne géométrique des CCI, vis-à-vis de la non sanction de l'éleveur lors de l'établissement des normes futures pour le paiement du lait à la qualité à mettre en œuvre dans le contexte tunisien, entre autres, selon sa qualité cellulaire.

Remerciements

La présente étude effectuée en Tunisie dans le cadre d'une Action de Recherche IRESA-GIVLAIT, n'a été possible que grâce à la contribution de la Direction Régionale de l'OEP de Monastir.

Références bibliographiques

- [1].- Seegers H., Fourichon C., Beaudeau F., 2003.- Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Vet. Res.*, 34: 475-491.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal.../document>
- [2].- Boutet P., Detilleux J., Motkin M., Deliege M., Piraux E., Depinois A., Debliquy P., Mainil J., Czaplicki G., Lekeux P., 2005.- Comparaison du taux cellulaire et de la sensibilité antimicrobienne des germes responsables de mammites subclinique bovine entre les filières conventionnelle et biologique. *Ann. Méd. Vét.*, 149: 173-182.
www.facmv.ulg.ac.be/amv/articles/2005_149_3_05.pdf
- [3].- Debreil, J. B., 2008.- Les analyses bactériologiques du lait des infections mammaires bovines applicables au cabinet vétérinaire en pratique courante et leurs intérêts dans le traitement des mammites, Thèse Vétérinaire, Faculté de Médecine, Créteil, France, 109 p.
theses.vet-alfort.fr/telecharger.php?id=1096
- [4].- Barnouin J., Geromegnace N., Chassagne M., Dorr N., Sabatier P., 1999.- Facteurs structurels de variation des niveaux de comptage cellulaire du lait et de fréquence des mammites cliniques dans 560 élevages bovins répartis dans 21 départements français. *INRA Prod. Anim.*, 12 (1): 39-48.
https://www6.inra.fr/productions-animales/.../Prod_Anim_1999_12_1_0...
- [5].- Dohoo J. R., Lesile K. E., 1990.- Evaluating of changes in somatic cell count as indicator of new intramammary infection. In: *Int. Symp. Bovine Mastitis*, National Mastitis Council, Indianapolis, IN, USA: 320-325.
books.google.com/.../International_Symposium_on_B...
- [6].- Selze J. C., 1999.- Taux cellulaires élevés, qui est responsable ? Mammites cliniques ou subcliniques ? (1^{ère} Partie), *Bull. tech. Insémin. Artif.*, 91: 31-33.
[babordplus.univ-bordeaux.fr/notice.php?q=auteurs...%22\)...1](http://babordplus.univ-bordeaux.fr/notice.php?q=auteurs...%22)...1)
- [7].- Carrier J., Dufour S., 2009.- Situation québécoise en santé du pis et qualité du lait. *Cahier des Conférences 33e Symposium sur les bovins laitiers*, Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, Octobre 2009, 22 p.
www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/CARRIER_J.pdf
- [8].- Wallace J., 2007.- Diagnostiquer la mammite. *Revue Le Producteur de Lait QUÉBÉCOIS*: 47-49.
www.medvet.umontreal.ca/...FR/Diagnostic/DiagnostiquerMammite.pdf
- [9].- Grenon C., Fournier S., Goulet J., 2004.- Lait de qualité, *Symposium sur les bovins laitiers*, Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ), 33 p.
http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/Grenon_Claude.pdf
- [10].- Institut de l'Élevage, 2004.- *Maladies des bovins*. Livre, France Agricole Editions, Paris, France, 797 p.
books.google.fr/books/about/Maladies_des_Bovins.html?hl=fr...

- [11].- Kebbal S., Gharbi I., Guemra S., Hanzen CH., Guetarni D., 2008.- Validation d'une méthode de dénombrement de la concentration en cellules somatiques du lait de vache au moyen du Coulter Counter® modèle Z2. Ann. Méd. Vét., 221-226.
www.facmv.ulg.ac.be/amv/articles/2008_152_4_02.pdf
- [12].- Rainard P, Poutrel B., 1984.- Non-random distribution of udder infections among cows. Evaluation of some contributing factors. Ann. Rech. Vét 15: 119-127.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal.../document>
- [13].- Robert-Granie C., Maza E., Rupp R., Foulley J.L., 2001.- Utilisation des polynômes fractionnaires pour la modélisation de la courbe moyenne des scores de cellules somatiques dans le lait chez les bovins laitiers, 4 p.
www.stat.ucl.ac.be/jsbl2002/Robert.pdf
- [14].- Sérieys F., 1985.- Concentration cellulaire du lait individuel de vache : Influence de l'état d'infection mammaire, du numéro, du stade de lactation et de la production laitière. Ann. Rech. Vét., 16 (3): 255-261.
http://www.researchgate.net/profile/Francis_Serieys2/publication/237411854_CONCENTR
- [15].- Coulon J. B., Dauver F., Garel J. P., 1996.- Facteurs de variation de la numération cellulaire du lait chez des vaches laitières indemnes de mammites cliniques. INRA Prod. Anim., 9 (2): 133-139. prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:126863
- [16].- Bouraoui R., Rekik B. et Ben Gara A., 2009.- Performances de reproduction et de production laitière des vaches Brunnes des Alpes et Montbéliardes en région subhumide de la Tunisie. Livestock Research for Rural Development (LRRD) 21(12): 11 p.
www.lrrd.org/lrrd21/12/rach21223.htm
- [17].- Durocher J., Perreault J. Y., 2009.- Le comptage des cellules somatiques : Un outil indispensable pour gérer la santé du pis, Le Producteur de lait québécois: 28-30.
www.medvet.umontreal.ca/rcrmb/dynamiques/.../OutilIndispensable.pdf
- [18].- Jacquinet S. A., 2009.- Évaluation du dépistage des mammites par la conductivité électrique du lait. Thèse Vétérinaire. Université Paul-Sabatier de Toulouse, France, 135 p. oatao.univ-toulouse.fr/3387/1/hartmann_3387.pdf
- [19].- Bouselmi K., Djemali M., Bedhif S., Hamrouni A., Bedhif A., 2011.- Facteurs de variation des Scores des Cellules Somatiques du lait de vache de race Holstein en Tunisie, Actes Renc. Rech. Ruminants, 18, 203p.
www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte13_qualite_produit_Bouselmi.pdf
- [20].- Grappin R., Jeunet R., 1975.- Conditions d'utilisation des méthodes automatiques de dénombrement des cellules du lait: étalonnage et conservation des échantillons de lait, Revue LE LAIT, Novembre-Décembre 1975, N° 549-550: 650-668.
- [21].- Grappin R., Jeunet R., 1974.- Premiers essais de l'appareil «Fossomatic» pour la détermination automatique du nombre de cellules du lait, Revue LE LAIT, Novembre-Décembre 1974, N° 539-540: 627-644.

- [22].- Gambo H., Agnem-Etchike C., 2001.- Dépistage de mammites subcliniques chez des vaches Goudali en lactation au Nord Cameroun, Revue Élev. Méd. vét. Pays trop., 54 (1): 5-10. remvt.cirad.fr/cd/derniers_num/2001/EMVT01_005_010.pdf
- [23].- Rupp R., Boichard D., Bertrand C., Bazin S., 2000.- Bilan national des numérations cellulaires dans le lait des différentes races bovines laitières françaises. INRA Prod. Anim., 13 (4): 257-267.
https://www6.inra.fr/productions-animales/.../Prod_Anim_2000_13_4_04.p...
- [24].- Fauteux V., 2014.- Prédiction de la violation d'un seuil de 400 000 cellules/mL au réservoir de lait à l'aide du portrait et de la dynamique de santé du pis des troupeaux laitiers québécois, Mémoire présenté à la Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Montréal, Canada, 127 p.
<https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/11558>
- [25].- Deluyker H. A., 1991.- Milk yield fluctuations associated with mastitis. In : Burvenich, C.; Vandeputte-Van Messom, G.; Hill, A. W. (Eds), New insights into the pathogenesis of mastitis Rijksuniversiteit Gent : Gent, 207-216.
- [26].- Raubertas R. F., Shook G. E., 1982.- Relationship between lactation measures of somatic cell concentration and milk yield. J.Dairy Sci., 65: 419-425.
- [27].- Rupp R., Boichard D., 1997.- Évaluation génétique des bovins laitiers sur les comptages de cellules somatiques pour l'amélioration de la résistance aux mammites. Actes Renc. Rech. Ruminants, Paris, France, 4-5 Décembre 1997, 4: 211-214.
http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/1997_8_genetique_11_rupp.pdf
- [28].- Mezine M., 2006.- Analyse descriptive des facteurs de risque liés aux mammites dans des élevages d'une clientèle des Ardennes appliquant la démarche GTV Partenaire, Thèse Vétérinaire, ENV d'Alfort, France, 146 p. theses.vet-alfort.fr/telecharger.php?id=119
- [29].- Noireterre Ph., 2006.- Suivi de comptages cellulaires et d'examen bactériologiques lors de mammites cliniques chez la vache laitière. Thèse Vétérinaire, ENV de Lyon, France, 98 p. www2.vetagro-sup.fr/bib/fondoc/th_sout/dl.php?file=2006lyon099...
- [30].- Theron L., 2008.- Étude des risques liés aux pratiques d'élevage sur la santé mammaire des exploitations laitières en Wallonie. Mémoire de la Formation Doctorale, Université de Liège, Belgique, 51 p.
orbi.ulg.ac.be/browse?type=type&sort_by=1...3...
- [31].- Fabre J. M., Bazin S., Faroult B., Cail P., Berthelot X., 1996.- Lutte contre les mammites. Résultats d'enquête réalisée auprès de 1038 élevages français. Bulletin des GTV, 2: 13-16.
- [32].- Seegers H., Sérieys F., 2002.- Intervention du vétérinaire face à un problème de mammites. 1- Questions de base et réponses possibles aujourd'hui. Journées Nationales GTV. Tours: 139-145.

- [33].- Brolund, L. 1985. - Cell counts in bovine milk: Causes of variation and applicability for diagnosis of subclinical mastitis, *Acta Vet. Scand. Supplement* 80: 1-123.
<http://www.cdc-ccl.gc.ca/CDC/index-eng.php>
- [34].- Hanzen Ch., 2015.- *Physio-anatomie et propédeutique de la glande mammaire : Symptomatologie, étiologie et thérapeutiques individuelles et de troupeau des mammites*, *Physio anatomie - Propédeutique et Pathologie mammaire bovine*, Université de Liège, Belgique, 170 p.
orbi.ulg.ac.be/.../R20_21_R22_Physioanatomie_Propedeutique_Patholo...
- [35].- Haj Mbarek R., M'Sadak Y., 2014.- Facteurs de variation cellulaire du lait de vache chez des petits et moyens troupeaux hors sol menés en milieu semi-aride (Tunisie Littorale), *Algerian Journal of Arid Environment*, vol.4, n° 1: 26-38.
dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/5487/1/E040104.pdf
- [36].- M'Sadak Y., Mighri L., Kraiem K., 2013.- Étude des facteurs de variation des niveaux de comptage cellulaire individuel du lait chez des petits troupeaux bovins hors sol en Tunisie- *Revue Nature & Technologie*, n° 8 (B) : 48-52.
www.univ-chlef.dz/RevueNatec/Art_8_B_07.pdf
- [37].- Roussel Ph., Nbaud D., Menard J. L., 2001.- Facteurs d'élevage associés au risque d'infections mammaires chez les primipares après le vêlage. *Actes Renc. Rech. Ruminants*, Paris, France, 2001.
http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2001_pathologie_07_roussel0001.pdf
- [38].- Hanzen Ch., 2009.- *Propédeutique de la glande mammaire : Sémiologie et diagnostic individuel et de troupeau*. Université de Liège, Belgique, R21, 28 p.
www.facmv.ulg.ac.be/amv/articles/2008_152_4_02.pdf
- [39].- Oaki I., 1990.- Diurnal variation in count and composition of somatic cell in milk and characteristics related infection mastitis. In. *Int. Symp. Bovine Mastitis*, National Mastitis Council, Indianapolis, IN, USA: 412-418.
books.google.com/.../International_Symposium_on_B...
- [40].- Hanzen Ch., 2010.- *La pathologie infectieuse de la glande mammaire : Étiopathogénie et traitements*, *Approche individuelle et de troupeau*. Université de Liège, Belgique, 63 p.
http://www.therioruminant.ulg.ac.be/notes/200910/R22_Mammites_etiopathogenie_traitement_2010.pdf
- [41].- Hachana Y., Haddad B., Kraiem K., 2006.- Facteurs de variation du nombre de cellules somatiques dans le lait des bovins inscrits dans le cadre du contrôle laitier en Tunisie. *MHA*, vol. 18 (51): 65-71.
cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=17773830
- [42].- Leslie K. E., 2012.- *Somatic Cell Counts: Interpretation for Individual Cows*, *FACTSHEET*, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation Ontario, 03/85, Commande N° 24-012.
<http://www.omafra.gov.on.ca/english/livestock/dairy/facts/84-012.htm>

- [43].- Schalm O. W., Carrol E. J., Jain N.C., 1971.- Bovine mastitis. Philadelphia, PA, USA, Lea and Febriger: 94-157.
- [44].- Kennedy B. W., Sethar M., Tonga A., Moxley J., 1982.- Environmental factors influencing test day somatic cell counts in. Holsteins. J. Dairy Sci., 65: 275-280.
- [45].- Millet V., 1988.- Mammites: Attention danger ! Revue Fr. Génét. Reprod., 50 : 42-44.
- [46].- Harmon R. J.,Reneau J. K., 1993.- Factors affecting somatic cell count in milk. In 32nd Annual Meeting National Mastitis Council, Kansas City, KS, USA: 243-289.
- [47].- Elvinger F., Natzke R.P., 1992.- Elements of mastitis control. In: Van Horn, H.H; Wilcox, C.J. eds. Large dairy herd management. Champaign, IL, US. American Dairy Science Association: 440–447.
- [48].- Mariani S., 2004.- Effets des infections bactériennes de la mamelle en début de lactation sur les comptages cellulaires somatiques et sur la production laitière en fonction du rang de lactation. Thèse Vétérinaire ENV de Lyon, France, 91 p.
www2.vetagro-sup.fr/bib/fondoc/th_sout/dl.php?file=2004lyon012...

VARIABILITE DE LA TOLERANCE AU STRESS SALIN CHEZ DEUX GENOTYPES CONTRASTES D'UNE LEGUMINEUSE *Medicago truncatula* AU STADE GERMINATION

AMOURI Adel Amar, FYAD LAMECHE Fatima-Zohra et KARKACHI Nouredine
Département de Biologie, Faculté des Sciences de la nature et de la vie,
Université d'Oran Ahmed Ben Bella, Es-Sénia BP1524, Oran, Algérie
Email: amouri.adel@univ-oran.dz

Résumé. - L'étude sur l'évaluation de la variabilité de la tolérance au stress salin, a porté sur deux génotypes contrastés appartenant à l'espèce *M. truncatula* sous différentes concentrations de NaCl (0; 68; 102 et 137 mM), l'un tolérant (Tru 131) et l'autre sensible qui est (Jemalong). L'analyse de l'aptitude germinatif durant la croissance des jeunes plants, a montré un taux de germination et un indice de tolérance élevé chez (Tru 131) par rapport à Jemalong. L'analyse des protéines solubles, a présenté une synthèse élevée en protéines solubles durant l'application du stress salin chez le génotype tolérant (Tru 131) par rapport à Jemalong. L'introduction de ce génotype tolérant (Tru 131) dans les régions salines, arides et semi-arides en Algérie et le pourtour méditerranéen, peut améliorer significativement la productivité végétale pour assurer une bonne alimentation animale et contribuer à la fertilisation des terres agricoles.

Mots clés: *Medicago truncatula*, légumineuse, stress salin, germination, protéines solubles.

VARIABILITY OF THE TOLERANCE OF SALT STRESS IN TWO CONTRASTING GENOTYPES OF THE *Medicago truncatula* LEGUME AT THE GERMINATION STAGE

Abstract. - The study on the assessment of the variability of salt stress tolerance, focused on two contrasting genotypes of the plant *M. truncatula* under four levels of salt stress (distilled water as control 0; 68; 102 and 137 mM) of sodium chloride (NaCl) solution, one is tolerant (Tru 131) and the (Jemalong) the sensitive one. The data analysis of germination aptitude showed that the (Tru 131) genotype had the best germinatif ability, compared to (Jemalong). The soluble protein analysis, showed a high protein synthesis during salt stress application in the tolerant genotype compared to the sensitive one (Jemalong). The introduction of the most tolerant genotype (Tru 131) in arid and semi-arid areas in Algeria and Mediterranean regions, can improve significantly the vegetal productivity in order to ensure a good animal food and contribute to the fertilization of agricultural land.

Key words: *Medicago truncatula*, legume, salt stress, germination, soluble proteins.

Introduction

La salinité est l'un des stress abiotiques qui affecte de manière significative la croissance des plantes et la qualité des graines. Les légumineuses sont des plantes très importantes sur le plan écologique et agricole car ils sont capables d'interagir en symbiose avec des rhizobiums pour la fixation biologique de l'azote [1,2], ce qui évite l'utilisation d'engrais chimiques, qui affectent la rhizosphère et polluent l'atmosphère [1]. Parmi les espèces annuelles du genre *Medicago*, l'espèce *Medicago truncatula* est largement utilisée comme une plante légumineuse modèle pour comprendre la tolérance aux stress abiotiques [3]. Ce type de légumineuses a un grand intérêt pour l'agriculture durable. La croissance de ces plantules au stade précoce est très sensible aux stress environnementaux [4]. A ce stade, la germination devient un facteur déterminant pour le développement de la plante

sous l'action de la salinité. Ainsi, toutes les graines n'ont pas une capacité identique de tolérer la dessiccation. Les protéines qui s'accumulent chez les plantes en développement sous des conditions salines, jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique [5]. Ces protéines sont synthétisées de novo en réponse à un stress salin qui sont présentes de manière constitutive à une faible concentration [6]. Il est donc intéressant de trouver une association entre la teneur en protéines et la tolérance au stress salin, car, la diminution de la synthèse des protéines et le polymorphisme dans les profils protéiques est un phénomène commun pour les différentes plantes sous stress salin [7]. L'objectif de la présente étude, est l'évaluation de variabilité génétique au niveau morphologique (aptitude de germination) et au niveau biochimique (synthèse des protéines solubles) pour la tolérance au stress salin entre deux géotypes contrastés, l'un tolérant (Tru 131) et l'autre sensible (Jemalong).

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Matériel végétal

Des graines appartenant aux deux géotypes contrastés de *M. truncatula* ont été étudiés, le tolérant (Tru 131) fournis par l'IDGC Belabes et Jemalong qui est sensible [8], sont utilisés à quatre niveaux de traitement par NaCl (0, 68, 102 et 137 mM) [9].

1.2.- Méthodes

1.2.1.- Condition de germination et paramètres calculés

Par semis, pour chaque géotype, quarante graines scarifiées après désinfection sont réparties en quatre lots, le lot témoin et les trois lots traités à différentes concentrations. Les graines sont mises à germer à l'obscurité en boîtes de Petri fermées et tapissées avec du papier filtre imbibé contenant le milieu correspondant, dans une étuve à une température de $25\pm 2^\circ\text{C}$. Chez *Medicago truncatula*, la condition optimale est l'obscurité et la lumière diminue la vitesse de germination [10]. Les graines germées sont dénombrées quotidiennement afin d'analyser la cinétique de germination, l'émergence de la racine étant l'indicateur de la germination. Les boîtes de Pétri sont arrosées tous les deux jours (3ml par boîte de solution des différentes concentrations de NaCl) pour maintenir les graines toujours imbibées. Neuf jours après le semis et à une température de $25\pm 2^\circ\text{C}$, le taux de germination (TG) est calculé afin d'analyser la capacité germinative, car après cette durée, un taux élevé de graines germées est observé aux différentes doses de salinité. Ces taux représentent le pourcentage de graines germées par rapport au total de graines semées et qui varie d'un géotype à un autre. Pour déterminer la tolérance d'un géotype, un indice (IT) égal au rapport de la valeur notée sous stress sur celle du témoin, est calculé. Il a été considéré que les plantes tolérantes ont un indice de tolérance plus élevé que les plantes sensibles. Afin de normaliser les deux variables (TG et I.T), les valeurs sont analysées après transformation par $\text{Arcsin}\sqrt{x}$.

Le dispositif expérimental utilisé est un dispositif bloc, échelonné dans le temps, complètement aléatoire, avec trois répétitions ($n=3$). Pour les répétitions, chaque géotype est représenté par dix individus.

1.2.2.- Détermination des de la teneur en protéines des jeunes plants sous stress salin

La teneur en protéines de réserves est déterminée par la méthode décrite par BRADFORD (1976) en utilisant le sérum albumine bovine comme témoin. Deux

échantillons de plantules individuelles pour chaque génotype déjà pesées, sont homogénéisés avec un tampon d'extraction 50 mM Tris -HCl (pH: 6,8), 2% de SDS, 2,5% de bêta -mercaptoéthanol, 10% glycérol. Les échantillons sont centrifugés à 14000 rpm pendant 15 minutes et le surnageant est isolé et utilisé pour le dosage des protéines. L'intensité de la couleur bleue développée est enregistrée à 595 nm et la concentration en protéine est mesurée en utilisant du sérum albumine bovine comme témoin. La teneur des jeunes plants en protéines de réserves (mg g^{-1}) est calculée en fonction du poids frais des jeunes plants (mg) pour chaque génotype.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Etude de la variabilité de la tolérance à la salinité au niveau morphologique et biochimique durant la germination

Le stress salin, quelle que soit la concentration en NaCl, diminue le taux de germination des graines. Le test de l'analyse de variance à deux facteurs, s'est révélé hautement significatif pour l'effet traitement sur le taux de germination (tab. I). Les taux de germination en absence de stress sont compris entre 90 et 100 %.

Tableau I.- Analyse de variance à deux facteurs de l'effet traitement, génotypes et leur interaction pour les paramètres (taux de germination et indice de tolérance), poids frais et teneur en protéines des jeunes plants [(F: valeur statistique de Fisher, P: niveau de signification). (*P < 0.05, ** P < 0.001; ns: non significatif)]

Paramètres	Effet génotype (G)		Effet traitement (T)		Interaction (GxT)	
	F	P	F	P	F	P
Taux de germination TG (%)	0,04	0,853	24,27	0,000**	1,61	0,227
Indice de tolérance (IT)	6,32	0,029*	24,66	0,000**	0,09	0,911
Poids frais (mg)	0,424	0,533	8,107	0,008*	1,147	0,388
Teneur en protéines (mg/g)	4,737	0,061	1,020	0,434	0,311	0,817

Les données obtenues après une durée de traitement de neuf jours, indiquent que les taux de germination des graines diminuent considérablement avec l'augmentation de la salinité (fig. 1). Ainsi, toutes les graines n'ont pas une capacité identique à tolérer la salinité [10]. Selon PRADO *et al.* (2000), la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin serait due à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress [12]. Le génotype Tru 131 présente l'indice de tolérance le plus élevé pour le taux de germination quel que soit le traitement par rapport à Jemalong. Les indices de tolérance du taux de germination enregistrés sur l'ensemble des trois répétitions de l'expérience montre que le génotype Tru 131 est le plus vigoureux et qui tolère le mieux au stress salin, tandis que le génotype Jemalong, le moins vigoureux, tolère le moins l'effet de ce stress. A la lecture du Tableau I sur l'analyse de variance à deux facteurs, ceci montre un effet génotype et traitement significatifs pour l'indice de tolérance (IT), et un effet traitement hautement significatif pour le poids frais des jeunes plants.

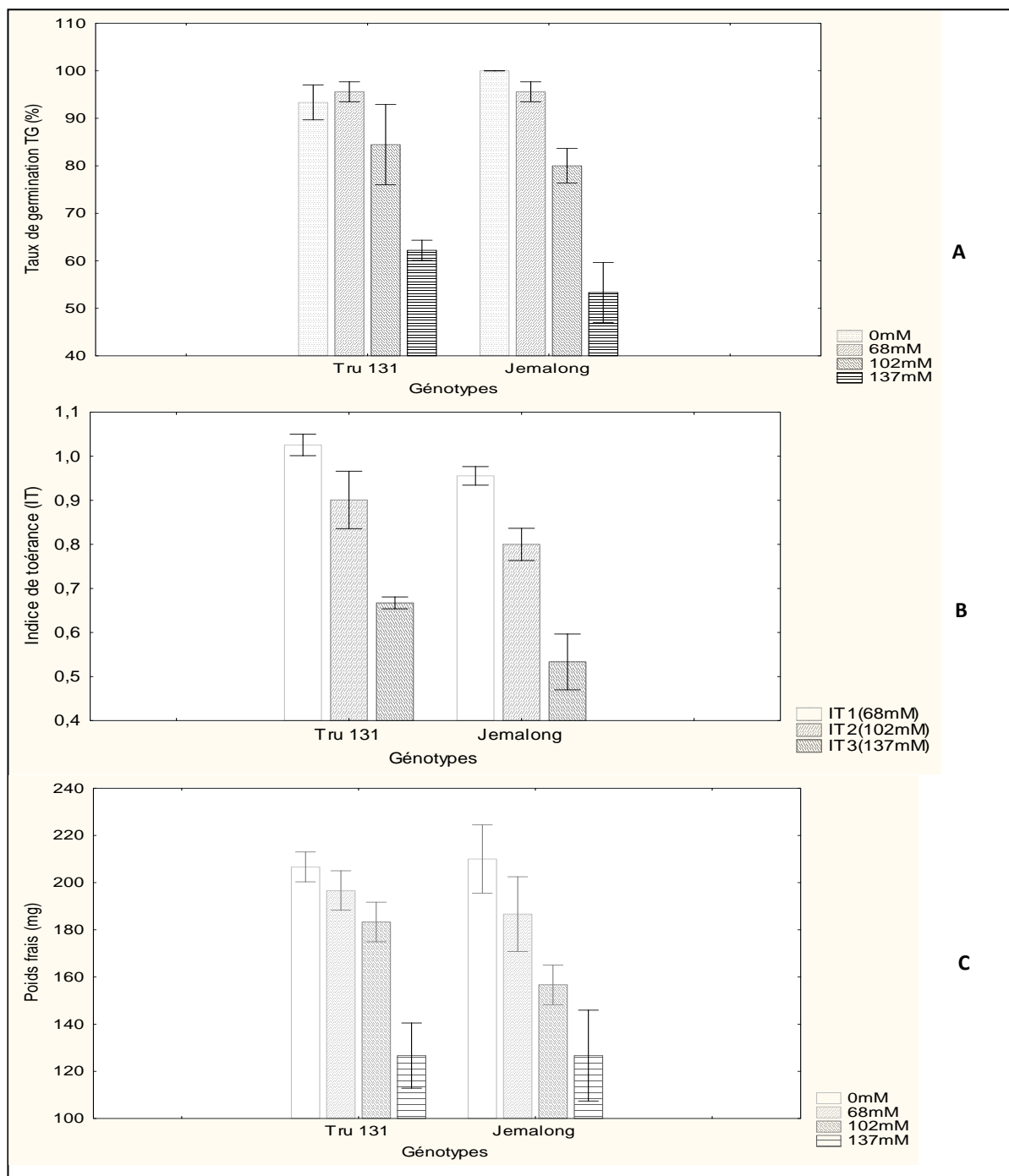


Figure 1.- Résultats obtenus sur les différents paramètres morphologiques étudiés chez deux géotypes contrastés de *M. truncatula* (Tru 131, tolérant et Jemalong, sensible) sous différentes concentration d'NaCl. (A: taux de germination, B: indice de tolérance, C: poids frais des jeunes plants)

Sous stress salin, le géotype Tru 131, montre un poids frais élevé des jeunes plants (fig. 1) et une teneur en protéines augmenté par rapport à Jemalong (fig. 2). Il a été mis en évidence chez l'orge, une différence de comportement entre la variété sensible et la variété tolérante vis-à-vis du stress salin et l'induction de la synthèse de nouvelles protéines [13]. Une teneur élevée en protéines solubles a été observée chez des cultivars d'orge, tournesol, millet et de riz tolérants au stress salin [14]. AGASTIAN *et al* (2000) ont rapporté que les protéines solubles augmentent à faible dose de salinité et diminuent à forte concentration

chez des cultivars de mûriers. Il a été reporté aussi que le stress salin déclenche l'expression de plusieurs protéines osmo-sensible dans les tissus de riz et une corrélation a été trouvée entre l'accumulation de ces protéines de stress chez les génotypes tolérants, par rapport aux génotypes de riz sensibles la salinité [16,17]. Chez les végétaux supérieurs, le stress osmotique induit la synthèse de plusieurs protéines dans les tissus végétatifs, qui sont reliés aux protéines LEA (late-embryogenesis-abundant proteins). La corrélation entre l'accumulation de ce type de protéines et la tolérance au stress, indique le rôle protecteur de ces protéines sous déficit hydrique [18]. Ainsi, le protéome qui contient des niveaux élevés en protéines LEA et en chaperons, ont un rôle important dans la tolérance au stress en relation avec la dormance des graines [19]. Une diminution dans la synthèse des protéines solubles à forte dose de NaCl chez les deux génotypes étudiés, a été observée.

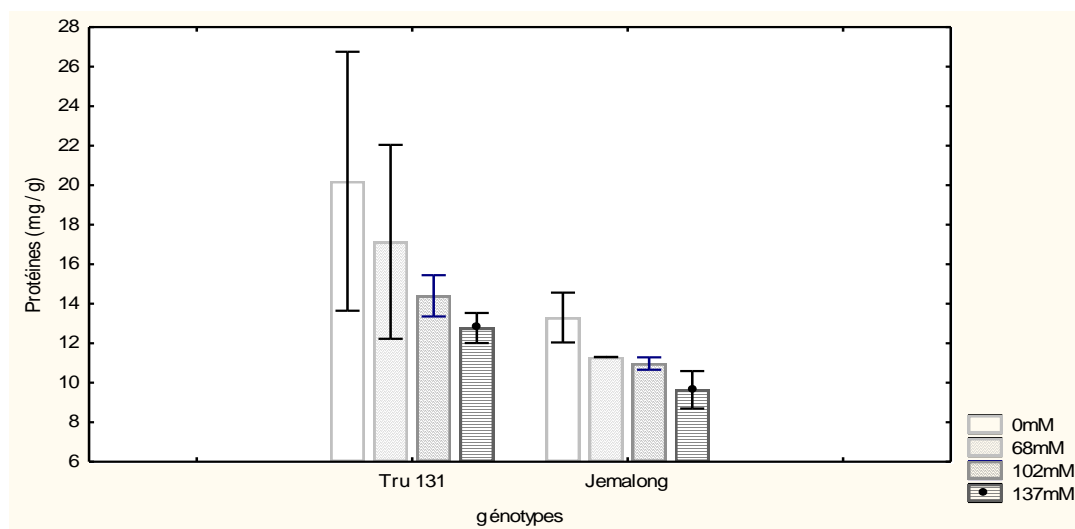


Figure 2.- Teneur en protéines solubles des jeunes plants chez les deux génotypes contrastés de *M. trunacatula* (Tru 131, tolérant et Jemalong, sensible) sous différentes concentration en NaCl

2.2.- Cinétique de germination

Les résultats sur la cinétique de germination présentés par la (fig. 3) montrent que les courbes relatives aux taux de germination des graines sous stress salin, sont situées au-dessous de celles du témoin et diminuent au fur et à mesure que la concentration de NaCl augmente. Cette figure révèle aussi un ralentissement du processus de germination en fonction du stress salin. La cinétique de germination est régulée par la température, l'optimum varie d'un génotype à un autre et d'une espèce à l'autre selon le milieu auquel elle est adaptée [10]. En conditions témoins, les deux génotypes Tru 131 et Jemalong, présentent une capacité de germination élevée surtout pour Jemalong, pour ce dernier, la capacité germinative se stabilise à partir du deuxième jour (J2), alors que chez Tru 131, la vitesse se stabilise à partir du huitième jour (J8), notant une certaine précocité de germination chez Jemalong. D'après BEN MILED *et al* (1986), ceci est due à une différence dans le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne. Sous stress salin, les résultats de l'essai montrent que les concentrations 68, 102 et 137 mM de NaCl réduisent la vitesse et la capacité germinative des graines. Toutefois, le génotype Tru 131, s'avère le plus tolérant, avec une capacité de germination la plus élevée par rapport à Jemalong (fig. 4). On remarque qu'il y a une différence dans la vitesse de germination entre les deux génotypes, ceci est en fonction de la température et la réponse au déficit hydrique [21]. Les plantes ont

développé des mécanismes complexes pour affronter les changements environnementaux.

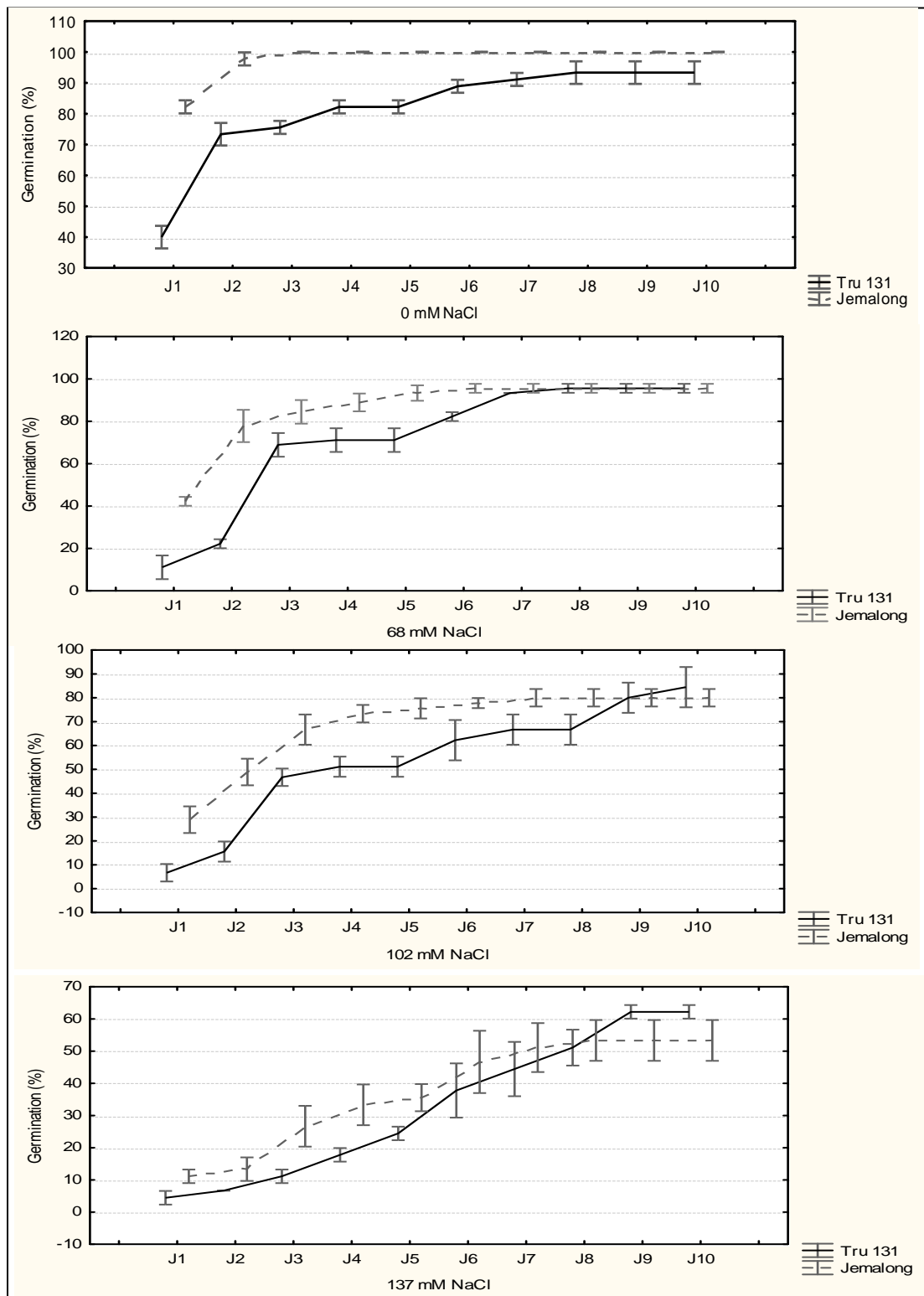


Figure 3.- Cinétique de germination des graines des deux géotypes contrastés de *Medicago truncatula* (Tru 131, tolérant et Jemalong, sensible) en fonction de la concentration en NaCl

Au niveau moléculaire, ceci est illustré par de nombreux changements dans le transcriptome, observés chez les plantules, les feuilles, les racines, et ceci comme un

processus cellulaire reprogrammant les plantes à s'adapter aux différentes températures, basses ou élevées [22]. De ce fait, il est possible de rechercher les bases génétiques qui expliquent le polymorphisme de réponse au stress salin au cours de la germination et durant l'ontogénèse afin de déterminer les gènes candidats responsables de la tolérance à la salinité.

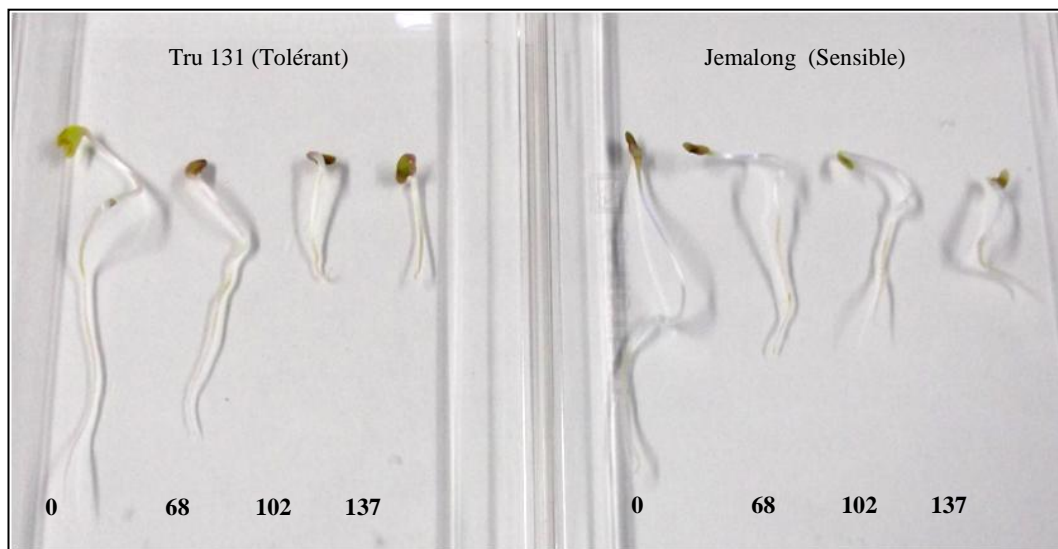


Figure 4.- Croissance des plantules de deux géotypes contrastés de *M. truncatula* (Tru 131(T) et Jemalong (S)) sous différentes concentration en NaCl

Conclusion

La variation des capacités germinatives des graines permettent de bien discriminer les géotypes quant à leur tolérance ou sensibilité au sel au cours de la germination. Le géotype Tru 131, présente la meilleure aptitude à la germination en conditions salines avec une teneur élevée en protéines, et est donc considéré comme le plus tolérant par rapport à Jemalong. La Culture de cette plante tolérante et son introduction dans les zones arides et semi-arides, semble présenter un grand intérêt agronomique (production fourragères) et écologique (fixation de l'azote atmosphérique). Ceci, permet aussi de lutter contre la désertification qui touche beaucoup de régions de notre pays.

Références bibliographiques

- [1].- Spaink H. P., 2000.- Root nodulation and infection factors produced by rhizobial bacteria. *The Annual Review of Microbiology*, 54: 257-288.
- [2].- Perret X. Staehelin C., Broughton W. J., 2000.- Molecular basis of symbiotic promiscuity. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64: 180-201.
- [3].- Young N. D. et Udvardi M. K., 2009 .- Translating *Medicago truncatula* genomics to crop legumes. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(2):193-201.
- [4].- Penmetsa R. V. et Cook D., 1997.- A legume ethylene-insensitive mutant hyperinfected by its rhizobial symbiont. *Science*, 275:527-530.
- [5].- Singh P., Singh U., Eggum B. O., Kumar K. A., Andrews D. J., 1987.- Nutritional evaluation of high protein genotypes of pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.)

- Leeke). Journal of the Science of Food and Agriculture, 38:41-48.
- [6].- Pareek A., Singla S. L., Grover A., 1997.- Short-term salinity and high temperature stress-associated ultrastructural alterations in young leaf cells of *Oryza sativa* L. Annals of Botany, 80: 629-639.
- [7].- Merrill C. R., 1990.- Silver staining of proteins and DNA. Nature, 343: 779-780.
- [8].- Amouri A. A., Fyad Lameche F. Z., Yahia N., 2014.- Early seedling development of *Medicago truncatula* genotypes under salt stress in relationship with seed dry weight and storage protein content. African Journal of Biotechnology, Academic Journals, 13 (2):322-331.
- [9].- Amouri A. A. et Fyad-Lamèche F. Z., 2012.- Comparative analysis of salinity tolerance of the male gametophyte and the sporophyte in *Medicago* at the germination stage. Acta botanica Malacitana, 37:93-102.
- [10].- Gimeno Gilles C., 2009.- Étude cellulaire et moléculaire de la germination chez *Medicago truncatula*. Thèse de doctorat en Biologie Cellulaire et Moléculaire Végétale. Université d'Angers, 174 p.
- [11].- Bradford M. M., 1976.- A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72:248-54.
- [12].- Prado F. E., Boero C., Gallardo M., Gonzalez J. A., 2000.- Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 41: 27-34.
- [13].- Zid E. et Grignon C., 1991.- Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress. Cas des stress salin et hydrique. L'Amélioration des Plantes pour l'Adaptation aux Milieux Arides. Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris: 91-108.
- [14].- Ashraf M. et Harris P. J. C., 2004.- Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Science, 166: 3-16.
- [15].- Agastian P., Kingsley, S. J., Vivekanandan M., 2000.- Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. Photosynthetica, 38: 287-290.
- [16].- Chourey K., Ramani S., Apte S. K., 2003.- Accumulation of LEA proteins in salt (NaCl) stressed young seedlings of rice (*Oryza sativa* L.) cv Bura Rata and their degradation during recovery from salinity stress. Journal of Plant Physiology, 160: 1165-1174.
- [17].- Kumar V., Shriram V., Nikam T. D., Jawali N., Shitole M. G., 2009.- Antioxidant enzyme activities and protein profiling under salt stress in *indica* rice genotypes differing in salt tolerance. Archives of Agronomy and Soil Science, 55(4): 379-394.
- [18].- Ingram J. et Bartels D., 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Annual Review Plant Molecular Biology, 47: 377-403.

- [19].- Grobei M.A., Qeli E., Brunner E., Rehrauer H., Zhang R., Roschitzki B., Basler K., Ahrens C. H. et Grossniklaus U., 2009.- Deterministic protein inference for shotgun proteomics data provides new insights into Arabidopsis pollen development and function. *Genome Research*, 19:1786-1800.
- [20].- Ben Miled D., Boussaid M., Abdelkefi A., Cherif A., 1986.- Tolérance au sel d'espèces annuelles du genre *Medicago* au cours de la germination. Séminaire international sur les végétaux en milieu aride, 8 au 10 septembre, Jerba., Tunisie, 586- 593.
- [21].- Brunel Muguet S., 2008.- Caractérisation écophysiologique de différents génotypes de *Medicago truncatula* au cours des phases de germination et de croissance hétérotrophe. Thèse de doctorat en Sciences agronomiques. Université d'Angers, 105 p.
- [22].- Kreps J. A., Wu Y. J., Chang H. S., Zhu T., Wang X., Harper J. F., 2002.- Transcriptome changes for Arabidopsis in response to salt, osmotic, and cold stress. *Plant Physiology*, 130: 2129-2141.

TECHNIQUES DE CONSERVATION DES EAUX ET DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT D'OUED SIDI SALAH (SFAX-TUNISIE): ESSAI D'EVALUATION

FOURATI Marwa¹, BOUAZIZ Riadh², EL AMRI Asma¹ et MAJDOUB Rajouene¹

⁽¹⁾Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel
Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem

Université de Sousse, Sousse, Tunisie

⁽²⁾Laboratoire de Cartographie Géomorphologique des Milieux, des Environnements et des
Dynamiques, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Sfax

Université de Sfax, Sfax, Tunisie

E-mail: marwa.fourati@yahoo.fr; riadhbouaziz@yahoo.fr; elasma@yahoo.com;
rmajdoub@yahoo.com

Résumé. - L'érosion hydrique, phénomène largement répandu en Tunisie, est l'une des principales sources de détérioration des sols dans les zones agricoles, à l'échelle locale des exploitations et à l'échelle des bassins versants. Pour lutter contre ce phénomène, des aménagements de conservation des eaux et du sol ont été présents au niveau du bassin versant d'Oued Sidi Salah (Tunisie centrale) où l'érosion hydrique se manifeste fortement. Ce travail consiste à évaluer les aménagements existants au niveau du bassin versant, leurs états et leurs efficacités, par l'utilisation des outils du système d'information géographique. Après l'élaboration d'une base de données multi-ressources, en utilisant un ensemble de logiciels, il est établi différentes cartes thématiques. Ces dernières ont permis de mettre à jour les données et de faire une analyse spatiale du milieu. Les résultats montrent que les ouvrages ont été efficaces dans certains endroits. Toutefois, leur nombre reste très limité vis-à-vis la fragilité du milieu naturel et l'intensité de l'érosion. Par conséquent, ce travail a essayé de mettre l'accent sur la nécessité d'avoir une vision globale sur les problèmes de dégradation du milieu dans l'ensemble du bassin versant. Cette tâche permettra de chercher les solutions adéquates et de répartir les travaux selon des zones de priorité.

Mots clés : Bassin versant, dégradation des terres, aménagements hydro-agricoles, conservation des eaux et des sols, Sidi Salah.

WORKS OF WATER AND SOIL CONSERVATION IN THE WATERSHED OF OUED SIDI SALAH (SFAX - TUNISIA): EVALUATION TEST

Abstract. - The watershed of Oued Sidi Salah (Sfax, Tunisia) had a change in the agricultural landscape which has affected the dynamics of the river system and has aggravated the water erosion. This erosion appears differently in the study area. Faced to those plagues, many works of Water and soil Conservation were present. This work aims to study and analyze the existing development in the watershed by using tools of the geographic information system. After development of multi resources database using a set of softwares, different thematic maps were obtained. These allowed not only having an update of the data and making a spatial analysis of the environment, but also the ability to overlay several themes at once. An evaluation test of these works, their shape and their effectiveness has been presented and accompanied by some recommendations on actions taken and planned. This work has tried to focus on the need of having a global view of environment degradation problems throughout the watershed. This task will allow to find the right solutions and to distribute tasks according to priority areas.

Key words: Watershed, land degradation, hydro-agriculture works, water and soil conservation, sidi salah (Sfax, Tunisia).

Introduction

La protection du patrimoine eau et sol est devenue la préoccupation majeure de tous les pays, entre autres les pays méditerranéennes, surtout que ces deux ressources naturelles sont limitées et non renouvelables à court ou moyen termes [1]. La Tunisie, pays aride à semi-aride, est caractérisée par un milieu très vulnérable aux fléaux de dégradation des terres particulièrement l'érosion hydrique. Ceci est en rapport avec des facteurs naturels, essentiellement climatiques à cause de l'irrégularité et la torrencialité des précipitations, mais la part de l'Homme, depuis l'antiquité et surtout avec la colonisation et l'introduction de nouvelles techniques agricoles est indéniable [2, 3, 4]. Face à ce problème, un programme stratégique, qui vise la création des aménagements antiérosifs des terres, notamment les travaux de Conservation des Eaux et du Sol (CES), a été établi pour assurer une durabilité du sol et une meilleure gestion des ressources en eau [5, 6, 7].

L'intérêt pour la conservation des eaux et du sol a été accompagné, durant les dernières décennies, par le développement de nombreux outils informatiques tels que les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Ces outils ont permis de stocker, de mettre à jour et d'analyser des données [8,9]. Ils ont été utilisés dans différents domaines tels que la prévision des productions agricoles [10], la gestion des ressources en eau [11, 12], l'exploitation des carrières, l'impact de la pollution sur l'environnement [13], la détection des changements des couvertures végétales [14] et le suivi du ravinement [15]. Leur application dans le domaine des travaux de CES a été abordée par BACCARI *et al.* (2005) [16], pour développer une méthodologie d'inventaire des aménagements anti érosifs basée sur des photographies aériennes. La détection des sites potentiels aux lacs collinaires a été étudiée par ANANE *et al.* (2008) [17] alors que l'identification des jessours, ouvrages anti-érosifs spécifiques du Sud Tunisien, a été abordée par ABDELLI *et al.* (2012) [18].

Dans la région de Sfax de la Tunisie centrale, le bassin versant Sidi Salah constitue l'un des principaux bassins de la région [19]. Malgré sa faible topographie, ce bassin versant n'a pas échappé du fléau de l'érosion hydrique [20]. Il a été, ainsi, aménagé depuis les années 1990, par des techniques de conservation des eaux et de sol qui ont été installés sur les versants et dans l'axe des oueds [21]. Ce travail vise, en s'appuyant sur des travaux de terrain et des images satellitaires de très haute résolution (à partir de Google Earth) de présenter un diagnostic sur les différentes techniques de CES. Cette tâche permettra d'évaluer le fonctionnement des différents travaux d'aménagements hydroagricoles réalisés au niveau du bassin versant Sidi Salah. L'étude a été basée sur l'identification des aménagements de conservation des eaux et du sol existants et sur le suivi de leur état de fonctionnement et leur efficacité dans la lutte contre l'érosion.

1.- Matériel et Méthodes

1.1.- Cadre général de la zone d'étude

Le bassin versant d'Oued Sidi Salah appartient à la côte Nord du Golfe de Gabès, précisément au nord de la ville de Sfax. Il constitue l'un des principaux bassins versants de la région avec une forme allongée et une superficie de 250 km² (fig. 1). Le bassin versant d'étude se caractérise par une topographie faible. Toutefois, il est possible d'y distinguer des différences sensibles au niveau des altitudes et des formes. En amont, se sont les collines qui correspondent au relief le plus élevé; leurs altitudes restent modestes situées autour de 130 à 180 m. En contrebas des collines, s'étend le domaine des plateaux avec une

topographie généralement régulière, des altitudes moyennes comprises entre 40 et 130 m et des pentes faibles ne dépassant pas 0,8%. Vers la mer, le passage du plateau à la plaine se fait souvent de façon insensible. Le régime pluviométrique est caractérisé par des pluies très irrégulières, torrentielles et violentes. De tels événements ont été à l'origine de la dégradation du milieu naturel et de la transformation de la morphologie des cours d'eau. En effet, depuis la deuxième décennie du 20^{ème} siècle, la zone d'étude a connu plusieurs événements pluviométriques exceptionnels, dont les plus connues sont ceux de 1969, 1982, 2009 et 2013 [22].

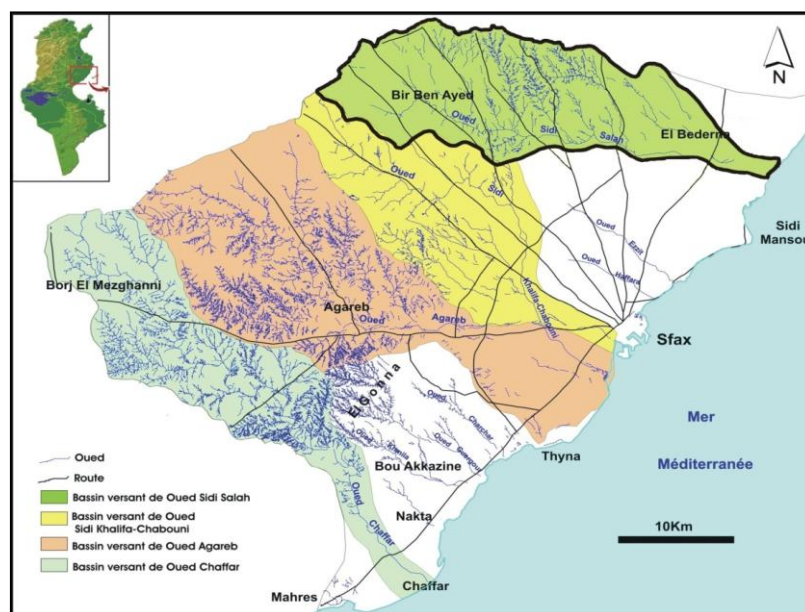


Figure 1.- Carte de localisation du bassin versant d'Oued Sidi Salah adaptée [23]

Le bassin versant d'étude est drainé par un réseau hydrographique de petite taille mais relativement dense. Le cours d'eau principal prend naissance dans les collines de Sidi Litayem et s'écoule du Nord-Nord Ouest vers le Sud-Sud Est pour se jeter dans la mer au niveau de Chott El Mardassia [24]. De l'amont vers l'aval, l'oued prend les appellations suivantes : Oued Hendaia, Oued Boucherna, Oued Darroug, Oued Sidi Salah et Oued Lâachech [23]. La délimitation du bassin d'étude a permis de distinguer dix sous bassins versants dont chacun prend le nom de son cours principal (tab. I).

Tableau I.- Caractéristiques des sous bassin versants

Sous bassin versant	Superficie (km ²)	Périmètre (km)
Oued Hendaia	49,07	29,13
Oued Bourchena	46,50	31,07
Oued Sidi Abdelkefi	12,07	16,79
Oued Seguit Bab Jebli	1,72	7,66
Oued Bouferis	13,80	21,45
Oued Kharrouba	25,38	30,61
Oued Ezzriba	9,06	15,38
Oued Laachech	60,62	40,33
Oued Khadhri	41,56	35,88
Oued Hallouf	6,32	12,03

1.2.- Procédé de travail

Le tableau II présente le matériel utilisé dans cette étude. Il s'agit des outils purement informatiques basés sur un ensemble de logiciels de traitement d'images et de SIG. Chaque logiciel possède une tâche bien précise. Le choix de ces logiciels s'explique par la possibilité de transférer les cartes entre celles de manière très rapide selon des extensions de types wmf, shp, eps, etc.

Tableau II.- Matériel utilisé

Logiciel	Utilité
ERDAS Imagine	Géoréférencement Traitement des images satellitaires
ArcView 3.2	Elaboration d'une base de données Superposition de différentes couches de données Visualisation et analyse des données géographiques
Corel Draw	Cartographie assistée par ordinateur
Google Satellite Maps Downloader	Téléchargement des images satellitaires à partir de Google Earth

L'élaboration des cartes thématiques a été basée sur des documents cartographiques en modes raster et vecteur. Les documents en mode raster sont essentiellement les cartes topographiques de Sfax et de Sidi Litayem au 1/50000 et au 1/25000 datées respectivement de 1955 et 1992, et des images satellitaires téléchargées de Google Earth moyennant le logiciel «Google Satellite Maps Downloader». Les documents en mode vecteur correspondent à des thèmes digitalisés ou à des statistiques issues du Commissariat Régional Au Développement Agricole (CRDA) de Sfax (Tunisie).

L'ensemble de ces documents a été géoréférencé en utilisant le logiciel ERDAS Imagine. Toute la base de données a été intégrée dans un SIG pour créer des thèmes capables d'apporter plus de précision à notre étude concernant le réseau hydrographique, la limite du bassin versant, l'évolution de l'occupation du sol et surtout les ouvrages de conservation des eaux et du sol, etc. Pour bien évaluer ces travaux, une carte de disfonctionnement de ces ouvrages a été, également, élaborée par la photo interprétation comparée des images satellitaires, à haute résolution, prises à différentes dates (2003, 2010 et 2013), et basée sur des observations directes sur le terrain (emplacement, état, qualité du travail, etc.). Il s'agit, en fait, des observations non détectables avec la photo interprétation même avec l'utilisation des images à haute résolution.

1.3.- Classification des sous bassins versants selon leur priorité en matières anti-érosives

Une méthode de classification des sous bassins versants selon leurs niveaux de priorité en matière de lutte contre l'érosion a été proposée pour évaluer l'emplacement des ouvrages de conservation des eaux et de sols aménagés dans le bassin versant de Sidi Salah. Cette méthode intègre quatre paramètres essentiels à savoir : i) le pourcentage qu'occupent des cultures par rapports à la superficie totale du sous bassin versant, ii) l'importance relative des pentes supérieures à 3% dans la superficie totale de chaque sous bassin, iii) l'importance relative des sols rendziniques caractéristiques des dômes encroûtés sur le mio-pliocène et iv) le taux d'érosion hydrique.

Cette classification a été inspirée des critères adoptés par les services de la CES pour la détermination des niveaux de priorité des interventions de lutte anti-érosive dans la région de Sfax, et de l'étude réalisée au niveau du bassin versant du Chaâl-Tarfaoui au Sud de la ville de Sfax [25]. Dans cette dernière étude, l'auteur a intégré la densité de drainage au niveau de chaque sous bassin versant afin d'exprimer le critère d'érosion hydrique, et a proposé une simplification des critères retenues par le Ministère de l'agriculture qui ont pris en compte des indicateurs économique et sociale.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Dynamique érosive

La carte du réseau hydrographique, présentée dans la figure 2, montre l'organisation du réseau hydrographique selon leurs ordres et la densité du ravinement dans le bassin d'étude. Signalant, toutefois, qu'une dissymétrie importante est remarquée entre une rive droite presque dépourvue des oueds et une rive gauche renfermant environ 80% des cours d'eau. La classification des oueds a permis de distinguer six ordres, avec une dominance nette des oueds d'ordre 1 et 2 qui représentent 78% du nombre total des cours d'eau. Ceci montre que le bassin versant souffre du problème de recul des têtes des ravins et de création de nouvelles voies d'eau souvent au profit des terres agricoles.

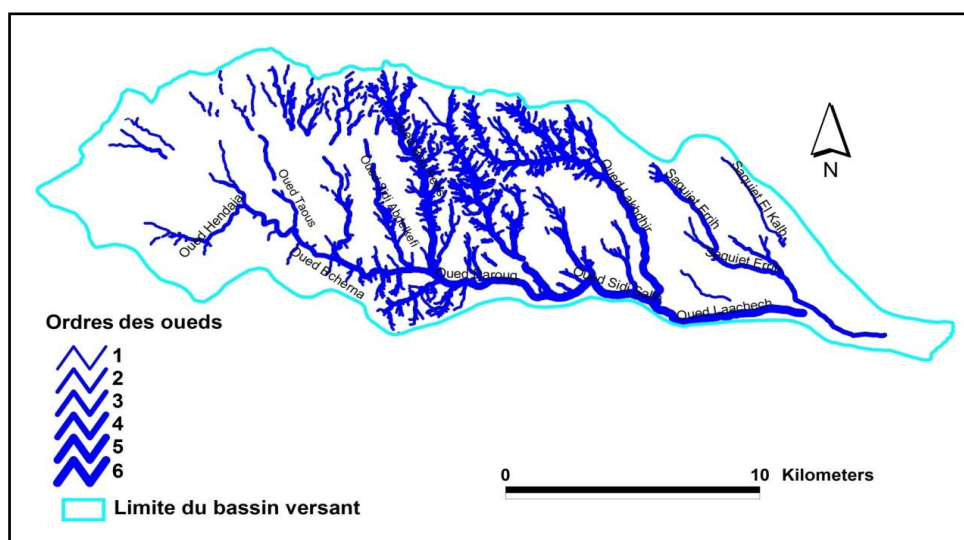


Figure 2.- Carte du réseau hydrographique du bassin versant Sidi Salah

La comparaison des cartes topographiques datées de 1955 et 1994, a montré le changement du tracé des lits des oueds dans sa partie aval au niveau d'Oued Laachèche [23]. Ceci est en rapport surtout avec les événements pluviométriques exceptionnels de 1969 et 1982. Plus en amont, précisément dans l'axe des principaux oueds, c'est l'érosion latérale qui domine surtout dans les rives concaves des méandres. En effet, l'interprétation des images satellitaires de Google Earth de 2013, a permis de détecter 45 méandres répartis dans la partie amont du bassin versant. De telle crue, assez importante, est capable de provoquer le recouplement de certains méandres.

La figure 3 présente la carte d'érosion élaborée au niveau du bassin versant Sidi Salah. Cette dernière montre que le bassin en question souffre d'une érosion par ravinement importante concentrée surtout dans sa partie amont et même dans les terrains

encroûtés et faiblement pentus. Ceci montre la sensibilité des sols à l'érosion hydrique et la nécessité d'établir une échelle d'intensité du processus d'érosion, à fin de donner la priorité aux interventions anti-érosives.

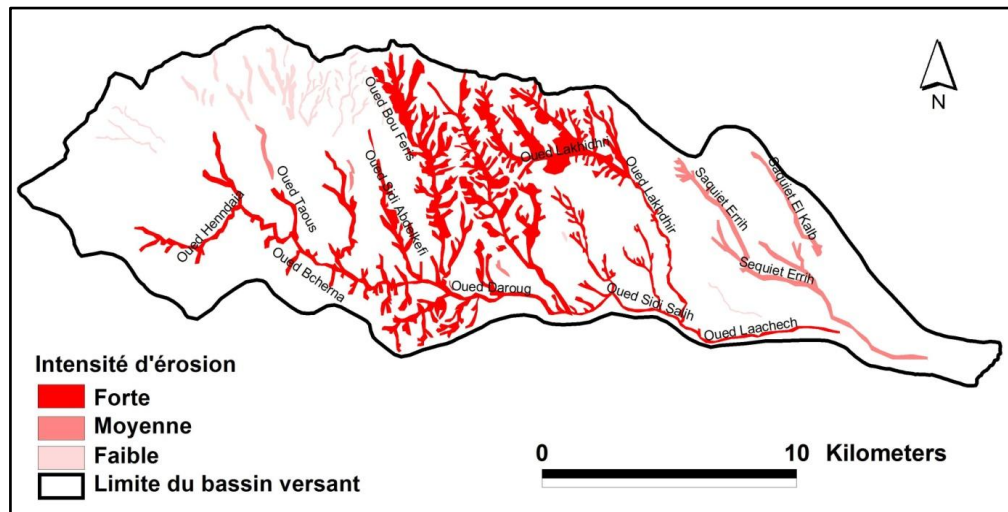


Figure 3.- Carte d'érosion du bassin versant

2.2.- Inventaire des travaux anti-érosifs

Le bassin versant d'Oued Sidi Salah est caractérisé par la diversité de ses aménagements de conservation des eaux et du sol. La carte des ouvrages anti-érosifs, réalisée à partir des images satellitaires à haute résolution (fig. 4), montre que le bassin contient différents types d'ouvrages spécifiques pour le traitement des terrains en pentes qui ont été aménagés sur les talus de raccordement et d'autres pour le traitement des cours d'eau implantés sur les axes des oueds.

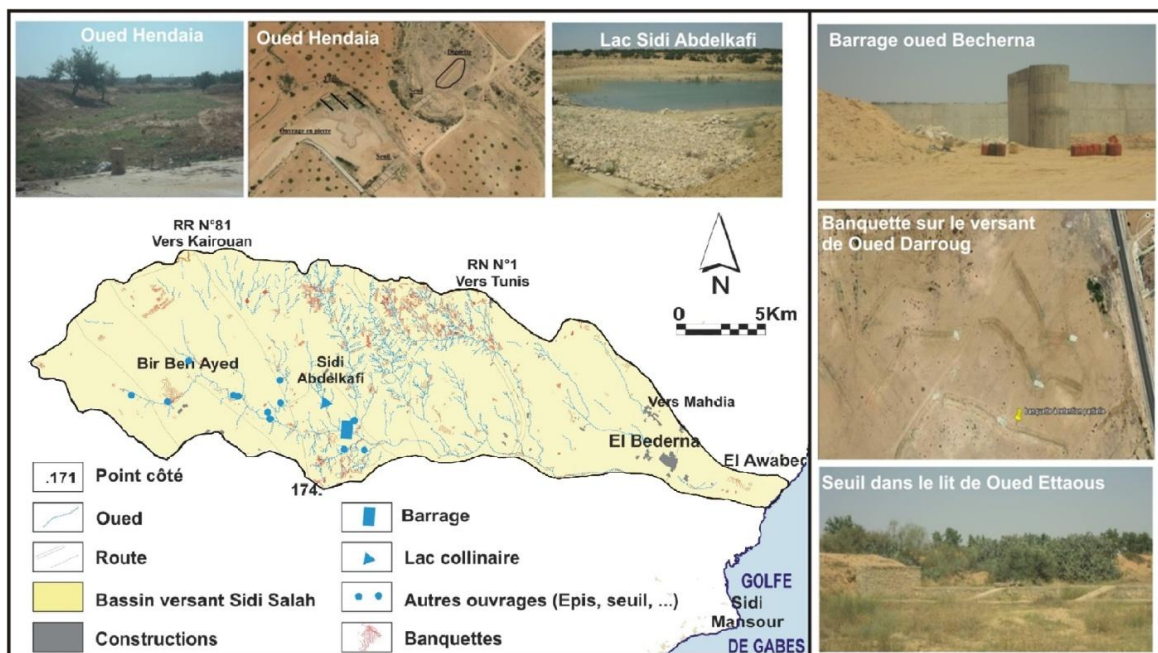


Figure 4.- Carte d'aménagement du bassin versant Sidi Salah

Sur les talus de raccordement, se sont les aménagements en banquettes anti-érosives qui dominent. Elles ont été réparties sur presque la totalité de la surface du bassin versant et selon les courbes de niveau. Les banquettes, formées d'un canal creusé et un remblai en ados, construite perpendiculairement à la pente d'un champ à intervalle régulier, permettent de briser la pente de proche en proche et à intercepter le ruissellement de surface avant qu'il n'atteigne une vitesse érosive [24]. Le tableau III présente la répartition de ces banquettes selon les sous bassins versants.

Tableau III.- Répartition des banquettes selon les sous bassins versants

Sous bassin versant	Nombre de banquettes	Longueur des banquettes (km)
Oued Hallouf	70	10091,24
Oued Bouferes	97	19403,34
Oued Bourchena	129	29033,22
Oued Seguit Beb Jebli	10	2527,69
Oued Kharrouba	51	10824,23
Oued Henndaia	141	38872,63
Oued Khadhri	168	58593,30
Oued Sidi Abdelkefi	33	9021,42
Oued Ezzriba	3	385,03
Oued Laachech	0	0,00

Sur les axes des oueds, un lac et un barrage collinaires ont été aménagés au niveau du sous bassin versant d'oued Sidi Abdelkefi. Ces deux aménagements ont été destinés pour la recharge de la nappe phréatique et pour diminuer la salinité de ses eaux. Au niveau d'oued Bourchena, un seuil, trois épis et une diguette en pierre ont été installés. Un autre seuil limitrophe à une diguette en terre a été disposé dans le lit d'oued Taous. Dans le reste du bassin, trois seuils en maçonneries ont été construits.

2.3.- Essai d'évaluation des aménagements de CES

2.3.1.- Travaux bien étudiés

L'interprétation de l'ensemble des travaux anti-érosifs couplée avec l'interprétation des images satellitaires montre l'efficacité de leurs études et de leur exécution dans certains endroits. En effet, les aménagements dans l'axe des oueds on été toujours accompagnés par des aménagements sur les versants. Ceci est le cas du lac collinaire et des seuils qui on été accompagnés par des banquettes. Au niveau des méandres d'oued Hendaia limitrophe à celle d'oued Taous, l'emplacement des ouvrages anti-érosifs installés reflète un choix bien étudié des aménagements dans le but d'éliminer le risque de recouplement des deux oueds et de protéger leurs berges.

Quant aux banquettes, elles ont été installées en fonction de la densité du réseau hydrographique, les terres en pentes et les sols riches en sables et en calcaires. Cette

disposition favorise le développement important des terres agricoles ainsi que la protection contre les forts débits des eaux de ruissellement pendant les grandes averses. De plus, une grande concentration des banquettes a été détectée au niveau du sous bassin versant d'oued El khadhri. Ceci s'explique par l'important ravinement qu'il affecte, avec une faible topographie accompagnée par une texture fine exploitée sévèrement par l'Homme.

Dans certains endroits du bassin, les ouvrages de conservation des eaux et du sol installés ont été très efficaces et ont permis de reconstituer le sol dans des terrains ravinés. Ceci est le cas par exemple de quelques ravins au niveau d'oued Kharrouba, présentés dans la figure 5, qui ont été disparus après la mise en place des Tabias.

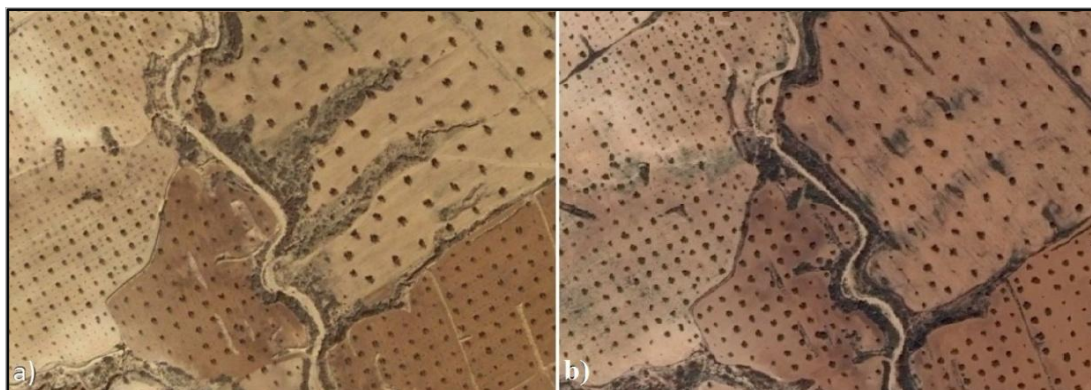


Figure 5.- Images Google du cours d'eau aval d'oued Kharrouba (a : 2003 et b : 2014)

2.3.2.- Absence d'une vision globale

Bien que les aménagements de CES du bassin versant d'oued Sidi Salah présentent certaines efficacités dans plusieurs endroits du bassin versant, ils ont été totalement absents dans d'autres. En effet, les aménagements en banquettes sont concentrés dans la partie à forte érosion mais leur nombre est très limité par rapport à la superficie du bassin versant ainsi qu'à l'importance de l'érosion. Elles sont presque absentes au niveau des sous bassins versant d'oued Ezzriba et d'oued Laachech. Le reste des ouvrages sont concentrés seulement en amont d'oued Darroug appartenant au sous bassin versant d'oued Bourchena.

De même, parmi 45 méandres détectés au niveau du bassin versant, deux seulement ont été aménagés (méandre d'oued Hendaia et d'oued Taous). De plus, en aval du bassin versant, le terrain présente des formations superficielles propices à l'érosion éolienne et à grande sensibilité à la désertification, d'où la nécessité d'accorder des précautions contre ce type d'érosion par des aménagements adéquats.

2.3.3.- Mauvais état des ouvrages

Les observations directes sur le terrain montrent certaines anomalies affectant les ouvrages anti-érosifs. Ces dernières ont empêché les aménagements de bien gérer le phénomène d'érosion hydrique et d'assurer leurs rôles. Les principaux endommagements détectés ont été la destruction des ouvrages disposés dans les lits des oueds. En effet, au niveau d'oued Hendaia la couche superficielle des épis (fig. 6a) et une partie de l'ouvrage en pierre (fig. 6b) ont été détruites. Par ailleurs, un creusement de la fondation du tapis de l'évacuateur de crue au niveau du lac collinaire (fig. 6d) et une ablation de la fondation de la plupart des seuils aménagés dans le bassin versant (fig. 6c) ont été observés.



Figure 6.- Exemples d'ouvrages anti-érosifs dégradés (a : épis, b : ouvrage en pierre, c : seuil et d : évacuateur de crue)

L'apparition de ces insuffisances peut être justifiée essentiellement par des facteurs naturels tels que les écoulements d'eau de ruissellement agressifs (parfois chargé en pierres comme le cas d'El Bogaa Elbidha). D'autres facteurs anthropiques ont été constatés tels que le mauvais choix des matériaux de construction des ouvrages, le passage de labours ou le changement de vocation des banquettes par les agriculteurs et le manque d'entretien. Pour gérer ces insuffisances, il faut bien évaluer l'état des ouvrages par un suivi détaillé dans le cadre des études plus approfondies.

2.3.4.- Classification des sous bassins versants

Les classifications des sous bassins versants selon chaque critère de niveau de priorité des interventions de lutte anti-érosives (niveaux de priorité partiels et niveaux de priorité globaux) ont été déterminées et présentées dans le tableau IV. La superposition de la carte des aménagements du bassins versant de Sidi Salah et celles des niveaux de priorité montre que les sous bassins versants les plus prioritaires en matière de conservation des eaux et du sol ont été quasiment dépourvus des actions d'intervention et que les travaux qui ont été réalisés restent largement insuffisants.

Le sous bassins versant d'oued Hallouf, le plus prioritaire en aménagements, a été aménagé par seulement 10,2 km de banquettes. Toutefois, il présente des pentes élevées exposés à un ruissellement agressif accentué par la nature fragile des sols. En contre partie, le bassin versant d'oued Bourchena a été classé troisième, malgré qu'il possède des sols

ruisselants peu importants et un faible taux d'érosion hydrique. Concernant le sous bassin versant d'oued Khadhri, possédant le plus grand nombre de banquettes, a été classé septième.

Tableau IV.- Classement des sous bassins versants d'oued Sidi Salah selon les niveaux de priorité globaux

Sous bassin versant	Rang selon le taux d'occupation	Rang selon la nature du sol	Rang selon l'importance des pentes	Rang selon l'importance de l'érosion	Rang moyen	Niveau de priorité
Oued Hallouf	3	1	1	4	2,25	1
Oued Bouferes	5	2	5	1	3,25	2
Oued Bourchena	2	6	3	8	4,75	3
Oued Seguit Beb Jebli	7	3	9	2	5,25	4
Oued Kharrouba	8	4	7	3	5,50	5
Oued Henndaia	1	7	4	10	5,50	6
Oued Khadhri	9	8	2	5	6,00	7
Oued Sidi Abdelkefi	4	5	10	6	6,25	8
Oued Ezzriba	10	9	6	7	8,00	9
Oued Laachech	6	10	8	9	8,25	10

Il est recommandé, donc, de revoir le nombre les banquettes et les épis, de valoriser les zones déjà aménagées par le suivi et l'entretien des aménagements anti-érosifs existants et inciter l'Etat à la création des périmètres irrigués. En effet, il est conseillé d'occuper le sol par des végétations susceptibles de protéger les terres contre les facteurs du milieu externe et diminuera de ce fait le danger d'érosion et de ruissellement. La figure 7 présente des propositions d'aménagements dans certains endroits du basin selon l'exigence du milieu.

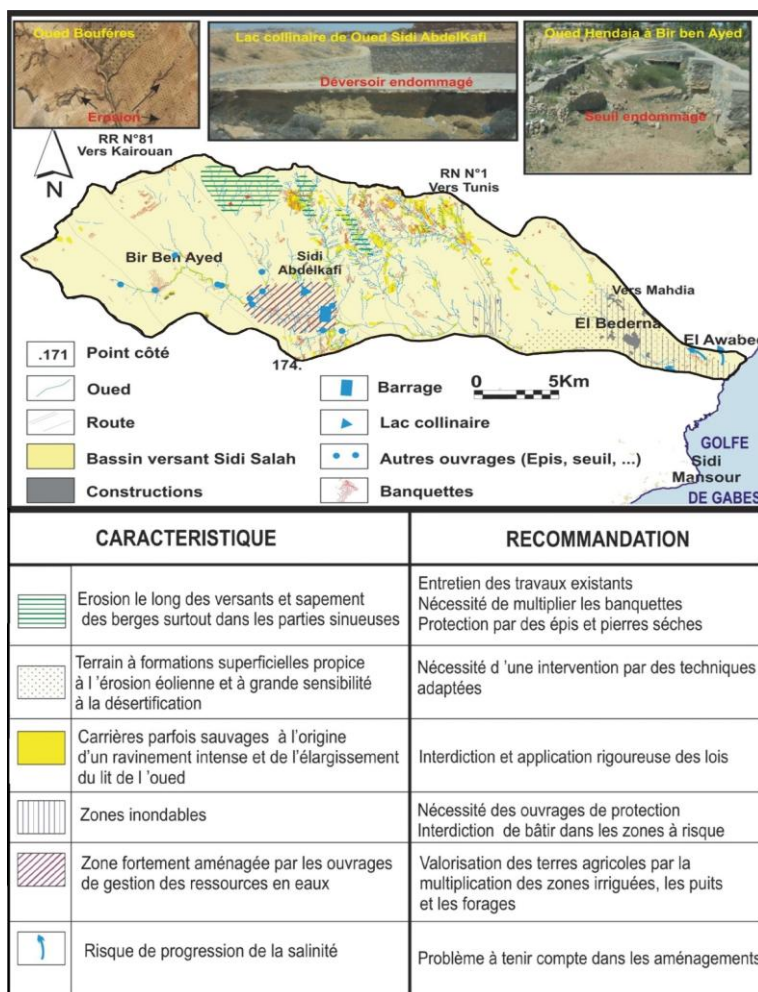


Figure 7.- Recommandations de certains aménagements

Conclusion

L'étude du bassin versant d'oued Sidi Salah situé au nord de la ville de Sfax montre qu'il se caractérise par une topographie monotone et un réseau hydrographique relativement dense. De plus, il a connu une occupation du sol importante menue d'un accroissement anthropique durant les années et caractérisée par une exploitation intensive des carrières. Tout ces facteurs ont fait du bassin d'étude un milieu propice à l'action de l'érosion qui se manifeste différemment et agit sur la dynamique du réseau hydrographique et par conséquent engendre des pertes des ressources en eau et en sol.

En vue d'optimiser la gestion des ressources naturelles, des travaux de CES ont été mis en œuvre. Ce travail a permis d'étudier la dynamique érosive affectant le bassin versant et d'évaluer l'état et la performance des aménagements anti-érosifs installés. Les résultats montrent que les aménagements en banquettes occupent pratiquement tout les sous bassins versants, mais leur nombre reste très faible par rapport aux besoins d'interventions. Concernant le reste des ouvrages, ils ont été très limités. Par ailleurs, ils ont été affectés par des anomalies qui se manifestent essentiellement par leur destruction. Il devient nécessaire, donc, de suivre et d'entretenir les ouvrages existants du bassin versant pour empêcher la multiplication des anomalies, et d'intensifier les aménagements anti-érosifs, en priorité, dans les zones à forte altitude menacées par le recul de la tête de ravin et sur les berges de l'oued.

Références bibliographiques

- [1].- Robert M. et Cheverry C., 1996.- Les ressources mondiales en eau et en sols : une limitation pour l'avenir. Cahiers Agricultures, 5 : 243-248.
- [2].- Heusch B., 1986.- Cinquante ans de banquettes de Conservation des Eaux et du Sol. en Afrique du Nord : un bilan. Cahier OROSTOM pédologie, 22(2) : 153-165.
- [3].- Boufaroua M., 2004.- La conservation des eaux et des sols en Tunisie. Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques. DG/ACTA, L'association échanges méditerranéens pour l'eau, la forêt et le développement informations mensuelles, 7 : 1-7.
- [4].- Salvati L., Zitti M., Ceccarelli T. and Perini L., 2008.- Integrating economic and environmental indicators in the assessment of desertification risk: a case study. Applied Ecology and Environmental Research, 6: 129-138.
- [5].- Wenger R., Rogger C., Wymann von Dach S., 2003.- Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE): La voie du développement durable. Info Ressources focus, 3(1), 10 p.
- [6].- Khliidi S. 2003.- Le développement rural durable : cas du Nord-Ouest de la Tunisie. CIHEAM, Série A, Séminaires Méditerranéens, 54 :75-81.
- [7].- Elloumi M. 2006.- Les politiques de développement rural en Tunisie: acquis et perspectives. CIHEAM, Série A, Séminaires Méditerranéens, 71 : 55-65.
- [8].- Steinberg, J., 2000.- Cartographie : télédétection, systèmes d'informations géographique. Edition : Société d'Edition d'Enseignement Supérieur (SEDES), 160 p.
- [9].- Serbeji M. M. et Baklouti M., 2009.- La gestion intégrée des zones côtières à travers l'utilisation de la télédétection et de l'outil SIG: Cas de la ville de Sfax (Tunisie). Conférence Francophones ESRI, Versailles, 6 p.
- [10].- Anatoly A. G., Peng Yi., Timothy J. A. and James S. 2014.- Relationships between gross primary production, green LAI, and canopy chlorophyll content in maize: Implications for remote sensing of primary production. Remote Sensing of Environment, 144: 65-72.
- [11].- Padonou N.M. et Sarr P., 2009.- Contribution de la Télédétection et du Système d'Information Géographique (SIG) à l'amélioration de la gestion des eaux de surface dans un bassin versant: cas du barrage de Mogtedo au Burkina Faso. Journées d'Animation Scientifique de l'AUF, 7 p.
- [12].- Smida H., Zairi M., Trabelsi R. et Ben Dhia H., 2004.- Utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une gestion optimale des ressources en eau: Cas de la région de Chaffar Sfax Tunisie. Conférence Francophone ESRI : 1-19.
- [13].- Dadi K., 2005.- Contribution du SIG à l'étude d'impact sur l'environnement de l'exploitation des carrières. Mastère de génie de l'environnement et de l'aménagement. Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, 82 p.

- [14].- Andrieu J., Mering C., 2008.- Cartographie par télédétection des changements de la couverture végétale sur la bande littorale ouest-africaine : exemple des Rivières du Sud du delta du Saloum au Rio Geba, *Revue Télédétection*, 8(2) : 93-118.
- [15].- Bouchnak H., Sfar Felfoul M., Boussema M. R. et Snane M. H., 2004.- Étude de l'évolution du ravinement en fonction de la lithologie dans les bassins versant des oueds el Hammam et Rmel en Tunisie Centrale. *Télédétection*, 4(1) : 75-93.
- [16].- Baccari N., Boussema M.R. et Snane M.H., 2005.- Nécessité de développement d'une méthodologie d'inventaire basée sur des photographies aériennes numérisées, la réalité de terrain et un SIG : Les cas des Aménagements de Conservation des Eaux et du Sol en Tunisie, *Revue Télédétection*, 5(1, 2, 3) : 3-18.
- [17].- Anane M., Masmoudi M., Ben Mechilia N. and Oweis T., 2008.- Potential sites for hill reservoirs: An assessment methodology using GIS and Remote Sensing Tools. In: *Proceeding of a Workshop Watershed Management in the Dry Area, Jerba, Tunisia*: 109-116.
- [18].- Abdelli F., Ouessar M. et Khatteli H., 2012.- Méthodologie d'identification des ouvrages existants et des sites potentiels pour les Jessours. *Revue des Sciences de l'Eau*, 25(3) : 237-254.
- [19].- Dhieb M., 2009.- Mise en valeur et régulation d'un écosystème à l'échelle locale : les salins de Sfax. Colloque organisé par la Maison de France à Sfax, 5 p.
- [20].- Bouaziz R. et Daoud A., 2010.- Apports de la télédétection dans la connaissance et la gestion des zones humides littorales : Application à la zone de Chott El Merdassia (littoral Nord de Sfax). *Les XIIème Journées Scientifiques du Réseau Télédétection de l'Agence Universitaire de la Francophonie*, Novembre, Monastir, 43 p.
- [21].- Fourati M., Bouaziz R., El Amri A. et Majdoub R., 2015.- Identification des anomalies de fonctionnement des ouvrages de conservation des eaux et du sol du bassin versant Sidi Salah. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10 (1) : 428-434.
- [22].- Poncet J., 1970.- La catastrophe climatique de l'automne 1969 en Tunisie. *Annales de Géographie*. 79(435) : 581-595.
- [23].- Bouaziz R., 2010.- Les oueds des environs de Sfax (Tunisie orientale). Editions universitaires européennes. 228 p.
- [24].- Fehri N., 2003.- Les rapports entre les processus morphogéniques agro-pastorales dans la plaine oléicole de Sfax: exemple du bassin versant de l'oued Chaal-Tarfaoui (plaine de Sfax-Tunisie Centro-orientale). Thèse doctorale en géographie. Université de Provence (Aix-Marseille I), 313 p.
- [25].- Elloumi M. A., 2009.- Impacts hydrologiques et hydrogéologiques des aménagements de conservation des eaux et des sols: cas du bassin versant d'Oued Ouadrane. Mastère en géosciences appliquées aux ressources et environnements naturels. Faculté des sciences de Sfax, 110 p.

SITUATION DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES EN AGRICULTURE SAHARIENNE: CAS DE LA CUVETTE DE OUARGLA

BOUHANNA Amal*, DADDI BOUHOUN Mustapha et SAKER Mohamed Lakhdar
Université de Ouargla, Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi arides,
Ouargla, Algérie. E-mail: bouhannaamel@gmail.com

Résumé.- La réutilisation des eaux usées épurées peut réduire le déficit hydrique en zones sahariennes, notamment à Ouargla. La présente étude dans cette région vise à étudier la situation de la réutilisation des eaux épurées dans un périmètre agricole de la cuvette de Ouargla. Il est situé au nord de la station d'épuration et alimenté en eaux par celle-ci. La collecte des données a été réalisée par des enquêtes et avec la coopération des exploitants. Les résultats obtenus montrent que les exploitants sont majoritairement adultes. Le taux de la superficie réellement cultivée atteint 45%. La majorité des exploitations ne dépassent pas un hectare. La main d'œuvre familiale est la plus utilisée dans le périmètre. Les agricultures utilisent les eaux épurées du canal pour l'irrigation par pompage mécanique en absence de forages d'eaux conventionnelles. La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture à Ouargla est encourageante mais nécessite des suivis et des études plus approfondies pour promouvoir la valorisation des eaux épurées dans l'ensemble du secteur agricole de la cuvette de Ouargla.

Mots clés: Réutilisation, eaux usées épurées, agriculture, Ouargla.

SITUATION OF THE WASTEWATER REUSE IN SAHARIAN AGRICULTURE: CASE OF THE OUARGLA BASIN

Abstract.- The reuse of treated wastewater can reduce the water deficit in the Saharan areas, especially in Ouargla. This research work in this area aims to study the situation of reuse of treated water in an agricultural perimeter of the basin of Ouargla. It is located north of the sewage treatment plant and supplied with water by it. Data collection was conducted through surveys and with the cooperation of farmers. The results obtained show that the operators are mostly adults. The rate of actual cultivated area reaches 45%. Most farms do not exceed one hectare. The family labor is the most used in the perimeter. The agriculture use the treated water for irrigation of the channel by mechanical pumping in the absence of conventional water wells. The reuse of treated wastewater in agriculture in Ouargla is encouraging but requires monitoring and further study to encourage the valorization of treated water in the entire agricultural sector of the basin of Ouargla.

Key words: Reuse, treated wastewater, agriculture, Ouargla.

Introduction

La cuvette de Ouargla, situé au Sahara septentrional algérien, connaît une urbanisation très rapide due à une démographie croissante. L'accroissement de la population et de la consommation individuelle en eau potable, ont entraîné l'augmentation du volume des rejets d'eaux usées. Ces volumes ont évolué à 12.844.569 m³/an [1].

Les ressources en eaux souterraines dans la région sont représentées, comme partout dans les régions du Sahara septentrional algéro-tunisien, par deux grands systèmes aquifères superposés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Ces derniers renferment d'importantes réserves évaluées à 31.000×10⁹ m³. Les prélèvements

étaient de 1,4 milliards de m³ par an en 2009, ce qui s'est traduit sur le plan pratique, par des rabattements continus des nappes. Du point de vue qualitatif, ces eaux souterraines sont fortement minéralisées [2].

La réutilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles est une pratique très répandue partout dans le monde particulièrement dans les pays en voie de développement [3]. Toutefois, la réutilisation des eaux épurées est très récente à Ouargla, suite à la mise en marche de la station d'épuration des eaux usées. Selon SLIMANI (2006) [1], qui rejette annuellement un volume de 12 266 117 m³ des eaux épurées vers l'exutoire.

Le présent travail a comme objectif de réaliser une enquête sur la réutilisation des eaux usées épurées dans le périmètre agricole, en aval de la station d'épuration de Ouargla. Afin de décrire à l'aide des agriculteurs, l'ampleur de cette pratique, le mode de gestion des eaux usées épurées et les impacts agro-environnementaux constatés.

1.- Matériels et méthodes

1.1.- Région d'étude

La région de Ouargla (fig. 1), présente une géomorphologie de cuvette favorable à la stagnation des eaux [4, 5]. Elle est l'une des principales oasis du Sahara algérien, située dans le prolongement du grand bassin de la partie Nord Est du Sahara [6]. La cuvette de Ouargla fait partie de la rivière quaternaire de Oued M'ya, actuellement recouverte par les sédiments. Elle est limitée par Sebket Sefioune au Nord, les dunes de Sedrata au Sud, le versant est de la dorsale du M'Zab à l'Ouest et par les Ergs Touil et Arfidji à l'Est. Le paysage pédologique de la cuvette est dominé principalement par le caractère salin. La manifestation saline la plus visible est celle de la sebkha. Les sols irrigués de la palmeraie sont le plus souvent très salés [7]. Cette salinité est favorisée par la remontée de la nappe phréatique, constituant ainsi un stress hydro-salin pour le palmier dattier [8, 9, 10].

1.2.- Zone d'étude

Le périmètre agricole choisi pour la réalisation de notre étude est situé au nord de la station d'épuration de Ouargla (fig. 2). Il s'étale sur une superficie de quelques dizaines d'hectare et constitue une nouvelle zone de mise en valeur où les agriculteurs irriguent avec les eaux usées épurées considérées à titre expérimental, notamment pour la phœniciculture.

1.3.- Approche méthodologique

La démarche méthodologique retenue est basée sur la réalisation des enquêtes au niveau de différentes fermes du périmètre de mise en valeur irrigués par les eaux usées épurées rejetées par la station d'épuration. Le travail vise à définir l'importance de l'usage des eaux épurées, le mode d'utilisation et les difficultés rencontrées ainsi que la relation entre les agriculteurs et les structures hydro-agricole publiques. L'étude a été effectuée en trois phases.

1.2.1.- Pré-enquête

La pré-enquête est consacrée à l'exploration des informations recueillies auprès des structures concernées, telles que l'office national d'assainissement (O.N.A.) et la direction

des services agricoles (D.S.A.) pour nous aider à élaborer notre plan enquête.



Figure 1.- Situation géographique de région d'étude [11]

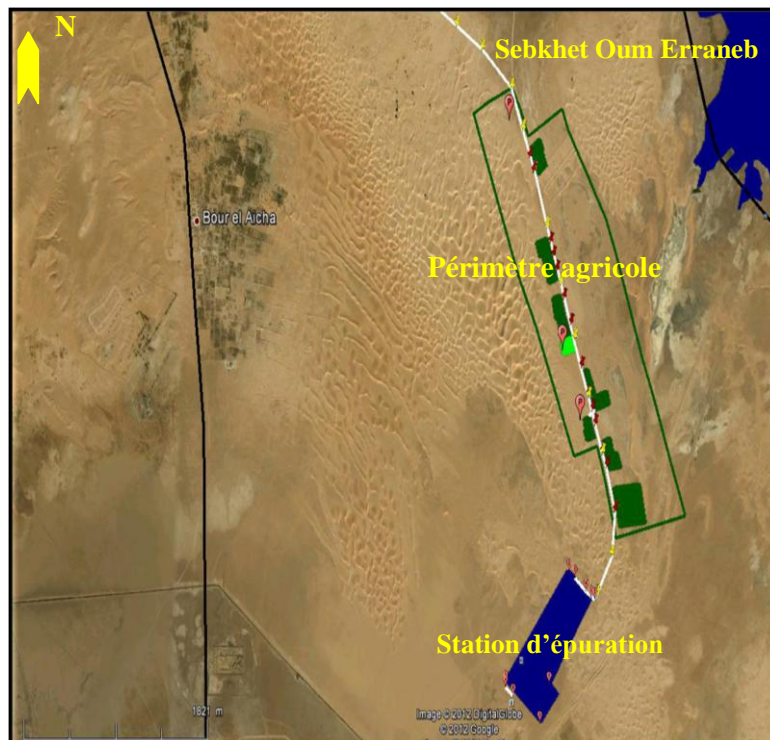


Figure 2.- Localisation du périmètre agricole à Ouargla [12]

1.2.2.- Elaboration du questionnaire

Il est établi le plan d'enquêtes à l'aide des renseignements recueillis dans la pré-enquête et les travaux de recherches similaires. Le plan d'enquêtes est subdivisé en deux grandes parties. La première est consacrée à l'identification de l'exploitant et la deuxième à l'exploration de l'exploitation, notamment la conduite de l'irrigation avec les eaux usées épurées, et leurs impacts sur le sol, les cultures, les maladies, les difficultés rencontrées, les relations avec les structures de vulgarisation, etc.

1.2.3.- Réalisation des enquêtes

Les enquêtes sont réalisées durant un mois, du 1 au 31 décembre 2012. Il faut souligner que les enquêtes reposent sur un échantillon composé de 31 exploitations, choisis en fonction des paramètres suivant:

- La nature des eaux d'irrigation; épurée ou conventionnelle;
- La date d'installation et la durée d'application de l'irrigation;
- La disponibilité des exploitants au niveau des périmètres.

2.- Résultats et discussion

Les enquêtes réalisées auprès des exploitations du périmètre agricoles à Ouargla ont permis de recueillir des informations utiles pour analyser la situation actuelle des exploitants et des exploitations pratiquent l'irrigation avec les eaux usées épurées et les problèmes posés dans l'emploi.

2.1.- Age des exploitants

Au niveau du périmètre enquêté, la population active agricole est majoritairement adulte, l'âge est compris entre 30 et 50 ans. Les jeunes exploitants ayant un âge inférieur à 30 ans représentent seulement 7%. 79% des exploitants ayant un âge entre 30 et 50 ans, et 14% qui restent sont âgés, supérieur à 50 ans (fig. 3). La mise en valeur dans cette région semble ne pas souffrir de vieillissement comme beaucoup d'anciens oasis à Ouargla.

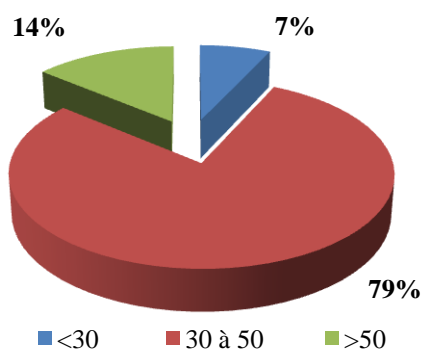


Figure 3.- Age des exploitants

2.2.- Nature de l'activité et niveau d'instruction

La majorité des exploitations pratiquent l'agriculture comme une activité secondaire, estimé à 82% des exploitants. Ils sont généralement des affairistes, des

commerçants et des entrepreneurs. Pour le reste des exploitants l'activité agricole est primordiale (fig. 4). Ces deniers irriguent les parcelles avec les eaux conventionnelles.

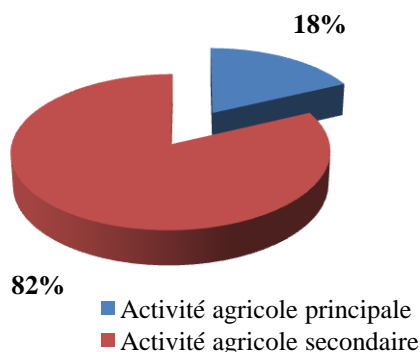


Figure 4.- Nature d'activité

Concernant le niveau d'instruction des exploitants, deux niveaux d'instruction sont distingués. Le premier regroupe les analphabètes et ceux de niveaux primaires et secondaires, représentant 93% des exploitants. Le deuxième regroupe les exploitants de niveau moyen et universitaire, représentant seulement 7% des exploitants. Ces derniers ont plus de connaissances la réutilisation des eaux usées épurées, les précautions d'emploi et les cultures recommandées.

2.3.- Statut foncier

Le statut foncier signifie la nature et l'organisation de la propriété de l'exploitation agricole. A travers nos enquêtes, nous distinguées que les terrains sont achetés d'un privé, donner par l'état et de l'héritage respectivement avec les taux de 61%, 35% et 4% des exploitations.

2.4.- Composition spatiale du périmètre agricole

La superficie totale du périmètre agricole étudié atteint les 71 hectares, dont 32 hectares sont réellement cultivée (fig. 5). La superficie cultivée et non cultivée représentent respectivement 45% et 55% de la superficie totale. Cela montre que les terrains sont pas entièrement mise en valeur dans le périmètre.

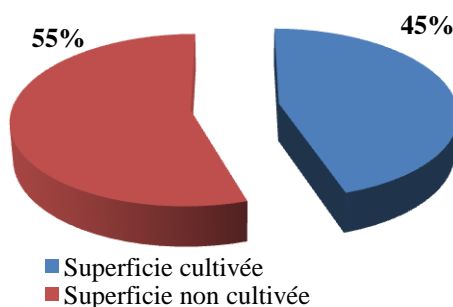


Figure 5.- Composition spatiale du périmètre d'enquête

La superficie des exploitations cultivées est variable de 0,25 et 4 ha, dont 61% ne dépasse pas l'un hectare.

2.5.- Typologie des cultures pratiquées dans le périmètre agricole

Les systèmes de cultures pratiqués dans la zone d'étude sont la monoculture et les cultures sous étages, occupant 64% de la totalité des exploitations. Il y'a plusieurs catégories de cultures pratiquées dans le périmètre agricole: la phœniciculture, les fourrages, le maraichage, oléiculture et la céréaliculture (fig. 6). Les systèmes de production phœnicicole et fourragère sont les plus dominants vus leurs adaptations au sol sableux et leurs importances socio-économiques. Aussi suite aux directives verbales de l'office national d'assainissement aux exploitants dans le choix des cultures susceptibles d'être irriguées par les eaux épurées. En générale, le reste des systèmes de cultures sont irriguée par les eaux conventionnelles car ils sont destinés à la consommation humaine.

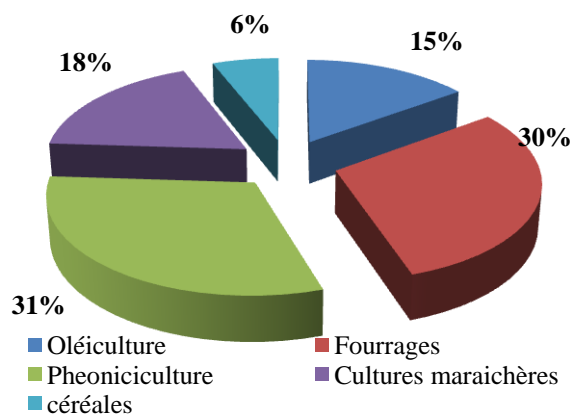


Figure 6.- Typologie des cultures dans le périmètre agricole

2.6.- Gestion de l'exploitation

2.6.1.- Fertilisation

La fertilisation organique est dominante dans les périmètres enquêtés avec 68% des exploitations où les apports organiques diffèrent d'une exploitation à une autre. 21 % des exploitations pratiquent une fertilisation organique et minérale, et 11 % des exploitations restantes ne pratique aucune fertilisation (fig. 7).

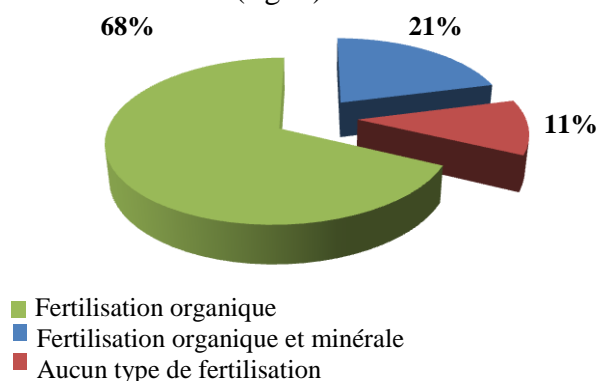


Figure 7.- Pratiques de fertilisation dans le périmètre d'enquête

2.6.2.- Type de main d'œuvre

L'utilisation de la main d'œuvre salariée est insignifiante dans les fermes. Elle représente seulement 7% dans les exploitations agricoles (fig. 8). Les pratiques culturelles

ainsi que tous les travaux au niveau de l'exploitation sont majoritairement réalisées par la main d'œuvre familiale, représentant 93% dans les exploitations.

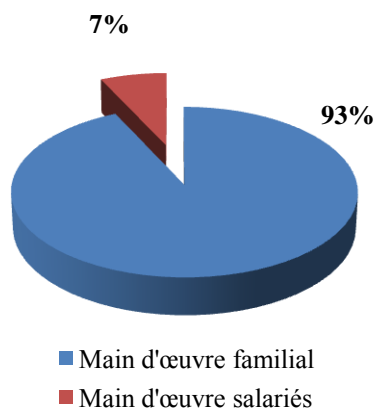


Figure 8.- Main d'œuvre utilisée dans le périmètre agricole

2.7.- Gestion de l'eau dans le périmètre agricole

2.7.1.- Historique d'irrigation

L'irrigation des exploitations par les eaux conventionnelles est la plus ancienne, datant de 2002. Ces exploitations représentent 4% dans le périmètre agricole. Cependant, l'irrigation avec les eaux usées épurées est une pratique récente, a débuté dans 96 % des exploitations entre 2010 et 2012 selon l'ordre suivant 71% en 2010, 4% en 2011 et 21% des exploitants qui restent en 2012.

2.7.2.- Choix de l'irrigation avec les eaux usées épurées

L'étude montre que les agriculteurs choisissent d'irrigation avec les eaux usées épurées pour plusieurs raisons. 64% des exploitants ont choisi les eaux épurées par nécessité, car ils manquent de moyens pour la réalisation des forages ou des puits. Le reste des exploitants ont choisi volontairement l'utilisation de ces eaux.

2.7.3.- Motifs d'emploi des eaux usées épurées

Dans le périmètre agricole, 7% des exploitants ont choisi la ressource des eaux usées épurées pour son pouvoir fertilisant. 7% des exploitants considèrent ces eaux semblables aux eaux conventionnelles et ils peuvent les utiliser sans danger. En revanche, 82% des exploitants justifient l'utilisation des eaux épurées par le manque de moyens de pompage des eaux conventionnelles, notamment l'absence totale d'électricité. L'utilisation des eaux usées épurées ne nécessite pas d'énergie. Le reste est constitué des anciennes exploitations qui préfèrent continuer l'utilisation des eaux conventionnelles malgré la disponibilité des eaux usées épurées.

2.7.4.- Système d'irrigation

La gestion des eaux d'irrigation dans les parcelles agricoles est faite par le biais de systèmes d'irrigation de submersion et localisé (fig. 9). L'irrigation par submersion est prédominante présente dans 57% des exploitations, est une technique ancienne, non économique à cause des pertes d'eaux par évaporation et infiltration. Elle risque de contamination des eaux souterraines si les eaux sont de natures usées épurées.

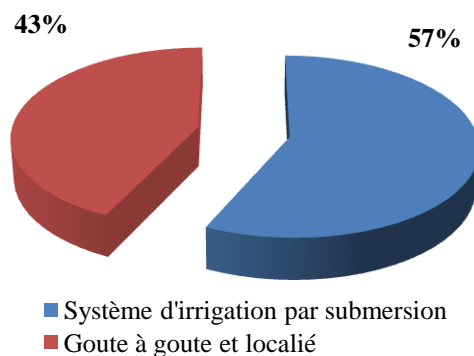


Figure 9.- Systèmes d'irrigation dans la zone d'étude

Toutefois, l'irrigation localisé est une technique qui économise les eaux et connaît une extension assez notable dans le périmètre de mise en valeur, pratiqué dans 43% des exploitations. Elle est utilisée en arboriculture, notamment la phoeniciculture et l'oléiculture.

2.7.5.- Doses et fréquences des arrosages

Les doses et les fréquences d'arrosage dans le périmètre agricole sont approximatives et variable avec les saisons. L'irrigation est anarchique, suit l'appréciation des agriculteurs. Les fréquences en submersion sont variables de 1 à 3 fois par semaine en hiver de 4 à 7 fois en été. Cette mauvaise gestion de l'irrigation peut causer de graves problèmes de dégradation hydro-édaphique telle que la salinisation et la pollution des sols et des eaux des nappes superficielles.

2.7.6.- Utilisation des équipements de protection

L'utilisation des équipements de protection lors des arrosages avec les eaux usées épurées n'est pas respecté par l'ensemble des agriculteurs. 52% des agriculteurs enquêtés utilisent des équipements spéciaux pendant l'arrosage, et 48% ne les utilisent pas. Les équipements utilisés sont les bottes, les gants et les vêtements spéciaux. L'utilisation de ces équipements est une initiative des agriculteurs pour protéger leurs santés lors des arrosages par les eaux usées épurées.

2.8.- Impact d'emploi des eaux usées épurées

2.8.1.- Impact sur le sol

La majorité des agriculteurs, estimés de 86%, n'a pas constaté d'effets néfastes par l'utilisation des eaux usées épurées. D'autres ont constaté que les eaux usées épurées produits des effets néfastes sur les sols par la salinisation et l'eutrophisation respectivement par 9% et 5% des exploitants enquêtée. Le phénomène d'eutrophisation sur les sols est visible par la couleur vert, indice de microflore où la biomasse s'intensifiée suit à l'apport des eaux usées épurées.

2.8.2.- Impacts sur les cultures

L'irrigation avec les eaux usées épurées fournis aux plantes en plus de l'eau des amendements organiques et des éléments fertilisants. 71% les agriculteurs ont remarqués

qu'il y a un accroissement notable des végétaux irrigués par les eaux épurées par rapport à ceux irrigués par les eaux conventionnelles. Le reste des exploitants disent le contraire, et signalant un effet néfaste de ralentissement de la croissance et de chlorose. Toutefois, notre enquête n'a pas dévoilé des troubles sanitaires comme les maladies à transmission hydrique chez les exploitants par l'usage des eaux usées épurées.

2.9.- Encadrement des structures publiques

L'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation dans le périmètre agricole est effectuée anarchiquement sans aucune autorisation officielle de la part des pouvoirs publics et les structures concernées de la wilaya de Ouargla, notamment la direction des services agricoles. D'après nos enquêtes, 8% des exploitants sont autorisés verbalement par l'office national d'assainissement (O.N.A.). Cette dernière structure recommande l'irrigation seulement les palmiers dattiers par l'eau épurée. Aucun encadrement technique n'est destiné aux exploitants. La vulgarisation agricole est totalement absente dans ce périmètre agricole.

2.10.- Commercialisation

La commercialisation des produits du périmètre agricole ne pose pas de problèmes car les commerçants et les consommateurs ne sont pas informés de l'usage des eaux épurées par les agriculteurs. La traçabilité des produits dans ce cas s'avère nécessaire pour protéger le consommateur. Toutefois, une partie de la production agricole est destinée à l'autoconsommation familiale.

2.11.- Contraintes de la réutilisation des eaux usées épurées

Les agricultures dans la zone d'enquête ont rencontrés de nombreuses contraintes, comme:

- Erosion éolienne: est permis les contraintes environnementale, les exploitations sont exposées à l'action érosif des vents violents et les accumulations sableuses de dunes.
- Absence d'assistance de l'état: par la vulgarisation, la formation et la communication entre les exploitants et les services concernés, notamment les services agricoles. La valorisation des eaux épurées en agriculture nécessite un suivi rigoureux de la part des autorités pour éviter les problèmes agro-environnementales.
- Contraintes sociales et d'éthique: la réutilisation des eaux épurées est confrontée à une opposition sociale motivée par la pureté des eaux de point de vue qualitatif et religieux. La récolte est considéré impropre à la consommation. Les associations culturelles et religieuses peuvent contribuer à éclairer le citoyen sur la pratique réutilisation des eaux usées épurées.
- Mode de gestion de l'irrigation: des eaux épurées est mal connu par les agriculteurs principalement les consignes de protection. Cela nous ramènons à proposer l'établissement de guide cultureaux pour ce genre de pratiques culturelles.
- Autres contraintes: l'accès difficile au périmètre agricole est un facteur limitant pour la production agricole. Il retarde les approvisionnements des exploitations en main d'œuvre et fournitures.

Conclusion

A travers les résultats de nos enquêtes il apparaît que les agriculteurs ont pris l'initiative d'utiliser les eaux usées épurées, sans autorisation officielle depuis trois ans. La

manque de communication et de suivi par cette dernière ne permis pas d'assurer le respect règlementation algérienne liée à la pratique de l'irrigation avec les eaux usées épurées. Les superficies irriguées restent faible où l'irrigation de submersion prédomine. Elles sont cultivées principalement par la phœniciculture et les cultures fourragères. Ce choix des cultures semble judicieux et recommandé en irrigation avec les eaux non conventionnelles. Les exploitants sont en majorités adultes, d'instruction primaire à secondaire et assister par une main d'œuvre familiale et saisonnière. L'extension de l'utilisation des eaux épurées en agriculture saharienne à Ouargla reste conditionner par l'encadrement, la vulgarisation, l'efficacité socio-économiques et la réduction des risques agro-environnementaux.

Références bibliographiques

- [1].- Slimani R., 2006.- Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla: Cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines). Mém. Magister. Univ. Kasdi Merbah, Ouargla, 106 p.
- [2].- Nezli I. E., Achour S., Hamdi-Aïssa B., 2009.- Approche hydrogéochemique à l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). *Courrier du Savoir*, 9: 57-62.
- [3].- Ouafae M., Lahrach A., El Halouani H., 2012.- Etude de plantation de jatropha curcas valorisant les eaux usées de la ville d'Oujda. *Science Lib. Ed. Mersenne*, vol. 4. 16 p.
- [4].- Côte, M., 1998.- Des oasis malades de trop d'eau ? *Sécheresse*, vol. 9 (2): 123-130.
- [5].- Idder T., 2007.- Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. *Sécheresse* vol. 18(3): 161-167.
- [6].- Khadraoui A., 2007.- Eau et impact environnemental dans le Sahara Algérien. Ed. O.N.M., Ouargla, 299 p.
- [7].- Hamdi-Aïssa B., Valles V., Aventurier A., Ribolzi O., 2004.- Soils and Brine Geochemistry and Mineralogy of Hyperarid Desert Playa, Ouargla Basin, Algerian Sahara. *Arid Land Research and Management*, 18: 103-126.
- [8].- Daddi Bouhoun M., 2010.- Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien). Th. Doc., Université BADJI Mokhtar, Annaba, 365 p.
- [9].- Daddi Bouhoun M., Marlet S., Brinis L., Saker M.L., Rabier J., Côte M., 2011.- A survey of the combined effects of waterlogging and salinity on fruit yield in the date palm groves of the Ouargla basin, Algeria. *Fruits*, vol. 66 (1): 11- 24.
- [10].- Daddi Bouhoun, M., Brinis, L., Saker, M.L., Côte, M., Rabier, J., 2009.- Effects of hydro-edaphic environment on the rooting of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) Deglet Noor in the Ouargla Basin (south-eastalgeria), *Ecologia Mediterranea*, vol. 35: 41-48.

- [11].- B.E.B.G., 2003.- Vallée de Ouargla études d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique volet étude d'impact sur l'environnement mission IIB: collecte et analyse des données. Ed. Bureau Etude Bonnard et Gardal, Lausanne, 42 p.
- [12].- Google, 2012.- Localisation de la station d'épuration et de son périmètre agricole Image satellitaire de Google digital Globe.

ROLE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET BIOCHIMIQUE DES RÉSIDUS DES CULTURES ET DE FUMIER DE FERME DANS LA DÉCOMPOSITION DES SOLS DÉGRADÉS SOUS CLIMAT ARIDE TUNISIEN

BOUJILA Khedija^{1*}, BEN JEDDI Faysa¹, TAAMALLAH Houcine² JEDDIDI Naceur³ et
SANAA Mustapha¹

⁽¹⁾Département de Science de Production végétale de l'Institut National Agronomique de Tunisie
(INAT), Université de Carthage, Avenue Charles Nicolle-Tunis-Mahrajène, Tunisie.

⁽²⁾Laboratoire d'Érémologie et Lutte Contre la Désertification de l'Institut des Régions Arides,
Médénine, Tunisie

⁽³⁾Centre de Recherches et des Technologies des Eaux, Institut National de Recherche Scientifique
et Technique, B.P. 95-2050 Hammam-lif, TUNISIE .

*E-mail: bouajilakhedija@yahoo.com

Résumé.- Quatre résidus de cultures (racines et fanes) de *sulla* (*Hedysarum coronarium L.*), *colza* (*Brassica napus L.*), *féverole* [*Vicia faba L. var. minuta (Desf. ex. Alef.) Mansf.*] et *blé dur* (*Triticum durum Desf.*) sont caractérisés sur le plan chimique et comparés par rapport au fumier bovin utilisé comme un témoin. Les deux sols choisis sont de textures différentes de la Tunisie: un sol argilo-limoneux de la Région de Mornag appartenant au gouvernorat de Ben Arous au nord de la Tunisie et un sol sablonneux de la région de Benikhdech appartenant au gouvernorat de Médénine au sud de la Tunisie. L'incubation a été réalisée en aérobiose à une température constante de 2°C pendant 90 jours avec une humidité ajustée à 2/3 de la capacité au champ (Θ_{cc}). L'analyse des fibres a montré que les résidus des fabacées (*sulla* et *féverole*) sont caractérisés par les taux en cellulose les plus élevés correspondant respectivement à 35.43 et 35.50% de la matière organique (MO); comparés au fumier qui s'est distingué par un plus faible taux de 2.35%. Les teneurs en lignine varient de 7.03 à 19.30% dans les résidus et fumier. La fraction soluble au détergent neutre est nettement plus faible de l'ordre de 26.04% pour les fabacées et 24.96% pour le blé et le colza contre 70.10% pour le fumier. À la fin des incubations, la quantité de C-CO₂ émise par le sol argileux varie entre 23.91 et 91.51 pourcentage de carbone organique total (% COT) des résidus organiques ajoutés, alors que celle émise par le sol sablonneux varie entre 6.48 et 57.24% COT. L'apport des résidus de fabacées et fumier ont minéralisé des quantités de carbone significativement supérieure ($P < 0.05$) au témoin et inférieure aux mélange sol-Colza et sol-Blé. La décomposition des produits organiques testés (résidus et fumier bovin) se trouve en relation étroite avec leurs composés chimiques et biochimiques. Plus les résidus organiques sont riches en lignine, plus leur biodégradation est difficile.

Mots clé: résidus de cultures, fumier, décomposition, carbone, composition biochimique

ROLE OF THE CHEMICAL AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF CROP RESIDUS AND FARM MANURE IN THE DECOMPOSITION OF DEGRADED SOILS IN TUNISIAN ARID CLIMATE

Abstract.- Four crop residues (tops and roots) of *sulla* (*Hedysarum coronarium L.*), rapeseed (*Brassica napus L.*), faba bean [*Vicia faba L. var. Minuta (Desf. Ex. Alef.) Mansf.*] and durum wheat (*Triticum durum Desf.*) were chemically characterized and compared against the bovin manure used as a Control. Residues and manure were applied in a minimum amount restituted or supplied in unproductive year under natural conditions, on two different Tunisian soils: a clay loam soil from the Mornag Region belonging to the Ben Arous governorate in the north of Tunisia and a sandy soil from the region Benikhdech belonging to the governorate of Medenine in southern Tunisia. Aerobiosis incubation was realized at a constant temperature of 28°C during 90 days with a humidity adjusted to 2/3 of field capacity (Θ_{cc}). The analysis of the fibers showed that the Fabaceae residues (*sulla* and field bean) were characterized by the highest cellulose levels corresponding to 35.43% and

35.50% of organic matter (OM); compared to manure that is distinguished by a lower rate of 2.35%. The lignin contents ranged from 7.03 to 19.30% in both residues and manure. The neutral detergent soluble fraction rate was clearly lower at a rate of 26.04% for the Fabaceae and 24.96% for wheat and rapeseed, against 70.10% for the manure. At the end of incubation, results showed that the amount of C-CO₂ emitted from the clay soil was between 23.91 and 91.51 percentage of total organic carbon (TOC %) of organics products added. while the amount emitted from the sandy soil varied between 6.48 and 57.24% COT. The contribution of Fabaceae residues and manure has mineralized amounts of carbon significantly higher ($P < 0.05$) than the control and significantly lower than both the mixture of soil-rape and the soil-wheat. The decomposition of the organic tested products (residues and farm manure) is closely related to their chemical and biochemical compounds. More organic residues are rich in it lignin, more their biodegradation is difficult.

Keywords: crop residues, manure, decomposition, carbon, biochemical composition

Introduction

La préoccupation croissante d'une agriculture pour le développement durable implique une réduction des intrants (produits apportés aux sols pour améliorer les rendements de récolte) pouvant être à l'origine de pollution des sols, et un rôle accru des matières organiques dans le maintien de la qualité des sols. L'exportation massive des parties aériennes de cultures empêche le retour au sol de cette biomasse végétale qui est en grande partie à l'origine de la matière organique qui contribue à la qualité des sols (fertilité, structure des sols). L'enjeu est donc de maintenir une production agricole suffisante pour répondre aux besoins de nos sociétés tout en protégeant la qualité des sols à long terme [1].

Les principales sources de matières organiques entrant dans les sols agricoles sont elles mêmes issues de l'activité agricole (résidus de récolte et systèmes racinaires, fumiers, lisiers) ou du recyclage des déchets organiques (effluents, composts et boues). Par exemple, les racines de la plupart des plantes annuelles restent dans les sols après la récolte [1]. Dans le semi aride supérieur, les cultures de sulla, blé, féverole et colza restituent au sol des biomasses sèches comprises respectivement entre 5 et 15; 0.5 et 2.5; 2 et 6 t h⁻¹ [2].

Le taux de décomposition de la matière organique endogène et exogène dans les sols est lié à de multiples facteurs, dépendant de la nature des matières organiques (facteurs intrinsèques) et des conditions de l'environnement (facteurs extrinsèques), qui agissent sur l'activité des microorganismes du sol impliqués dans le processus de décomposition. Les principaux facteurs extrinsèques déterminant la décomposition des matières organiques dans les sols sont l'humidité, la température, le pH du sol, les conditions d'aération, la disponibilité en nutriments [3,4]. Certaines pratiques culturales comme le travail du sol sont susceptibles de modifier le taux de décomposition des matières organiques en modifiant les conditions du milieu, ou en modifiant la taille et la localisation des matières organiques exogènes telles que les résidus de culture. La texture des sols influence également la décomposition, notamment par la présence d'argile qui assure une protection physique de la matière organique [5].

La composition chimique nommée par le terme de «qualité» des matières organiques exogènes restituées aux sols est un des principaux facteurs qui influencent leurs cinétiques de décomposition dans les sols [6]. La qualité des matières organiques exogènes dépend de leur origine et influence leur décomposition dans les sols en modifiant l'activité

des organismes décomposeurs du sol. Les flux de carbone et d'azote vers l'hydrosphère et l'atmosphère et leur cycle dans les sols agricoles sont ainsi étroitement liés à la nature des matières organiques restituées au sol. Une meilleure gestion de ces flux implique de prendre en compte la qualité de cette matière organique [1].

Plusieurs études ont été menées afin d'identifier des caractéristiques chimiques susceptibles de prédire la décomposition des résidus végétaux dans le sol. Pour cela, différents types de méthodes de caractérisation des résidus ont été utilisées. Dans les années 1960, une méthode d'extraction séquentielle a été développée pour analyser la composition chimique des résidus végétaux en lien avec la digestibilité des fourrages par les ruminants [7,8].

Cette méthode permet de déterminer la proportion relative de chaque fraction constituant ces résidus végétaux, à savoir la fraction soluble et la fraction pariétale et ses principales composantes : la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. Cette méthode a été adaptée pour prédire la décomposition des résidus végétaux dans le sol en faisant l'hypothèse qu'il y a un parallèle entre l'augmentation de la force d'extraction chimique des composants et la diminution du taux de décomposition des composants des résidus végétaux [6]. Cette méthodologie a permis de suivre l'évolution des fractions mentionnées ci-dessus au cours de la décomposition de résidus végétaux. MINDERMAN (1968) a montré que l'ensemble des fractions (soluble, hémicellulose, cellulose et lignine) se décomposent simultanément mais à des vitesses différentes, indiquant une dégradation préférentielle de certains de ces composants [9].

D'autres caractéristiques de la composition chimique des résidus végétaux ont été reliées à leur taux de décomposition dans le sol. Des travaux ont montré que la minéralisation du carbone sur les premiers jours de décomposition des résidus végétaux était principalement reliée à la quantité de carbone présent dans la fraction soluble à l'eau des résidus [10-12]. La proportion de composés solubles, dégradés rapidement par les microorganismes décomposeurs a moins d'influence sur la minéralisation du carbone à plus long terme [13]. L'influence des composés présents dans la fraction insoluble (polysaccharides des parois cellulaires, lignines) sur la décomposition est quant à elle plus difficile à déterminer.

Cette étude caractérise la composition chimique et biochimique d'un ensemble de résidus organiques (blé dur, sùlla, colza et féverole) comparés à un fumier bovin et voir son impact sur la minéralisation du carbone dans deux sols dégradés de textures différentes (sol argileux et sol sablonneux) sous climat aride tunisienne.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Sols utilisés

L'expérience a porté sur des horizons de surface (0- 30cm) de deux sols non cultivés évoluant dans des conditions pédoclimatiques différentes : Un sol de type peu évolué d'apport alluvial hydrique à caractère vertique (CPCS 1967 [14])- FLUVIOSOL vertique (référentiel pédologique-AFES, 2009 [15]) - Vertic Xero Fluvent (Soil Taxonomy). Il représente environ 50% des terres cultivées dans le Nord de la dorsale tunisienne [16], soit plus d'un million d'hectares. C'est un sol profond à profil homogène de type A/C de texture argileuse (Arg) dont les principales caractéristiques physico-

chimiques avant la conduite de l'expérimentation, sont présentées dans le tableau I. Le prélèvement d'échantillon en ce type de sol est effectué dans une parcelle expérimentale de l'Institut National Agronomique de la Tunisie (INAT), située dans la région de Mornag (36° 41 N 10° 19 E), 20 km au Sud de Tunis situé au Nord de la Tunisie (fig. 1). Le climat est de type semi-aride supérieur à hiver doux. Il se caractérise par une distribution irrégulière des précipitations durant toute l'année avec une moyenne annuelle de 500 mm. La température moyenne annuelle est de 18°C.

Le deuxième sol est peu évolué et représenté surtout par des sols lœssiques (Regosols) : des loess à texture limono-sableuse (Sab), la profondeur des loess est variable, elle peut atteindre à certains endroits une dizaine de mètres, en général ce sont des sols profonds [17, 18]. Le prélèvement d'échantillon en ce type de sol a été effectué dans une parcelle expérimentale, situé à la région de Ksar Jouamaa - Benikhdech (33°15'03" N 10°13'47" E), appartenant au gouvernorat de Médenine situé au sud-est de la Tunisie (fig. 1). Le climat de ce site est de type aride inférieur à hiver généralement doux. Il se caractérise par une distribution irrégulière des précipitations durant toute l'année avec une moyenne annuelle varie entre 130 et 190 mm. La température moyenne annuelle est de 19.3°C. Les échantillons des sols sont tamisés à 2mm. Les caractéristiques physico-chimiques des sols utilisés sont déterminées au Laboratoire d'Eremologie et Lutte Contre la Désertification de l'Institut des Régions Arides Médenine/ Tunisie.

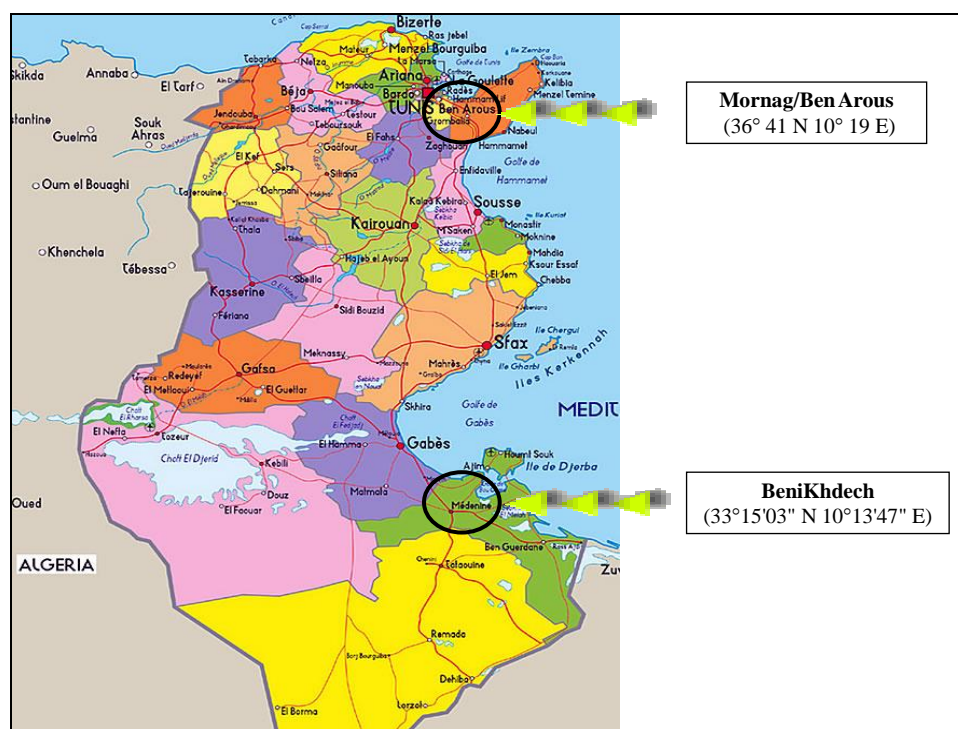


Figure1.- Situation géographique des sites expérimentaux [19]

1.2.- Produit organique

L'échantillonnage des résidus de cultures a été effectué à l'été 2009 sur des parcelles de la ferme expérimental e de l'INAT à Mornag (Gouvernorat de Ben Arous). Les résidus (racine et paille ou fanes) sont représentés pour un mélange homogène de cinq échantillons ramassés chacun à partir de quatre parcelles correspondantes. Les résidus utilisés sont séchés à l'air libre pendant sept jours, ensuite finement broyés et tamisés ($\phi <$

2 mm) avant leur utilisation dans cette étude. Les caractéristiques chimiques des broyats de ces amendements utilisés sont déterminées au Laboratoire de Production Animale de l'Institut des Régions Arides de Médenine/Tunisie.

1.3.- Analyses chimique et biochimique des résidus

La préparation pré-analytique passe par les étapes suivantes: lavage à l'eau courante des parties aériennes et racinaires des résidus puis à l'eau distillée pour éliminer toute impureté et risque de contamination par la terre. Le séchage des échantillons a été effectué dans une étuve et à une température de $38 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à poids constant. Enfin, un broyage des parties racinaires et aériennes ensemble est réalisé.

Le fractionnement des résidus a été réalisé par la méthode VAN SOEST et WINE (1967) [20]. Le carbone organique est déterminé après calcination à 550°C . Les cendres sont ensuite attaquées par HNO_3 (1N). L'extrait final est ramené à un volume de 100 ml pour servir à l'analyse du phosphore et du potassium. Ces derniers sont dosés respectivement par un spectrophotomètre ($\lambda = 660 \text{ nm}$) et un photomètre à flamme [21]. Le pH (H_2O) est mesuré dans une solution obtenue après agitation de 3 heures et filtration du mélange eau et résidus (1/5). Enfin l'azote total est déterminé par la méthode micro kjeldahl [13]. L'indice de stabilité biologique (ISB) est défini par LINERES et DJAKOVITCH (1993) [22]:

$$\text{ISB} = 2.112 - (0.02009 \times \text{SOLU}) - (0.02378 \times \text{HEMI}) - (0.02216 \times \text{CELL}) + (0.00840 \times \text{LIGN})$$

où : SOLU: fraction soluble (% MOT); HEMI: fraction hémicellulose (% MOT); CELL: fraction cellulose (% MOT); LIGN: fraction lignine (% MOT).

1.4.- Suivi de carbone minéralisation par incubation

L'essai d'incubation (fig. 2) est conduit au Laboratoire d'Eremologie et Lutte Contre la Désertification de l'Institut des Régions Arides Médenine/ Tunisie. La méthode a été basée sur celles utilisées par ABIVEN (2004) et ANNABI (2005) [23,24]. Les incubations, en conditions contrôlées, ont été réalisées dans des bocaux de 1 litre, fermés hermétiquement, à une humidité proche de la capacité au champ ($2/3 \Theta_{cc}$) et à une température constante ($28 \pm 2^\circ\text{C}$) dans l'obscurité.

Des quantités de résidus organiques sulla, colza, blé et féverole et fumier de ferme de l'ordre de 0.115g; 0.046g; 0.011g; 0.011g et 0.115g, ont été apportées à 100g du sol Limono-argileux de Mornag ($d_a = 1.45$) situé au Nord de la Tunisie et des quantités de l'ordre de 0.159g; 0.063g; 0.016g et 0.016g et 0.159g sont apportées à 100g du sol limono-sablonneux de Benikhdech ($d_a = 1.05$) situé au sud de la Tunisie, l'équivalents à 5; 2; 0,5; 0,5 et 5 t ha^{-1} , respectivement pour les résidus de sulla, colza, blé et féverole et fumier de ferme.

Ces traitements sont comparés à un témoin non amendé pour chacun des deux sols tunisiens de textures différentes. Pour chaque traitement, trois répétitions sont réalisées. L'atmosphère dans les bocaux est renouvelée à chaque date de mesure de minéralisation du carbone, afin de maintenir les sols dans des conditions d'aérobic. L'humidité est contrôlée constamment par pesée et ajustée au besoin. Les quantités minimales apportées

représentent les quantités de résidus restitués au sol en condition d'une année faiblement pluvieuse.

Le CO₂ dégagé au cours de l'incubation est piégé dans une solution de 5ml de NaOH 0.1 N [25]. La soude est ensuite titrée par une solution de HCl 0.1N en présence de 5 ml de chlorure de baryum (BaCl₂) 0.1N et de phénophtaléine comme indicateur coloré. Les mesures sont réalisés sur une période de 90 jours et à intervalles de temps réguliers (deux jours pendant deux semaines, puis 4 jours pendant le reste des mois). La quantité du carbone minéral exogène apporté par les résidus organiques est calculée par la différence entre la quantité du carbone produite par le mélange (sol+ résidus) et le témoin (sans apport) pour la même période.

La minéralisation du carbone (C) est mesurée par piégeage du CO₂ dans la soude [25]. Les quantités (Q en mg C.kg⁻¹) sont calculées sur la base de 1 ml de HCl 0.1 M équivalent à 2.2 mg de CO₂ à l'aide de la formule suivante [26]:

$$Q = [(V_1 - V_{éch}) \times 2.2 \times 1\ 000] / 100.$$

Où V₁: volume moyen de HCl utilisé pour le contrôle, V_{éch}: volume de HCl utilisé pour l'échantillon et 100: poids de sol en g.

La quantité du carbone minéral exogène apportée par les résidus organiques est calculée par la différence entre la quantité du carbone produite par le mélange (sol + résidus) et le témoin (sans apport) pour la même période.

L'ajustement des cinétiques de minéralisation du carbone en % COT est réalisé selon une équation de 1^{er} ordre qui permet d'approcher les tailles des compartiments labiles et résistants des matières organiques du sol:

$$y = a*(1 - e^{-(k*t)}) + b*t$$

Où : la constante "a" représente la fraction du carbone potentiellement minéralisable, [27, 28]; "b" représente le coefficient de dégradation du compartiment résistant, "k" représente le coefficient de la vitesse de minéralisation du compartiment minéralisable par jour et "t" représente le temps de minéralisation en jours.



Figure 2.- Essai d'incubation (température: 28°C; humidité: 2/3Occ) et dosage du CO₂ dégagé par les échantillons de sols amendés

1.5.- Traitement statistique des données

Les données recueillies sont soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SPSS (version 20). Le test de Newman-Keuls est utilisé pour la comparaison des moyennes lorsque des différences significatives entre les traitements sont révélées au seuil de probabilité de 5 %.

2.- Résultats

2.1.- Caractéristiques chimiques et biochimiques des résidus organiques

Carbone total

Une variation significative entre les taux du carbone des différents produits organiques a été observée, avec un C.V = 7.24 % (tab. I).

Les résidus végétaux se caractérisent par des taux de carbone de 44.07; 43.02; 41.12 et 40.08 % respectivement pour les résidus de Sulla; féverole; blé; et colza. Ces résidus de cultures contiennent plus de matière organique que le fumier de ferme (31.75%).

Azote total

Comme indiquées dans le tableau I, les teneurs en azote organique total varient de 0.54 à 2.33%. Le fumier de ferme est le plus riche en azote total (2.33%), alors que les résidus de cultures se caractérisent par des taux inférieurs à 1%.

Rapport C/N

Ce rapport est largement utilisé pour classer les types de matières organiques dans un sol. Il représente un indicateur de dégradation des résidus dans un sol. Comparé au fumier de ferme, les rapports C/N des résidus sont très élevés (> 40 %) (tab. I) indiquant une décomposition de ces résidus déficitaire en azote.

pH des résidus

Les résidus de culture de sulla, blé, féverole et du colza présentent des pH respectifs de 6.82; 6.11; 5.65; et 6.59; significativement plus acides que celui du fumier (7,53) (tableau 1) avec un C.V de 2.65 (tab. I).

Fractionnement biochimique des résidus de cultures

Les résidus de blé, sulla, féverole et colza sont plus riches en NDF et ADF que le fumier de ferme. Ce dernier devient plus riche en ADL (19.30%), mais au même niveau que les fabacées (sulla et févrole).

Le fractionnement biochimique de la matière organique des résidus de cultures a décelé des teneurs en cellulose et hémicellulose significativement plus élevées que celles du fumier (> 8.25 %). Les résidus de fabacées se caractérisent par le taux de cellulose le plus élevé que le reste des résidus et du fumier (tab. I).

Tableau I.- Spécificités chimique et biochimique des résidus de sulla, colza, blé et féverole en comparaison avec le fumier bovin.

[Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha=5\%$ selon le test de Newman et Keuls. pH; Azote totale (NT); Carbone totale (CT); rapport C/N; fibres au détergent neutre (NDF); fibres aux détergents acides (ADF); lignines aux détergents acides (ADL); cellulose: CELL = ADF – ADL; hémicellulose: HEMI = NDF – ADF; lignine: LIGN = ADL; fraction soluble: SOLU = 100 – NDF; ISB: indice de stabilité biologique ; CV: coefficient de variation]

Paramètres chimiques	Sulla	Colza	Blé	Féverole	Fumier	c.v (%)
Ph	6.82 b	6.59 b	6.11 c	5.65 d	7.53 a	2.65
NT%	0.95 b	0.84 b	0.54 b	0.63 b	2.33 a	32.17
CT%	44.07 a	40.08 a	41.12 a	43.02 a	31.75 b	7.24
C/N	48.04 a	52.94 a	81.32 a	72.43 a	14.14 b	33.66
NDF(%MO)	81.43 a	73.57 b	76.50 ab	66.50 c	29.90 d	4.95
ADF(%MO)	53.38 a	29.77 bc	39.00 b	51.00 a	21.65 c	16.86
ADL(%MO)	17.95 a	7.03 b	8.50 b	15.43 a	19.30 a	23.52
CELL (%)	35.43 a	22.74 b	30.50 a	35.50 a	2.35 c	11.45
HEMI (%)	28.05 b	43.80 a	37.00 a	15.50 c	8.25 d	13.06
LIGN (%)	17.95 a	7.03 b	8.50 b	15.50 a	19.30 a	23.52
SOLU (%)	18.57 d	26.42 c	23.50 cd	33.50 b	70.10 a	9.43
ISB (%)	0.45 ab	0.10 b	0.15 b	0.42 ab	0.63 a	51.69

Quant à l'hémicellulose, les fabacées et le fumier se caractérisent par les taux les plus bas, respectivement 21.77 et 8.25 %, alors que le colza et le blé ont les taux d'hémicellulose les plus élevés, respectivement 43.80 et 37.00%). Par contre, le fumier se caractérise par le taux de lignine le plus élevé (19.30%) comparé à celui du colza qui garde significativement la teneur la plus faible (7.03%). En matière de fractions solubles testées, le fumier maintient aussi la fraction la plus élevée (70.10%) (tab. I).

Indice de stabilité biologique

Les indices biologiques des fabacées sont supérieurs à 0.42%, alors que le colza se caractérise par un indice de stabilité plus faible (0.11 %). Quant au fumier de ferme, il a l'indice le plus important de l'ordre de 0.63.

2.2.- Cinétique de minéralisation potentielle du carbone selon les résidus de cultures

Quelle que soit la nature du mélange sol + résidus, les vitesses de minéralisation se trouvent maximales en début de l'incubation. Elles sont plus importantes dans les mélanges sol + résidus de cultures que sol pour les mélanges sol + fumier. Dans ces derniers, la minéralisation du carbone tend à être constante après 20 à 30 jours d'incubation; contrairement aux autres mélanges qui continuent à se minéraliser même après 90 jours d'incubation.

Lors de l'incubation, le cumul du C-CO₂ libéré au cours de la minéralisation des résidus de cultures est significativement plus faible ($P < 0.05$) pour le fumier (15.973 et 23.914% COT) ajoutées respectivement pour le sol argileux de Mornag et le sol sablonneux de Benikhdech, que dans les mélanges sol+ résidus de cultures.

Comparé à certains mélanges, les mélanges sol+ résidus du colza qui favorisent une libération C-CO₂ significativement plus élevé ($P < 0.05$); soit 57.240 pour le sol sablonneux de Benikhdech contre 91.513% COT pour le sol argileux de Mornag (fig. 3).

Pour les différentes quantités de résidus organiques appliqués, les vitesses de minéralisation sont maximales au début des incubations. Elles sont plus importantes avec les résidus de cultures que les amendements organiques (fumier). Les vitesses de minéralisation diminuent rapidement au cours des incubations pour rester globalement constantes jusqu'à la fin de l'incubation.

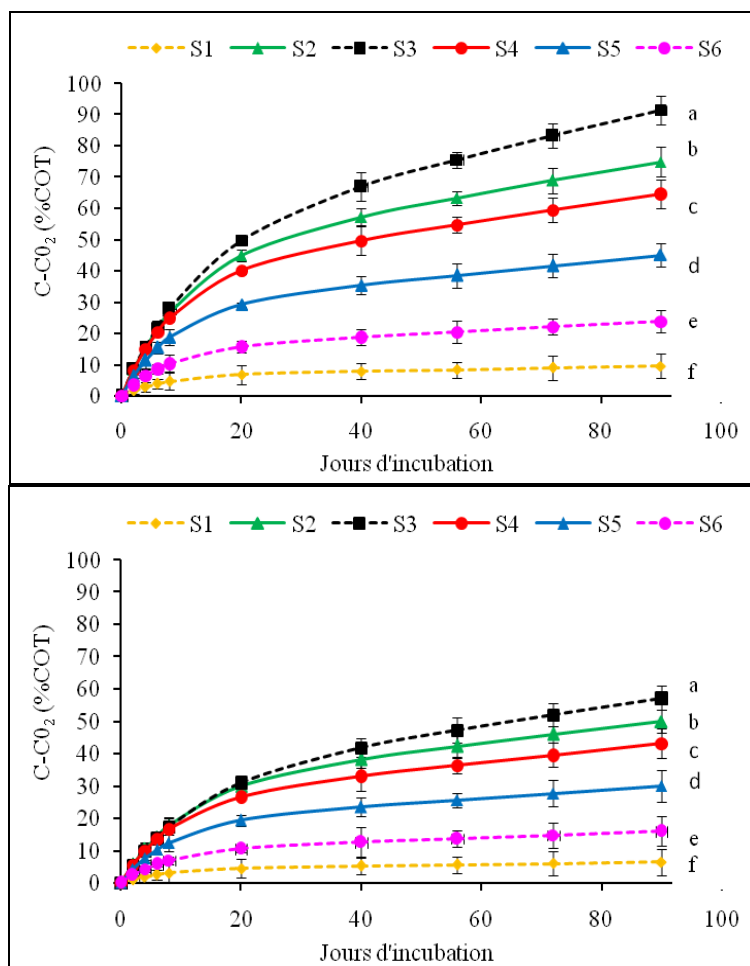


Figure 3.- Variation des cumuls de C-CO₂ libérés au cours de la minéralisation selon la nature des résidus, dans le sol de Mornag et sol de Benikhdech.

(S₁: témoin absolu; S₂: sol+ fumier témoin relatif; S₃: sol+sulla; S₄: sol+féverole; S₅: sol+blé; S₆: sol+colza. Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Newman et Keuls.)

2.3.- Estimation de la minéralisation potentielle (a) du carbone, et la constante de la minéralisation (k) selon les traitements des sols.

Pour les deux quantités de résidus organiques appliqués, les vitesses de minéralisation sont maximales au début des incubations. Elles sont plus importantes avec les résidus de cultures que les amendements organiques (fumier). Les vitesses de minéralisation diminuent rapidement au cours des incubations pour rester globalement constantes jusqu'à la fin de l'incubation.

L'ajustement des points expérimentaux au modèle cinétique de type $C-CO_2 = a*(1 - e^{-k*t}) + b*t$ permet d'approcher les coefficients de vitesse de la minéralisation des

compartiments organiques labile et résistant des résidus organiques apportés. Les résultats de ces ajustements sont donnés dans le tableau II. La qualité de l'ajustement est satisfaisante ($0.997 < r < 0.999$; r est le coefficient de corrélation). La taille du compartiment labile (a) est plus grande pour les résidus végétaux que pour les amendements organiques.

Dans le sol argilo-limoneux de Mornag, la taille du compartiment labile (a) pour les résidus varie de 27.934 à 50.868% COT contre seulement 14.914% COT pour le fumier de ferme. Par ailleurs, dans le sol sablonneux de Benikhdech, la taille du compartiment labile (a) varie de 18.622 à 31.792% COT contre seulement 9.943% COT pour le fumier de ferme. La constante de la vitesse de minéralisation du compartiment labile (k) varie de 0.081 j^{-1} et 0.131 j^{-1} et est plus forte pour le fumier de ferme (tab. II).

Tableau II.- Paramètres du modèle $C\text{-CO}_2 = a \cdot (1 - e^{-k \cdot t}) + b \cdot t$ utilisé pour simuler les données expérimentales de minéralisation du carbone durant les incubations, en mélange dans un sol-résidus organiques (**indique une significativité au seuil de 0.05)

<i>Exponentielle : $Y = a \cdot (1 - e^{-k \cdot t}) + b \cdot t$</i>	Mornag	Benikhdech
<i>S1: témoin absolu</i>	a (% COT) = 6.491 k (jour^{-1}) = 0.141 b (% COT. jour^{-1}) = 0.035 $r^2 = 0.998^{**}$	a (% COT) = 4.327 k (jour^{-1}) = 0.141 b (% COT. jour^{-1}) = 0.024 $r^2 = 0.998^{**}$
<i>S2: sol+fumier témoin relatif</i>	a (% COT) = 14.914 k (jour^{-1}) = 0.131 b (% COT. jour^{-1}) = 0.100 $r^2 = 0.999^{**}$	a (% COT) = 9.943 k (jour^{-1}) = 0.131 b (% COT. jour^{-1}) = 0.067 $r^2 = 0.999^{**}$
<i>S3: sol+sulla</i>	a (% COT) = 27.934 k (jour^{-1}) = 0.120 b (% COT. jour^{-1}) = 0.191 $r^2 = 0.999^{**}$	a (% COT) = 18.622 k (jour^{-1}) = 0.120 b (% COT. jour^{-1}) = 0.127 $r^2 = 0.999^{**}$
<i>S4: sol+féverole</i>	a (% COT) = 38.483 k (jour^{-1}) = 0.111 b (% COT. jour^{-1}) = 0.292 $r^2 = 0.999^{**}$	a (% COT) = 25.655 k (jour^{-1}) = 0.111 b (% COT. jour^{-1}) = 0.194 $r^2 = 0.999^{**}$
<i>S5: sol+blé</i>	a (% COT) = 45.043 k (jour^{-1}) = 0.095 b (% COT. jour^{-1}) = 0.332 $r^2 = 0.997^{**}$	a (% COT) = 30.029 k (jour^{-1}) = 0.095 b (% COT. jour^{-1}) = 0.222 $r^2 = 0.997^{**}$

L'analyse des modèles mathématiques des courbes (tab. II) indique que le modèle étudié, avec des coefficients de corrélation (r^2) comprises entre 0.997 et 0.999, ajuste significativement aux données obtenues ($p < 0.05$). L'émission maximale correspond à la minéralisation des résidus du colza.

Dans un ordre décroissant les valeurs de potentiel du carbone minéralisable sont

celles du colza, suivi du blé dur, la féverole, le sulla et le fumier de ferme. Ces observations sont identiques dans les deux types de sols. Mais les valeurs le plus élevés de minéralisations du carbone ont été enregistré pour les résidus ajoutés au sol limono-argileux de Mornag. Elles coïncident avec celles du C-CO₂ accumulé obtenu après 90 jours d'incubation (fig. 4).

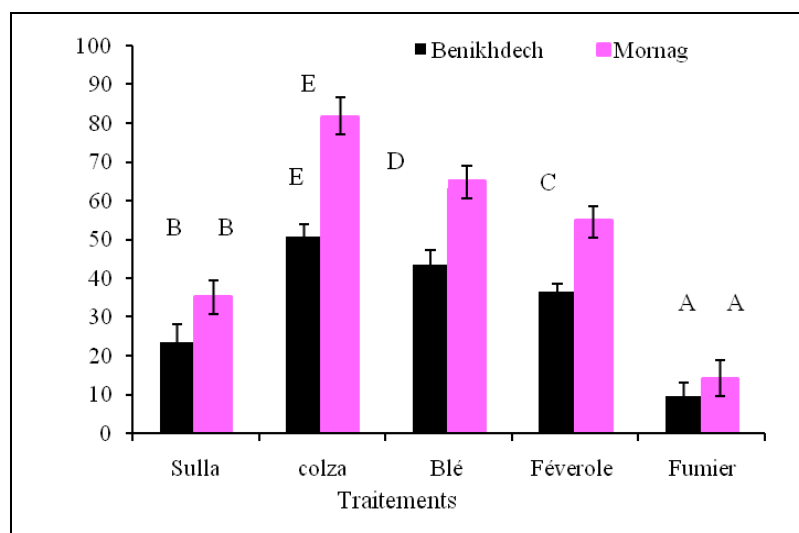


Figure 4.- Quantité du carbone exogène émis comme C-CO₂ (%COT) par les traitements après 90 jours d'incubation [Les lettres différentes indiquent une différence significative entre types de résidus organiques ($p < 0,05$)].

Les deux expériences démontrent que la minéralisation du carbone dépend exclusivement du type de résidu organique ajoutée et du type de sol testé.

2.4.- Relation entre carbone potentiellement minéralisable et quantité de C-CO₂ émise pendant 90 jours d'incubation

La valeur de carbone potentiellement minéralisable, montre une relation linéaire étroite (pente de 0.9949) avec le carbone minéralisé au 90ième jour (fig. 5). Dans ce dernier cas, la fraction considérée "labile" est augmentée significativement dans les deux types des sols (argileux et sablonneux). Des résultats similaires concernant les substrats qui minéralisent plus rapidement dans des sols à bas contenu d'argile, ont été expliqués par la stabilisation des produits carbonés. Cette stabilisation est atteinte par adsorption dans les minéraux ou bien par l'incorporation aux agrégats du sol, ce qui les rend physiquement inaccessibles à la biomasse microbienne [29, 30].

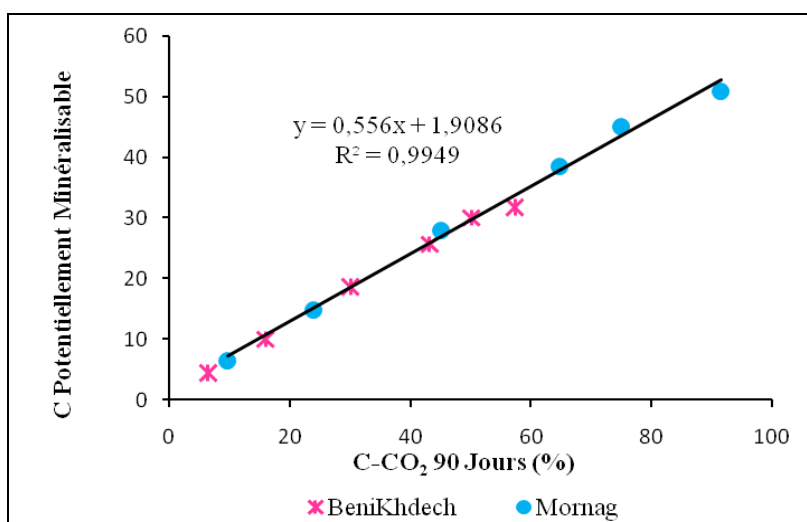


Figure 5.- Relation entre Carbone Potentiellement Minéralisable et quantité de C-CO₂ émise au long de 90 jours de l'incubation

2.5.- Corrélation (r) entre les quantités du carbone minéralisable au 90^{ème} jour dans les deux sols Mornag et Benikhdech et les caractéristiques initiales des produits organiques

La minéralisation potentielle des produits organiques étudiés est liée à leur composition biochimique différente. Les intensités de minéralisation sont corrélées positivement avec la teneur en cellulose des produits organiques (r le coefficient de corrélation est de 0.683^{**} et 0.666^{**} respectivement pour sol Mornag et sol Benikhdech) et à leur rapport C/N (tab. III). En revanche, les lignines sont corrélées négativement à la minéralisation du carbone (-0.435; -0.553*).

L'intensité de la minéralisation du carbone organique des résidus des cultures et de fumier de ferme est également corrélée positivement avec leur teneur COT (0.634*; 0.587*). La corrélation est négative avec la fraction soluble (-0.545* ; -0.604*) telle que définie par le fractionnement Van Soest, qui ne peut donc pas être assimilée à une fraction facilement biodégradable (tab. III).

Tableau III.- Coefficient de corrélation (r) entre les quantités du carbone minéralisable au 90^{ème} jour dans les deux sols Mornag et Benikhdech et les caractéristiques initiales des produits organiques. [Valeur significative au seuil de 5% et 1%. **: La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral), *: La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral)]

	C90jMornag	C90jBeniKhdech
%COT	0.634*	0.587*
%N	-0.705**	-0.780**
C/N	0.635*	0.695**
CELL	0.683**	0.666**
HEMICELL	0.401	0.443
LIGN	-0.435	-0.553*
SOLU	-0.545*	-0.604*

2.6.- Relation entre le taux d'ADL des résidus et quantité de C-CO₂ émise après 90 jours d'incubation

Cependant, les taux de carbone libérés par les divers mélanges en fin d'incubation se trouvent corrélés négativement (une pente négative de la droite de régression; soit -0.197 et -0.313 respectivement dans le sol argileux de Mornag et le sol sablonneux de Benikhdech) avec les taux ADL (ou lignine) respectifs aux divers résidus et fumier. Les mélanges caractérisés par les taux d'ADL les plus bas comme le colza et le blé libèrent plus de C-CO₂ supérieur à 70% COT après 90 jours d'incubation dans le sol argileux et supérieur à 50% COT après 90 jours d'incubation dans le sol sablonneux de Benikhdech (fig. 6).

3.- Discussions

La composition chimique et biochimique des matières organiques exogènes restituées aux sols est un des principaux facteurs qui influencent leurs cinétiques de décomposition dans les sols [31].

Plusieurs études, ont montré des corrélations entre la composition biochimique (notamment nature et complexité moléculaire) et la biodégradabilité de la matière organique [32, 35]. Dans ce cadre, la présente étude vise à mieux caractériser les relations entre la minéralisation du carbone, et les caractéristiques chimiques et biochimiques des résidus organiques, en se concentrant en particulier sur les résidus de cultures (sulla, colza, blé et féverole) et le fumier de ferme.

Il est constaté que la décomposition des produits organiques testés est en relation étroite avec l'origine, la nature et avec leurs compositions chimiques et biochimiques [36, 37]. Plus les résidus organiques sont riches en lignine, plus leur biodégradation est difficile suite à la récalcitrance de ces polymères végétaux [38]. Les fractions en fibres des produits organiques ont montré que le fumier est significativement ($P < 0.05$) plus riche en lignine (19.30% MO) et en fraction soluble (70.10 %) alors que les résidus de cultures sont plus riches en cellulose (35.5%) et hémicellulose (43.8%).

JEDIDI (1998) a confirmé ces résultats sur le fumier [16]. La caractérisation des résidus organiques selon l'indice de stabilité biologique (ISB) permet une classification selon leurs natures [22].

Les résidus des cultures de fabacées se caractérisent par un indice de stabilité biologique plus important que les autres résidus soit 0.44 et 0.42% respectivement pour le sulla et la féverole.

La texture du sol a un effet aussi significatif sur les taux de minéralisation du carbone. Ces taux qui traduisent l'efficacité des micro-organismes, ont été plus élevés dans le sol argileux de Mornag que dans le sol sablonneux de Benikhdech, du fait de l'effet de l'argile dans la décomposition des matières organiques. La texture plus fine du sol Mornag et l'effet protectrice des argiles par rapport aux molécules organiques a bien expliqué les différences observées dans la proportion du carbone minéralisé [39, 41].

Cet effet a été profondément étudié [42, 45]. La teneur de 36.7% d'argile (pour le sol Mornag) aurait créé un contexte favorable à l'activité microbienne, grâce au pouvoir de rétention de l'eau et l'effet protecteur de l'argile [46] sur la biomasse microbienne [47].

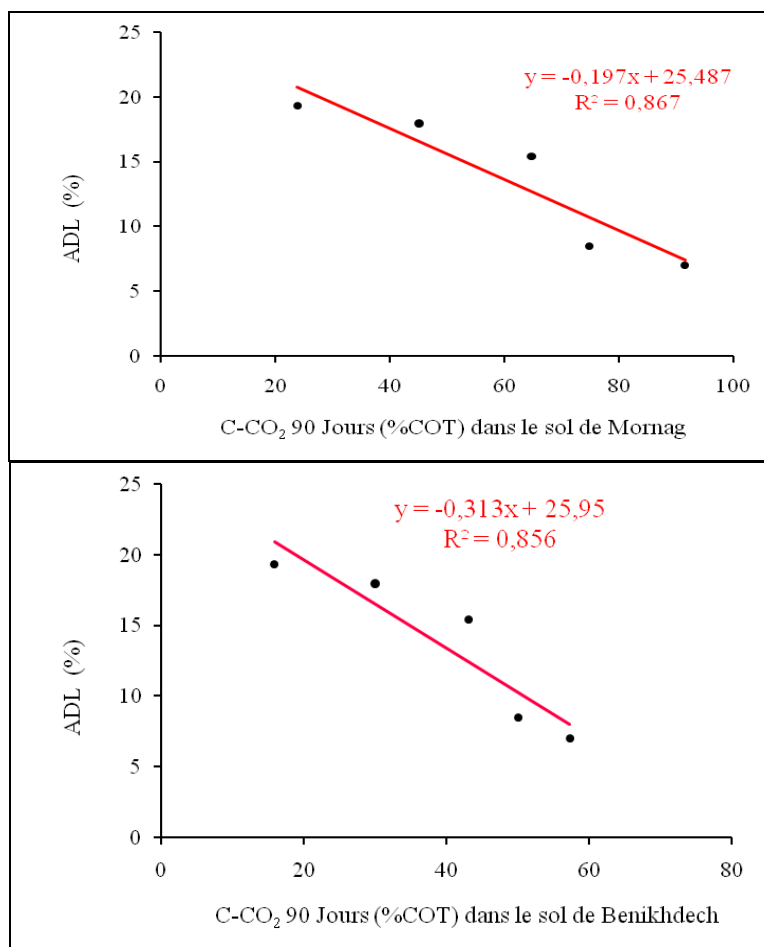


Figure 6.- Relation entre le taux d'ADL des résidus et quantité de C-CO₂ émise après 90 jours d'incubation dans le sol de Mornag et de Benikhdech

Dans les conditions expérimentales et après 12 semaines d'incubation, le taux de la minéralisation du carbone dans le sol limono-argileux de Mornag amendé avec une quantité minimale des résidus, arrive jusqu'à 92% de carbone total pour tous les traitements. Alors que celle du Sol à texture sablo-limoneux de Benikhdech n'a pas dépassé le 58% de carbone total pour tous les traitements.

L'effet traitement organique aussi est significatif au seuil de 5%. Pour les deux types du sol, les traitements colza et blé, ont minéralisé les plus grandes quantités enregistrées durant la totalité de la période d'incubation pour tous les traitements.

Les traitements féverole, sulla et fumier ont minéralisé des quantités de carbone statistiquement supérieure ($P < 0.05$) au témoin et statistiquement inférieure ($P < 0.05$) aux traitements Colza et Blé. Le potentiel de minéralisation (a) est plus important pour les résidus végétaux (27.934 à 50.868% COT) que pour le fumier (14.914% COT). Ces résultats confirment que le potentiel de la minéralisation est lié à la qualité chimique et biochimique des amendements organiques apportés au sol [16, 48, 49].

Pour les quantités de résidus organiques appliquées, les vitesses de minéralisation sont maximales au début des incubations. Elles sont plus importantes avec les résidus de cultures que le fumier. Puis elles diminuent rapidement au cours des incubations pour

rester globalement constantes jusqu'à la fin de l'incubation. Ces vitesses sont plus importantes pour le sol limono-argileux de Mornag que pour le sol sablonneux de Benikhdech.

Les résidus organiques ont permis un accroissement de la minéralisation du carbone organique dans les deux types de sols. Cet accroissement a été aussi mis en évidence dans de nombreuses études [24, 45, 50,51]. Il est dû à l'augmentation du carbone labile par l'apport de matière organique exogène, support énergétique principal des micro-organismes [52].

JEBKINSON (1977) rapporte que l'apport de composés organiques a une action stimulante sur la décomposition des matières organiques préexistantes dans le sol.

En utilisant la méthode de corrélation simple, il est montré aussi que le carbone minéralisable est fortement corrélé avec la cellulose, l'hémicellulose et la fraction soluble au cours de la décomposition comme indique précédemment [6, 11, 16, 54].

Nos résultats confirment également la relation négative bien connue entre les résidus organiques décomposés et la teneur en lignine (mesurée par la méthode de VAN SOEST) [6, 11, 16, 54, 55, 56, 57]. Ils sont conformes à ceux trouvés par JEDIDI (1998) [16]; ABIVEN *et al.* (2007) [23]; HELFRICH *et al.* (2008) [58]; MACHINET (2009) [1] et LE GUILLON (2011) [55].

Conclusion

Cette étude, réalisée en conditions contrôlées de laboratoire sur des sols limono-argileux et sableux de la Tunisie, a montré que l'utilisation des résidus (sulla, blé, colza, féverole) et fumier de ferme, comme amendement organique, demeure une voie dans la résolution des problèmes de fertilité des sols et surtout des sols dégradés.

Les résidus végétaux et le fumier de ferme ont contribué à l'amélioration de la minéralisation du carbone organique. La quantité minimale apportée au sol a permis un accroissement, ce qui dénote qu'elle constitue une source non négligeable de matière organique minéralisable.

Par ailleurs, la texture du sol a influé la minéralisation du carbone; les sols argileux ayant été plus favorables que les sols sableux. Toutefois, l'apport de résidus organiques s'est révélé bénéfique pour les deux types des sols.

En plus la valorisation agronomique des résidus de cultures et de fumier de ferme mérite d'être approfondie car leur utilisation pourrait être une solution dans la gestion de la fertilité du sol pour une agriculture durable et une technique de substitution et de remédiation des sols biologiquement dégradés. Dans le futur, il serait intéressant d'évaluer l'impact de ses bioressources sur les rendements des cultures et leurs effets sur les sols en combinaison avec les engrais minéraux.

Références bibliographiques

[1].- Machinet, G. E., 2009.- Utilisation de la variabilité génétique du maïs pour évaluer le rôle de la qualité chimique des racines sur le processus de décomposition dans les

- sols. Thèse de doctorat, Université de Reims Champagne Ardenne, 207p.
<http://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:50296>
- [2].- Ben Jeddi F., 2005.- *Hedysarum coronarium* L.: Variation génétique, création variétale et place dans les rotations tunisiennes. Thèse de doctorat en sciences biologiques appliquées, Faculté des sciences en bio-ingénierie, Université de Gent Belgique, 216p.
http://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/000/894/634/RUG01-000894634_2010_0001_AC.pdf
- [3].- Parr J. F., Papendick R. I., 1978.- Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms. In: Oschwald, W.R. (Ed.), Crop residue Management Systems, American Society Agronomy, Madison, Wisconsin, 101-129.
- [4].- Swift M. J., Heal O. W., Anderson J. M., 1979.- Decomposition in terrestrial ecosystems. Studies in Ecology vol. 5, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 372p.
- [5].- Ladd J. N., Amato M., Grace P. R., Vanveen J. A., 1995.- Simulation of C-14 turnover through the microbial biomass in soils incubated with C-14-labeled plant residues. *Soil Biology and Biochemistry*, 27: 777-783.
- [6].- Heal O. W., Anderson J.M., Swift M. J., 1997.- Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: Cadisch, G., Giller, K. E. (Eds.) *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International, Wallingford, UK: 3-30.
- [7].- Van Soest P. J., 1963.- Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the A.O.A.C.*, 46: 829-835.
- [8].- Goering H. K., Van Soest P. J., 1970.- Forage Fiber Analysis. US Government Printing Office, Washington, DC Agriculture Handbook No, USDA-ARS, 379 p.
- [9].- Minderman G., 1968.- Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forest. *Journal Ecology*, 56: 355-362.
- [10].- Herman W. A., McGill W. B., Dormaar J. F., 1977.- Effects of initial chemical composition on decomposition of roots of three grass species. *Canadian Journal of Soil Science*, 57: 205-215.
- [11].- Trinsoutrot I., Recous S., Bentz B., Lineres M., Cheneby D., Nicolardot B., 2000.- Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetic under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 918-926.
<https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/64/3/918>
- [12].- Abiven S., Recous S., Reyes V., Oliver R., 2005.- Mineralisation of C and N from root, stem and leaf residues in soil and role of their biochemical quality. *Biology and Fertility of Soils*, 42: 119-128.
http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=529518

- [13].- Bertrand I., Prévot M., Chabbert B., 2009.- Soil decomposition of wheat internodes of different maturity stages: Relative impact of the soluble and structural fractions. *Bioresource Technology* doi: 10.1016/j.biortech.2008.06.019.
<http://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:50204>
- [14].- Commission de Pédologie et de Cartographie des sols (CPCS). 1967.- Classification des sols. Grignon, France, 96p. <http://www.afes.fr/referentiel-26.php>
- [15].- Association Française pour l'étude du sol R AFES, 2008.-. Référentiel Pédologique 2008. BAIZE D. and GIRARD C.M.. Ed. Quae, Paris: 432.
- [16].- Jedidi N., 1998.- Minéralisation et humification des amendements organiques dans un sol limono-argileux tunisien. Thèse Ph.D en Sciences Biologiques Appliquées à l'université de GENT, Belgique, 180p.
- [17].- Moussa M., 2007.- Estudio Edafológico de la Cuenca del Ségui (Mareth R sur de Túnez), bases para mejorar los usos del suelo; Gestion des ressources naturelles en milieu aride tunisien: Contribution à l'étude de la dynamique du milieu dans le bassin versant de l'Oued Ségui-Mareth, Sud Tunisien. Thèse PhD, Espagne, 296p.
- [18].- Chahbani B., 1990.- Contribution à l'étude de la destruction des jessours dans le Sud tunisien, in: *Revue des régions arides*, Publications de l'IRA, Médenine. N°1, 254p.
http://www.ira.agrinet.tn/fr/page.php?id=90&id_rub=28
- [19].- Carte de la Tunisie. <http://www.en-tunisie.net/situation-geographique-de-la-tunisie.html>
- [20].- Van Soest P. J., Wine R. H., 1967.- *Journal of Association of Official Agricultural Chemists*, 50-55.
- [21].- Pauwels J. M., Van Ranst E., Verloo M. and Mvondoze A., 1992.- Manuel de laboratoire de pédologie: méthodes d'analyses des sols et des plantes ; équipements, gestion des stocks de verrerie et de produits chimiques. Centre Universitaire de Dschang, AGCD, Publications agricoles-28, 265 p
- [22].- Linères M. et Djakovitch J. L., 1993.- In : *Matières organiques et agriculture*, Actes des Quatrièmes journées de l'analyse de terre (GEMAS) et Cinquième forum de la fertilisation raisonnée(COMIFER), Blois, 16-18 novembre, Paris, 178p.
- [23].- Abiven S., Menasseri S., Angers D. A., Leterme P., 2007.- Dynamics of aggregate stability and biological binding agents during decomposition of organic materials. *European Journal of Soil Science*, 58: 239-247.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2389.2006.00833.x/abstract>
- [24].- Annabi M., 2005.- Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine : relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 280p.
<https://tel.archives-ouvertes.fr/pastel-00001588/document>

- [25].-Freijer J. I., Bouten W., 1991.- A comparison of field methods of measuring CO₂ evolution:experiments and simulation. *Plant Soil*, 135: 133-142.
<http://link.springer.com/article/10.1007%2F0014786#page-1>
- [26].- Anderson J. M., Ingram J. S. I., 1993.- *Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods.* Wallingford, UK, CAB International, N°2, 221p.
- [27].- Riffaldi R., Saviozzi A., Lev-Minzi R., 1996.- Carbon mineralization kinetics as influenced by soil properties. *Biol. Fertil. Soil*, 22: 293- 298.
<http://link.springer.com/article/10.1007%2F00334572#page-1>
- [28].- Ellert B. H., Bettany J. R., 1988.- Comparison of Kinetic Models for Describing Net Sulfur and Nitrogen Mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 1692 -1702.
<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/52/6/SS0520061692>
- [29].- Merckx R., den Hartog A., van Veen J. A., 1985.- Turnover of root derived material and related microbial biomass formation in soils of different texture. *Soil Biol. Biochem.*, 17: 565 - 569.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038071785900264>
- [30].- Franzluebbbers A. J., 1999.- Potential C and N mineralization and microbial biomass from intact and increasingly disturbed soils of varying texture, *Soil Biol. Biochem.*, 31 : 1083 - 1090.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003807179900022X>
- [31].- Heal O. W., Anderson, J. M., Swift, M. J., 1997.- Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: Cadisch, G., Giller, K.E. (Eds.) *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition.* CAB International, Wallingford, UK .
- [32].- Jedidi N., Van Cleemput O. and M'Hiri A., 1993.- Mineralization of organic amendements in a Tunisian soil. In: *Soil organic Matter Dynamics and sustainability of Tropical Agriculture.* Edited by K.Mulongoy and R. Mercks, a Wiley- Sayce Co-Publication, 163- 169.
- [33].- Shi W., Norton J. M., Miller B. E., Pace M. G., 2000.- Effects of aeration and moisture during windrow composting on nitrogen fertilizer values of dairy waste composts. *Applied Soil Ecology*, 11:17-28.
- [34].- Landgraf D. and Klose S., 2002.- Mobile and readily available C and N fractions and their relationship to microbial biomass and selected enzyme activities in a sandy soil under different management systems. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165: 9-16.
[http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2624\(200202\)165:1%3C9::AID-JPLN9%3E3.0.CO;2-O/abstract;jsessionid=95A30BF11DAA182FBE2DF5A20EF24783.f01t01](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2624(200202)165:1%3C9::AID-JPLN9%3E3.0.CO;2-O/abstract;jsessionid=95A30BF11DAA182FBE2DF5A20EF24783.f01t01)
- [35].- Han K. H., Choi W., Han J., Yun G. H., Yoo S. I., and RO S. H., 2004.- Urea-Nitrogen transformation and compost nitrogen mineralization in three different soils as affected by the interaction between both nitrogen inputs. *Biology and Fertility of*

- soils, 39: 193-199.
<http://link.springer.com/article/10.1007/s00374-003-0704-4#page-1>
- [36].- Swift M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M., 1979.- Decomposition in terrestrial ecosystems. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 372p.
https://books.google.tn/books?hl=fr&lr=&id=hSWMkhdSfPAC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Swift,+M.J.,+Heal,+O.W.,+Anderson,+J.M.,+1979.+Decomposition+in+terrestrial+ecosystems.+Blackwell+Scientific+Publications,+Oxford.&ots=Ki9nALLZ2&sig=cneO3H1u33M4PgnMqYEzd114UEQ&redir_esc=y#v=onepage&q=Swift%2C%20M.J.%2C%20Heal%2C%20O.W.%2C%20Anderson%2C%20J.M.%2C%201979.%20Decomposition%20in%20terrestrial%20ecosystems.%20Blackwell%20Scientific%20Publications%2C%20Oxford.&f=false
- [37].- Singh, B. and Malhi, S.S., 2006.- Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. *Soil and Tillage Research*, 85: 143-153.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719870500019X>
- [38].- Bahri H., Marie F.D., Cornelia R., Daniel P.R., Chenu C., André M., 2006.- Lignin turnover kinetics in an agricultural soil is monomer specific. *Soil Biol. Biochem.*, 38, 1977-1988.
http://www.researchgate.net/profile/Cornelia_Rumpel/publication/223745702_Lignin_turnover_kinetics_in_an_agricultural_soil_is_monomer_specific/links/549d65830cf2d6581ab63b2d.pdf
- [39].- Oades J. M., 1988.- The retention of organic matter in soils, *Biogeochemistry*, 5 : 35 – 70. <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02180317#page-1>
- [40].- Van Veen J. A., Kuikman P. J., 1990.- Soil structural aspects of decomposition of organic matter by microorganisms, *Biogeochemistry*, 11 : 213 - 233.
<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00004497#page-1>
- [41].- Christensen B.T., 1988.- Effects of animal manure and mineral fertilizer on the total carbon and nitrogen contents of soil size fractions. *Biol. Fertil. Soils*, 5: 304 - 307.
<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00262136#page-1>
- [42].- Sorenson J., 1978.- Capacity of denitrification and reduction of nitrate to ammonium on coastal marine sediment. *Appl. Environ. Microbiol.* 35: 301-305.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC242830/>
- [43].- Feller C., François C., Villemin, G., Portal, J.M., Toutain, F., Morel, J.L., 1991.- Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 312: 1491-1497.
http://www.researchgate.net/publication/230766417_Nature_des_matières_organiques_associes_aux_fractions_argileuses_dun_sol_ferrallitique
- [44].- Ladd J. N., Foster R. C., Skjemstad, J. O., 1993.- Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. *Geoderma*, 56: 401-434.
<https://books.google.tn/books?id=wzrLBAAAQBAJ&pg=PA401&lpg=PA401&dq=Ladd,+J.+N.,+Foster,+R.+C.,+Skjemstad,+J.+O.,+1993.+Soil+structure:+carbon+an>

[d+nitrogen+metabolism.+Geoderma,+56:+401434.&source=bl&ots=cErB1u9BWp&sig=DZRkrT9gSbc3y4NEolAtyTm1Qhg&hl=fr&sa=X&ei=8r5xVejqIuX5yQPSv4DQDA&redir_esc=y#v=onepage&q=Ladd%2C%20J.%20N.%2C%20Foster%2C%20R.%20C.%2C%20Skjemstad%2C%20J.%20O.%2C%201993.%20Soil%20structure%20and%20nitrogen%20metabolism.%20Geoderma%2C%2056%3A%20401-434.&f=false](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.04.001)

- [45].- Mathieu D. D., Pascal K. T. A., Justin Y. K., 2011.- Décomposition des broyats de coques de cacao dans les sols ferrallitiques de la zone d'Oumé, centre-ouest de la Côte d'Ivoire : effets sur les caractéristiques chimiques des sols. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 15: 109-117.
<http://popups.ulg.ac.be/1780-4507/index.php?id=7041&format=print>
- [46].- James P. M. and Korand H., 1996.- Influence of mineral colloids on turnover rates of soil organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am.*, 17: 283-302.
- [47].- Saggarr S., Parshotam A., Hedley C. & Salt G., 1999.- ¹⁴C-labelled glucose turnover in New Zealand soils. *Soil Biol. Biochem.*, 31: 2025-2037.
- [48].- Kachaka S. K., 1993.- Decomposition and N-Mineralization of prunings of various quality and age. Ph D. Thesis, K. U. Leuven, 117 p.
- [49].- Chenu C. Plante A. F. and Puget P., 2002.- Organo-mineral relationships. In: *Encyclopedia of soil science*. Marcel Dekker, New York, USA: 1-6.
http://www.srcosmos.gr/srcosmos/generic_pinakas.aspx?pinakas=references&pub_id=12755&aa=12755
- [50].- Serra-Wittling C. 1995.- Valorisation de composts d'ordures ménagères en protection des cultures: Influence de l'apport de composts sur le développement des maladies d'origine tellurique et le comportement de pesticides dans un sol. Thèse de doctorat, INA-PG, France, 220p.
- [51].- Tejada M. and Gonzalez J. L., 2002.- Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. *Eur. J. Agron.*, 1, 1-12.
- [52].- Barry Y., 2006.- La transformation des apports organiques dans le sol (modèle TAO) : cas des apports riches en azote. Master Recherche CGSE : Université Henri Poincaré UHP, INLP, Nancy France.
- [53].- Jenkinson D. S., 1977.- Studies on the decomposition of plant material in soil. IV. The effect of rate of addition. *J. Soil Sci.*, 28: 417-423.
- [54].- Parnaudeau V, 2005.- Caractéristiques biochimiques de produits organiques résiduels, prédiction et modélisation de leur minéralisation dans les sols. Thèse de doctorat ENSA-Rennes, 58 p + annexes.
<https://www6.rennes.inra.fr/umrsas/A-votre-service/Annuaire/PARNAUDEAU-Virginie>
- [55].- Le Guillou C., 2011.- Effets combinés de la qualité des résidus de culture et de la disponibilité en azote minéral sur la stabilisation de la structure du sol par les

Microorganismes. Thèse de doctorat/Agrocampus Ouest, Université Européenne de Bretagne, France, 125p.

<file:///C:/Users/DeLL/Downloads/Th%C3%A8seCLeguillou2011.pdf>

- [56].- Bertrand I., Chabbert B., Kurek B., Recous S., 2006.- Can the biochemical features and histology of wheat residues explain their decomposition in soil? *Plant and Soil*, 28: 291-307. <http://iuss.org/19th%20WCSS/Symposium/pdf/0267.pdf>
- [57].- Adair E. C., Parton W. J., Del Grosso S. J., Silver W.L., Harmon, M.E., Hall, S.A., Burke, I.C., Hart, S.C., 2008.- Simple three-pool model accurately describes patterns of longterm litter decomposition in diverse climates. *Global Change Biology*, 14: 2636-3660.
- [58].- Helfrich M., Ludwig B., Potthoff M., Flessa H., 2008.- Effect of litter quality and soil fungi on macroaggregate dynamics and associated partitioning of litter carbon and nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 1823-1835.
http://pubag.nal.usda.gov/pubag/article.xhtml?id=732076&searchText=subject_term%3A%22ergosterol%22

EFFET DU STRESS SALIN SUR LA TENEUR EN EAU ET CERTAINS OSMOLYTES CHEZ LE BLE DUR *Triticum durum* var KEBIR PULVERISE PAR UNE PHYTOHORMONE SYNTHETISEE: BENZYL-AMINO-PURINE (BAP)

DJAHRA Ali Boutlelis¹, BENMAKHOLOUF Zoubida², BENKHERARA Salah¹,
BENKADDOUR Mounia¹, BORDJIBA Ouahiba¹

⁽¹⁾Laboratoire de Biologie Végétale et Environnement, Département de Biologie
Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie

⁽²⁾Laboratoire de Physiologie Végétale, Département de Biologie
Université Mentouri, Constatantine, Algérie

E-mail: djahra_ab@yahoo.fr

Résumé.- Le présent travail a pour objectif d'étudier l'influence du stress salin du sol par différentes concentrations de NaCl (0, 10, 15 g/l) sur la teneur en eau et certains osmolytes du blé dur *Triticum durum* var *Kebir* au stade de croissance, et de réduire son effet en pulvérisant la BAP (Phytohormone synthétisée: Benzyl –amino –purine) avec des concentrations de l'ordre de 10, 20, 30 mg/l. Les résultats obtenus montrent que la BAP utilisée a pu influencer positivement sur la teneur en eau des plantes stressés lorsqu'elles sont pulvérisées par les concentrations 20 et 30 mg/l. De même, une augmentation est observée des différents teneurs en sucres solubles et en chlorophylles a et b et plus particulièrement sous l'effet de la concentration 10 mg/l de BAP utilisée. Les valeurs enregistrées montrent que la salinité a influé sur la concentration ou taux de proline au niveaux des plantes traitées ou non par la BAP.

Mots clés: Stress salin, *Triticum durum* var *Kebir*, phytohormones, benzyl-amino-purine.

EFFECT OF SALT STRESS ON THE WATER CONTENT AND SOME OSMOLYTES OF THE DURUM WHEAT *Triticum durum* Var *KEBIR* SPRAYING BY PHYTOHORMONE SYNTHESIZED: BENZYL-AMINO-PURINE (BAP)

Abstract.- This work aims to study the influence of salt stress of the soil by different concentrations of NaCl (0, 10, 15 g / l) on the water content and some osmolytes of the durum wheat *Triticum durum* var *KEBIR* at growth stage and to reduce its effect by spraying the BAP (Phytohormone synthesized: Benzyl amino purine) with concentrations of about 10, 20, 30 mg / l. The results obtained show that the BAP used positively affects on the water content of stressed plants when they are sprayed with the concentrations 20 and 30 mg / l. Similarly, an increase is observed in different contents of soluble sugars, chlorophylls a and b particularly under the effect of the concentration 10 mg / l of BAP. On the other hand, the recorded values showed that the salinity has perfectly affected the concentration or rate of proline on the levels of the plants whether treated by the BAP or not.

Key words: Salt Stress, *Triticum durum* var *Kebir*, phytohormones, benzyl-amino-purine.

Introduction

Les changements climatiques deviennent de plus en plus contraignants pour la croissance et le développement des plantes notamment dans les zones arides et semi-arides [1]. Ces écosystèmes sont caractérisés par une forte irrégularité des précipitations [2,3] associé à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol [4]. Ce

phénomène affecte près de 7% de la surface globale dans le monde [5]. L'Algérie se situe parmi les pays touchés, presque 3,2 millions d'hectares de la surface sont salins [6].

Dans ces zones, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitatifs de la productivité végétale et du rendement agricole [7]. Sous cette condition, la physiologie des espèces végétales est perturbée [8]. La réponse au sel des espèces dépend de l'espèce lui-même, de sa variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement [9].

De ce fait, ces changements imposent la réflexion sur les stratégies à entreprendre pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes afin de s'adapter aux nouvelles conditions de l'environnement et de maintenir leur croissance et leur productivité [10].

D'après plusieurs études, il est connu qu'à fin de limiter les effets de la sécheresse liée à la salinisation du sol, le végétal accumule des composés organiques, tels les sucres solubles [11] et la proline [12] qui est considérée comme "élément osmorégulateur" [13-14]. L'accumulation de cet acide aminé est suggérée comme indice de résistance non seulement au stress salin mais également au stress hydrique [15,16].

L'utilité des traitements par des régulateurs de croissance, l'un des méthodes utilisées pour soulager l'effet négatif du stress salin, a été montrée plutôt bien. Citons les travaux de NEMAT et *al* (2001) et YOUNIS et *al* (2003) sur la Kinétin (hormone régulatrice de croissance) qui a été trouvée pour atténuer les effets néfastes de la salinité sur l'activité photosynthétique et teneur en glucides de *Vigna sinensis* et *Zea mays* en plus de restaurer les niveaux d'hormones internes [17,18]. Cette hormone a pu également améliorer l'état des eaux avec une diminution de fuite d'électrolyte et de la toxicité des ions dans le Maïs [19] et une augmentation de chlorophylle totale, de la teneur en protéines, ainsi que le rendement des feuilles de Mûrier [20] sous stress salin.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés par l'étude de l'effet de stress salin par des concentrations croissantes de NaCl sur la teneur en eau et quelques osmolytes du blé dur *Triticum durum* var Kebir en pulvérisant sa partie foliaire par une phytohormone de régulation de croissance: la BAP.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Matériel utilisé

1.1.1.- Matériel végétal

L'expérimentation est menée sur des graines de blé dur *Triticum durum* var Kebir fournies par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Lekhroub - Constantine (Algérie).

1.1.2.- Matériel pédologique

Les échantillons du sol ont été prélevés à partir d'un champ de culture au niveau de la région de Constantine (Nord-est Algérien).

1.1.3.- Phytohormones

La phytohormone utilisée est la BAP (Benzylaminopurine ou la kinétin synthétisée, phytohormone de la famille des Cytokinines) avec des concentrations (10, 20, 30 mg/l). Les concentrations sont obtenues par dissolution de 10, 20 et 30 mg de BAP dans 1 ml d'éthanol puis réajustement des volumes jusqu'au 1000 ml d'eau distillée.

1.2.- Dispositif expérimental

Après désinfection à l'hypochlorite de sodium (0,5%) pendant 15 mn, les graines sont rincées abondamment à l'eau distillée, puis mises à germer dans des boîtes de Pétri sur papier filtre imbibé d'eau distillée (20 graines par boîte). Les boîtes sont placées à l'obscurité dans un germoir où la température était fixée à 20°C. Suite à l'émergence de la radicule, il est procédé à un repiquage dans des pots en plastique pleins du sol (Surface = 15 x 15 cm², Hauteur = 11 cm). Chaque pot contient 16 plantules. L'essai est conduit en conditions contrôlées dans une serre à une température de 17 à 40°C et une humidité relative de 65 à 90 %.

Le dispositif aléatoire comporte quatre lots, chacun est constitué de trois pots traités par 0, 10 et 15 g/l de NaCl respectivement. Le traitement salin a été effectué sur les quatre répétitions du même pot. A l'exception du témoin, les trois autres lots sont pulvérisés respectivement par les trois concentrations 10, 20 et 30 mg/l de BAP [21].

L'état hydrique des pots est maintenu au tiers de la capacité au champ (100 ml d'eau distillée) pendant deux semaines. Après avoir sélectionné 12 plantules de chaque pot, une irrigation est effectuée avec des solutions de NaCl (300 ml) à partir de la troisième semaine. Du début de l'essai au stade 3-4 feuilles, les blocs sont pulvérisés avec le BAP (parties aériennes). Deux semaines plus tard, ces blocs sont pulvérisés pour une deuxième fois. Les mesures sont effectuées 15 semaines dès le semis [22-23].

1.3.- Méthodes suivies

1.3.1.- Paramètres physico-chimiques du sol

Les analyses physico-chimiques du sol sont réalisées selon les méthodes de BONNEAU et SOUCHIER (1994) [24].

1.3.2.- Teneur relative en eau (TRE)

La méthode utilisée est celle de CLARCKE et CAIG (1982) [25], selon la formule suivante:

$$TRE (\%) = \left[\frac{Pfi - Ps}{Ppt - Ps} \right] \times 100 \quad (1)$$

Pfi: Poids frais initial (g), déterminé immédiatement après prélèvement des feuilles,

Ppt: Poids de pleine turgescence (g) obtenu après 24 heures de trempage des feuilles dans l'eau à l'obscurité,

Ps: Poids sec (g) déterminé après séchage des feuilles à l'étuve à 80°C pendant 24 heures.

1.3.3.- Dosage des sucres solubles

En utilisant le phénol-acide sulfurique selon la méthode de DUBOIS et *al* (1956) [26]. La densité optique est lue à 485 nm au spectrophotomètre.

1.3.4.- Dosage de la proline

Le dosage de la proline est fait par la méthode de TROLL et LINDSLEY (1955) [27] améliorée par LAHRER et MAGNE cité par LEPORT (1992) [28]. L'échantillon végétal est traité par le méthanol à 40% puis chauffé au bain marie à 85°C pendant 1 heure. Ensuite, 1 ml d'extrait ajouté dans un mélange d'eau distillée, d'acide acétique et de ninhydrine. La densité optique est lue à 528 nm au spectrophotomètre.

2.3.5.- Dosage de chlorophylle

Le dosage de la chlorophylle est réalisé par la méthode de VERNON et SEELY (1966) [29] améliorée par HEGAZI et *al* (1998) [30]. L'échantillon végétal est traité par un mélange de 75 % de l'acétone et 25% de l'éthanol. La densité optique est lue à 622 nm pour la chlorophylle (b) et 644 nm pour la chlorophylle (a).

1.3.6.- Analyse statistique

La méthode de l'analyse de la variance à deux facteurs (ANOVA) est employée pour l'évaluation de l'influence du stress salin du sol par différentes concentrations de NaCl, et de la concentration de BAP utilisée sur les différents paramètres analysés. Cette analyse est réalisée selon le test de student ($P < 0.05$).

2.- Résultats

2.1.- Paramètres physico-chimiques du sol

Au vu des résultats obtenus (tab. I), le sol analysé semble être non salin, de texture argileuse avec un pH alcalin de l'ordre de 7,8. Un taux élevé de matière organique (MO) et de calcaire total. En plus, les quantités de carbonates (CO_3^-) et bicarbonates (HCO_3^-) sont très faibles. Elles sont respectivement de l'ordre de 0 méq/l, 2 méq/l ce qui confirme les résultats de la conductivité électrique CE.

Tableau I.- Analyse des paramètres physico-chimiques du sol

HCO_3^- (méq/l)	CO_3^- (méq/l)	MO (%)	pH	CEC (méq/g)	CE 25°C (MS/cm)	Calcaire total (%)	Calcaire actif (%)
2	-	2,38	7,8	0,135	1,38	17	9,5
Gros sable (%)	Sable fin (%)	Limon (%)	Argile (%)	Texture			
7,37	5,33	20	67	Argileuse			

2.2.- Résultats des mesures effectuées

Des résultats du tableau. II, il ressort que le degré de la salinité du sol (concentrations du NaCl) influe négativement sur la qualité des différents paramètres

étudiés durant la période de croissance de l'espèce en question. Par ailleurs, l'effet positif de la phytohormone utilisée est parfaitement observé tout au long de la période de l'expérimentation et en particulier lors du dosage des sucres solubles (2,525 mg/g) et de la chlorophylle a (1,187 mg/g MF) quand la concentration de BAP est de l'ordre de 10 mg/l.

Tableau II.- Analyse des paramètres étudiés

	Salinité	Concentration de NaCl (g/l)		
	Hormone	0	10	15
Sucres	10	2,269 ± 0,293	1,521 ± 0,539	1,738 ± 0,088
	20	3,762 ± 0,246	1,154 ± 0,444	1,482 ± 0,628
	30	1,473 ± 0,006	1,097 ± 0,293	1,868 ± 0,812
	Témoin	1,661 ± 0,026	1,767 ± 0,246	2,197 ± 0,621
Proline	10	151,9 ± 65,76	222,58 ± 113,1	267,84 ± 17,4
	20	85,56 ± 10,521	200,56 ± 97,35	116,9 ± 33,76
	30	157,17 ± 34,63	97,34 ± 18,413	87,42 ± 0,876
	Témoin	263,50 ± 18,413	172,98 ± 48,224	130,51 ± 35,510
Chlorophylle (a)	10	1,05 ± 0,049	1,050 ± 0,254	1,061 ± 0,08
	20	1,141 ± 0,161	0,878 ± 0,171	0,938 ± 0,033
	30	1,371 ± 0,678	0,935 ± 0,04	0,967 ± 0,012
	Témoin	1,171 ± 0,028	0,958 ± 0,073	0,982 ± 0,028
Chlorophylle (b)	10	4,907 ± 0,068	1,05 ± 0,06	4,501 ± 0,06
	20	4,4 ± 0,226	3,393 ± 0,002	4,196 ± 0,094
	30	3,874 ± 0,008	4,032 ± 0,053	4,165 ± 0,394
	Témoin	4,399 ± 0,01	4,317 ± 0,086	3,869 ± 0,062
Teneur en eau	10	46,825 ± 36,361	58,175 ± 21,89	61,76 ± 19,99
	20	67,45 ± 40,103	83,387 ± 20,23	83,705 ± 6,7
	30	95,95 ± 73,968	82,32 ± 21,24	78,90 ± 24,381
	Témoin	45,712 ± 14,72	70,817 ± 9,519	69,161 ± 18,905

La teneur en eau (fig. 1) des feuilles de l'espèce *Triticum durum* var Kebir, il a été observé qu'il y a une relation non significative ($r = 0,234$ NS) entre la concentration du NaCl utilisé et la dose de phytohormone pulvérisée. Ces résultats démontrent que la phytohormone agit de façon plus ou moins faible sur la teneur en eau qui s'augmente peu à peu. En effet, l'absorption de l'eau est maintenue à un niveau suffisant pour éviter la déshydratation des tissus de la plante et pour établir le phénomène de succulence et pouvoir diluer le plus d'osmolytes possibles.

L'accumulation de proline (fig. 2) est négativement corrélée avec la salinité. Même en présence de la BAP, cette espèce n'a pas pu accumuler de plus grande quantité en proline qui peut lui permettre une forte résistance à la salinité. Cependant, une relation non significative est obtenue entre l'effet de cette phytohormone et de la concentration de sel utilisé ($r = 2,584$ NS).

Quant aux sucres solubles (fig. 3), une forte corrélation est enregistrée entre la concentration de NaCl dans le sol utilisé et la dose de BAP pulvérisée avec $r = 7.391^{**}$. De

même pour la chlorophylle (b) (fig. 5), une corrélation très hautement significative est enregistrée ($r = 134,622^{***}$). Contrairement, la phytohormone BAP n'a montré aucune corrélation significative ($r = 0,812$ NS) avec les concentrations de NaCl utilisé à l'exception de la concentration 10 mg/l de BAP où le taux de chlorophylle a est très élevé (fig. 4).

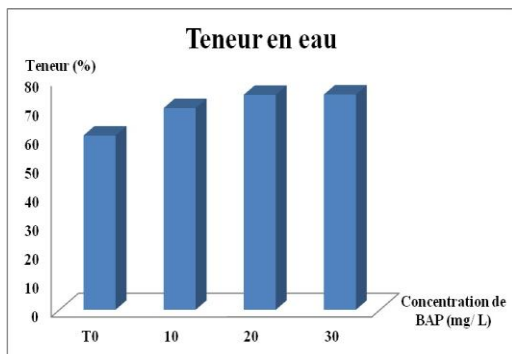


Figure 1.- Effet du stress salin sur la teneur en eau après pulvérisation par la BAP

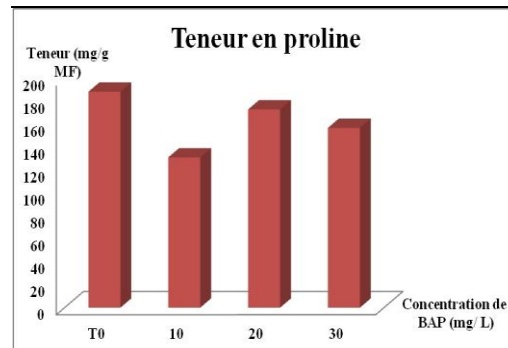


Figure 2.- Effet du stress salin sur la teneur en proline après pulvérisation par la BAP

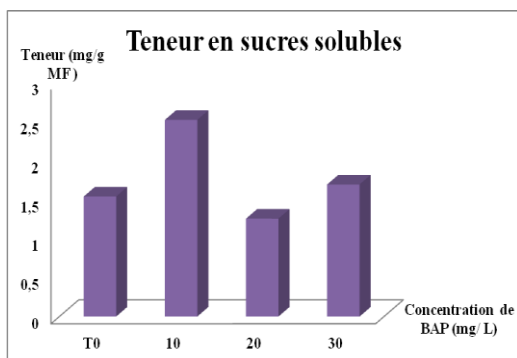


Figure 3.- Effet du stress salin sur la teneur en sucres solubles après pulvérisation par la BAP

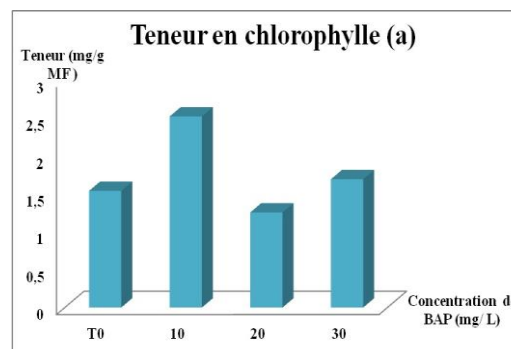


Figure 4.- effet du stress salin sur la teneur chlorophylle (a) après pulvérisation par la BAP

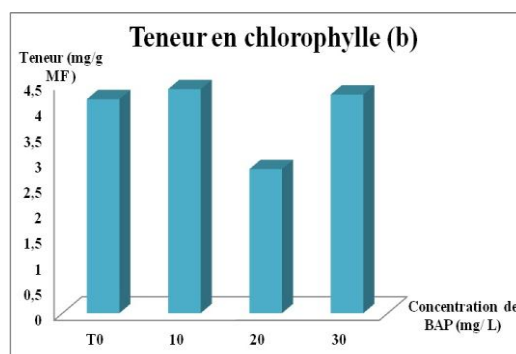


Figure 5.- Effet du stress salin sur la teneur en chlorophylle (b) après pulvérisation par la BAP

3.- Discussion

Le comportement de l'espèce *Triticum durum* var Kebir face au stress salin provoqué par les concentrations croissantes de NaCl, est déterminé par l'évaluation de la teneur en eau et certains osmolytes.

Les résultats obtenus ont montré que la teneur relative des feuilles en eau est le meilleur paramètre indiquant l'état hydrique de la plante. Elle augmente légèrement chez les plantes stressées sous l'effet de la salinité. Cela est observé particulièrement quand le matériel végétal est soumis aux concentrations de BAP de l'ordre de 20 et 30 mg/l et qui semble être un comportement de « résistance » aux stress salin. Ces résultats démontrent que la BAP a influé positivement sur la capacité d'absorption de l'eau qui est maintenue à un niveau suffisant pour éviter la déshydratation des tissus de la plante et établir le phénomène de succulence et pouvoir diluer le plus d'osmolytes possibles [31].

Si l'accumulation d'ions minéraux joue un rôle essentiel dans la régulation osmotique au niveau de la vacuole, l'accumulation de composés organiques est par contre intervient principalement dans l'ajustement de la pression osmotique cytoplasme-vacuole [32].

L'augmentation de la teneur en proline, induite par le stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse [33,34], inhibition de son oxydation [32,35] et/ou altération de la biosynthèse des protéines [32]. D'après les résultats de la teneur en proline, nous pouvons déduire que l'accumulation de la proline est négativement corrélée avec le degré de la salinité. Par comparaison avec les travaux D'EL JAAFARI (1993) [36] où il a été mentionné qu'il y a une accumulation de proline chez trois variétés de blé soumises à des concentrations accentuées de salinité, nos résultats sont complètement différentes car les plantes sont pulvérisées par une phytohormone régulatrice de croissance: la BAP. RAJASKARAN et al (2000) [37] ont montré que l'augmentation des teneurs de la solution d'irrigation en sel est accompagnée parallèlement par une augmentation croissante et relativement régulière de proline.

Les dosages des sucres solubles effectués mettent en évidence de fortes différences dans l'accumulation entre les plantes selon la concentration de BAP : pour le traitement 10 mg/l par exemple où l'effet positif de la BAP est parfaitement observé, l'accumulation des sucres est de l'ordre de 2,552 g/l MF. Ils révèlent aussi d'importantes différences entre plantes stressées et confirment bien la relation étroite qui existe entre la tolérance à la salinité et l'accumulation des sucres solubles [38-39].

L'analyse de la teneur en chlorophylle (a) montre qu'elle est moins sensible au stress salin que la teneur en chlorophylle (b). D'une façon générale, il est constaté que la teneur en chlorophylle diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress salin conformément à ce que plusieurs auteurs ont démontré [40,41,42]. Par ailleurs, certaines accessions naturellement riches en chlorophylle perdent plus facilement leur chlorophylle que les accessions naturellement pauvres [43].

Conclusion

Cette étude fait ressortir que le stress salin exerce un effet dépressif sur tous les paramètres physiologiques et métaboliques étudiés durant la croissance du blé dur *Triticum durum* var Kebir. Cependant il ne les affecte pas de la même manière. Le degré d'affection dépend de l'intensité du stress salin et de la concentration de phytohormone utilisée.

La phytohormone utilisée a influé positivement sur la teneur en eau des plantes stressées lorsqu'elles sont soumises à une pulvérisation par les concentrations 20 et 30

mg/l. De même, une augmentation des teneurs en sucres solubles et, en chlorophylles (a) et (b), est enregistrée. En plus, les valeurs enregistrées montrent que la salinité a pu influencer sur l'accumulation de la proline dans les plantes que ce soit pulvérisées ou non par le BAP.

Enfin, il est intéressant de signaler l'importance des phytohormones de régulation de croissance pour l'amélioration des caractéristiques de résistance des plantes vis-à-vis des facteurs édapho-climatiques défavorables notamment celui du stress salin.

Références bibliographiques

- [1].- Higazy M., Shehata M., Allam A., 1995.- Free proline relation to salinity of three sugar beet varieties. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 73: 175-89.
- [2].- Mnif L., Chaieb M., 2004.- Efficacité comparée de l'utilisation de l'eau de pluie en milieu aride par quatre populations d'une Poaceae pérenne. *Revue des Régions Arides*, 1: 252-257.
- [3].- Rezgui M., Bizid E., Ben Mechlia N., 2004.- Etude de la sensibilité au déficit hydrique chez quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en conditions pluviales et irriguées en Tunisie. *Revue des Régions Arides*, 1: 258-265.
- [4].- Hayek T., Abdelly C., 2004.- Effets de la salinité sur l'état hydrique foliaire, la conductance stomatique, la transpiration et le rendement en grains chez 3 populations de mil (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.). *Revue des Régions Arides*, 1: 273-284.
- [5].- Munns R., 2002.- Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*, 25: 239-250.
- [6].- Hamdy A., 1999.- Saline irrigation and management for a sustainable use. In: *Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding*, Agadir: 152-227.
- [7].- Baatour O., M'rah S., Ben Brahim N., Boulesnem F., Lachaal M., 2004.- Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. *Revue des Régions Arides*, 1: 346-358.
- [8].- Cramer G.R., Epstein E., Lauchli A., 1988.- Kinetic of root elongation of maize in response to short term exposure to NaCl and elevated Ca concentration. *Journal of Experimental Botany*, 39: 1513-1522.
- [9].- Mallek E., 1989.- Influence de la salinité sur certains aspects physiologiques et métaboliques de la tolérance au sel de tomates sensibles et résistantes. Thèse de doctorat en UFR de biologie, Paris: 5-120.
- [10].- Belkhodja M., Bidai Y., 2004.- Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus* L. sous stress salin. *Revue Sécheresse*, 15: 331-335.
- [11].- Lessani H., 1969.- Recherche sur le comportement physiologique de la luzerne en présence de NaCl . Etude de quelques aspects de la nutrition minérale et du métabolisme respiratoire. Thèse Doctorat Science, Paris, 152 p.
- [12].- Stewart G. R., Lee J. A., 1974.- The role of proline accumulation in halophytes. *Planta journal*, 120: 279-289.

- [13].- El-Haddad E. H. M., O'leary J.W., 1994.- Effect of salinity and K^+Na^+ ratio of irrigation water on growth and solute content of *Atriplex amnicola* and *Sorghum bicolor*. Irrigation Science, 14: 127-133.
- [14].- Ullah S. M., Soja G., Gerzabek M. H., 1993.- Ion uptake, osmoregulation and plant-water relations in faba beans (*Vicia faba* L.) under salt stress. Die Bodenkultur, 44: 291-301.
- [15].- Monneveux P., Nemmar M., 1986.- Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie, 6: 583-590.
- [16].- Dib A. T., Monneveux P., Araus J. L., 1992.- Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation. Agronomie, 12: 381-393.
- [17].- Nemat Alla M. M., Younis M. E., El-Shihaby O. A., El-Bastawisy Z. M., 2001.- Effect of Kinetin on Photosynthetic Activity and Carbohydrate Content in Waterlogged or Seawater Treated *Vigna sinensis* and *Zea mays*. Journal of Biological Sciences, 1: 918-924.
- [18].- Younis M. E., El-Shahaby O. A., Nemat Alla M. M., El-Bastawisy Z. M., 2003.- Kinetin Alleviates the Influence of Waterlogging and Salinity on Growth and Affects the Production of Plant Regulators in *Vigna sinensis* and *Zea mays*. Agronomie, 23: 277-285.
- [19].- Kaya C., Tuna A. L., Dikilitas M., Cullu M. A., 2010.- Responses of Some Enzymes and Key Growth Parameters of Salt-Stressed Maize Plants to Foliar and Seed Applications of Kinetin and Indole Acetic Acid. Journal of Plant Nutrition, 33: 405-422.
- [20].- Das C., Sengupta T., Chattopadhyay S., Setua M., Das N. K., Saratchandra B., 2002.- Involvement of Kinetin and Spermidine in Controlling Salinity Stress in Mulberry (*Morus alba* L. cv. S1). Acta Physiologiae Plantarum, 24: 53-57.
- [21].- Kabar K., Baltepe S., 1990.- Effects of Kinetin and Gibberellic acid in Overcoming High Temperature and Salinity (NaCl) Stresses on the Germination of Barley and Lettuce Seeds. phytion annales rei botanicae horn (austria), 30: 65-74.
- [22].-Azmi A.R., Alam S.M., 1990.- Effect of salt stress on germination, growth, leaf anatomy and mineral element composition of wheat cultivars. Acta Physiologiae Plantarum, 12: 215-224.
- [23].- Botella M., Cerda A., Lips S., 1993.- Dry matter production, yield, and allocation of carbon-14 assimilates by wheat as affected by nitrogen source and salinity. Agronomy journal, 85: 1044-1049.
- [24].- Bonneau M., Souchier B., 1994.- Pédologie : Constituants et Propriétés du sol. Paris, Ed. Masson, 459 p.

- [25].- Clarcke J., Caig T. M., 1982.- Excised leaf water retention capability as an indicator of drought résistance of *Triticum* genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 62: 571-578.
- [26].- Dubois M., Gilles K., Hamilton J., Rebers P., Smith F., 1956.- Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356.
- [27].- Troll W., Lindsley J., 1955.- A photometric method for the determination of proline. *The Journal of Biochemistry*, 215: 655-660.
- [28].- Leport L., 1992.- Accumulation de proline associée aux contraintes environnementales et à la floraison chez le colza (*Brassica napus* L.). Thèse doctorat D'état, Rennes, 156 p.
- [29].- Vernon L. P., Seely G. R., 1966.- The chlorophylls. Academic Press, New York, 79-80.
- [30].- Hegazi A., Abou-Bakr Z., Naim M., Khalfallah A., 1998.- Effect of some antitranspirants on growth and some metabolic products of wheat plants under water interval irrigation systems. *The Desert Institute Bulletin* 48: 153-171.
- [31].- Benaceur M., Rahmoun C., Sdiri H., Medahi M., Selmi M., 2001.- Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production de grains de blé. *Revue Sécheresse*, 12: 167-174.
- [32].- Stewart R. W., Hameed S., Pinto J. P., 1977.- Photochemistry of tropospheric ozone. *Journal of Geophysical Research*, 82: 3134-3140.
- [33].- Morris C. J., Thompson J F., Johnson C. M., 1969.- Metabolism of Glutamic Acid and N-Acetylglutamic Acid in Leaf Discs and Cell-free Extracts of Higher Plants. *Journal of Plant Physiology*, 44: 1023-1026.
- [34].- Boggess S. F., Aspinall D., Paleg L. G., 1976.- Stress metabolism. IX. The significance of end-product inhibition of proline biosynthesis and of compartmentation in relation to stress-induced proline accumulation. *Australian Journal of Plant Physiology*, 3: 513-525.
- [35].- Rayapati P. J., Stewart C. R., Hack E., 1991.- Pyrroline-5-carboxylate reductase is in pea (*Pisum sativum* L.) leaf chloroplasts. *Journal of Plant Physiology*, 91: 581-586.
- [36].- El Jaafari S., 1993.- Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux: 3-34.
- [37].- Rajaskaran L. R., Aspinall D., Paleg L. G., 2000.- Physiological mechanism of tolerance of *Lycopersicum* spp. Exposed to salt stress. *Canadian Journal of Plant Science*, 80: 151-152.

- [38].- Morant-Manceau A., Pradier E., Tremblin G., 2004.- Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 161: 25-33.
- [39].- Navarro A.R., Rubio F., 2006.- High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. *Journal of Experimental Botany*, 57: 1149-1160.
- [40].- Chen C. T., Li C. C., Kao C. H., 1991.- Senescence of rice leaves. XXXI changes of chlorophyll, protein and polyamine contents and ethlene production during senescence of a chlorophyll-deficient mutant. *Journal of Plant Growth Regulation*, 10: 201-205.
- [41].- Glemen M., Smith F. A., 1993.- Gas exchange and chlorophyll content of “Trif blue” rabbitey and “Sharp blue” southern highbush. Bluberry exposed to salinity and supplemental calcium. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2: 749-756.
- [42].- Walker R. R., Sedgley M., Blesing M. A., Dauglas T. J., 1984.- Anatomy, ultrastructure and assimilate concentrations of roots of citrus genotypes in ability for salt exclusion. *Journal of Experimental Botany*, 159: 1481-1494.
- [43].- Cheikh M’hamed H., Abdellaoui R., Kadri K., Ben naceur M., Bel hadj S., 2008.- Evaluation de la tolerance au stress salin de quelques accessions D’orge (*Hordium vulgare* L.) Cultivees en tunisie. *Sciences & Technologie*, 28: 30-37.

***Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*: EFFETS DU MILIEU DE CULTURE SUR LA CROISSANCE MYCELIENNE, LA SPORULATION ET LA PRODUCTION DE L'ACIDE FUSARIQUE**

MECHTA Narimane, AZOUAOU-AIT KETTOUT Tassadit et RAHMANIA Fatma
Laboratoire de Recherche sur les Zones Arides, Faculté des Sciences Biologiques Université de Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), Alger, Algérie
E-mail: [mechta.n87@gmail.com/](mailto:mechta.n87@gmail.com)

Résumé.- La maladie du bayoud, ou fusariose du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est causée par un champignon tellurique *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Killian et Maire) Gordon (F.o.a.). L'acide fusarique (AF) produit par F.o.a. pourrait jouer un rôle important dans la pathogénèse. L'objectif du présent travail est d'étudier l'effet du milieu de culture sur la croissance mycélienne, la sporulation et la production de l'acide fusarique par ce pathogène. Quatre milieux à savoir: Pomme de terre Dextrose Agar (PDA), Czapeck-Dox Agar (CDA), Czapeck-Glucose Agar (CGA) et Richard's Agar (RA) ont été testés. Les résultats obtenus montrent que F.o.a. se développe mieux sur le milieu CGA; la sporulation, suivie du 2^{ème} au 28^{ème} jour, est favorisée par le milieu PDL. Le taux d'acide fusarique produit par F.o.a. est sensiblement identique 10 jours après son développement sur les milieux testés. Cependant, à partir du 20^{ème} jour de l'expérimentation, le CGL s'avère plus favorable à la synthèse d'AF, alors que le milieu PDL ne stimule la production de cette toxine qu'au 30^{ème} jour.

Mots clés: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, milieu de culture, croissance mycélienne, sporulation, acide fusarique.

***Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*: EFFECTS OF THE CULTURE MEDIUM ON THE MYCELIAL GROWTH, THE SPORULATION AND THE FUSARIC ACID PRODUCTION**

Abstract.- Bayoud disease or fusariose of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is caused by the soil fungi *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Killian and Maire) Gordon (F.o.a.). Fusaric acid (FA) produced by F.o.a. have been proposed to play an important role during the pathogenic process. So, the objective of the present work is to study the effects of culture media, on the mycelial growth, sporulation and fusaric acid production by this pathogen. Four culture media, namely: Potato Dextrose Agar (PDA), Czapeck-Dox Agar (CDA), Czapeck-Glucose Agar (CGA) and Richard's Agar (RA) were evaluated. The results obtained show that F.o.a. grows better on CGA. Sporulation is more important on PDL medium, and thus, throughout the experimentation (28 days). A Fusaric acid level produced by F.o.a. is substantially identical 10 days after its development in media tested. However at the 20th day of the F.o.a. development, the CGL medium is more favorable to the production of FA, whereas PDL stimulates the production of this toxin from the 30th day.

Key words: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, culture medium, mycelial growth, sporulation, fusaric acid.

Introduction

La fusariose vasculaire du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (F.o.a.) présente une menace permanente pour de nombreux pays phœnicicoles de l'Afrique du Nord, notamment l'Algérie. Cette maladie sévit dans toutes les palmeraies marocaines et a progressé vers l'est pour atteindre les oasis du Sahara occidental et central Algériens [1,2] entraînant ainsi d'énormes dégâts sur le plan écologique et surtout économique au vu de l'importance des exportations des dattes qui génèrent des apports en devises importants pour l'économie Algérienne [3].

Les champignons phytopathogènes adoptent différentes stratégies dans le processus d'infection des plantes, telle que la production de métabolites à faible poids moléculaire appelées «toxines». Le genre *Fusarium* produit de multiples toxines: Enniatins, Beauvericines, Fusaproliferin et autres [4]. Cependant, *Fusarium oxysporum* produit un nombre limité de toxines dont les plus connues est l'acide fusarique et ses dérivés [5]. L'acide fusarique (5-n-butyle-2-pyridine acide carboxylique) fut isolé pour la première fois chez *Fusarium heterosporum* Nees, pathogène du riz [6]. C'est une toxine non spécifique, produite par différentes espèces pathogènes et non pathogènes de *Fusarium*. Elle est toxique pour différentes plantes, champignons et bactéries [7]. De nombreuses études ont prouvé ses effets toxiques sur la plante, telles que l'altération de la perméabilité membranaire [8], la modification du potentiel membranaire, la diminution du taux d'ATP [9], la réduction de l'activité respiratoire [10,11] et l'altération de la croissance cellulaire [12,13]. La production de l'AF par *F. oxysporum in vitro* dépend de la souche et de la composition du milieu de culture [14,15]. *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* est connu pour produire de l'acide fusarique [16]; cependant très peu de travaux ont concerné l'effet du milieu de culture sur la croissance de ce champignon et sur la production de cette toxine. Dans le présent travail, une étude *in vitro* a été réalisé afin d'évaluer l'effet de quelques milieux de cultures sur la croissance mycélienne, la sporulation et la synthèse d'acide fusarique par *F.o.a.*

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Matériel

1.1.1.- Matériel fongique

Il s'agit d'une souche virulente de *Fusarium oxysporum* f .sp. *albedinis* Killian et Maire (Gordon) *F.o.a.* NRLL 38288, mise à notre disposition par le Laboratoire de Recherche du Ministère de l'Agriculture des Etats-Unis (United States Department of Agriculture, USDA) et stocké sur milieu PDA à 4°C.

1.1.2.- Milieux de culture

Quatre milieux de cultures sous forme solide et liquide sont testés. Il s'agit:

- Milieu PDA (Pomme de terre Dextrose Agar) [17], dont la composition est de 250g de pomme de terre, 10g de glucose, 20g d'agar et QSP 1 litre d'eau distillée.
- Milieu Czapeck-Dox Agar (CDA) [18], 3 g Na NO₃, 1 g KH₂ PO₄, 0.5 g KCl, 0.5 g Mg SO₄ 7H₂O, 0.01 g Fe SO₄ 7H₂O, 30 g saccharose, 20g agar, l'ensemble est complété à QSP 1 litre d'eau distillée.
- Milieu Czapeck-Glucose Agar (CGA) constitué du milieu CDA auquel on ajoute 2g d'extrait de levure et 8g de glucose. Ce milieu favorise la production de métabolites fongiques [19].
- Milieu Richard's Agar (RA) [20], contenant 10g KNO₃, 5g K₂HPO₄, 2.5g MgSO₄ 7H₂O, 50g de Saccharose, 20g agar, et QSP 1 litre d'eau distillée.

Les milieux de culture précédemment décrits, sont utilisés aussi sous forme liquide, avec la même composition chimique mais ils sont dépourvus d'Agar. Il s'agit de: Pomme de terre Dextrose liquide (PDL), CzapeckK-Dox liquide (CDL), Czapeck-Glucose liquide (CGL) et Richard's liquide (RL).

1.2.- Méthodes

1.2.1.- Détermination de la croissance mycélienne de *F.o.a.*

L'ensemencement du champignon consiste à prélever à l'aide d'une anse stérile, un morceau de colonie mycélienne purifiée, qu'on dépose dans des boîtes de Pétri contenant du milieu PDA. Les boîtes sont mises à incuber dans une étuve, à une température de 28°C et à l'obscurité, pendant 7 jours. Ensuite des disques d'agar de 10mm de diamètre prélevés à la marge de la culture jeune et déposés au centre des boîtes de Pétri stériles, contenant chacun des milieux de culture solides (PDA, CDA, CGA, RA). La croissance diamétrale est notée toutes les 48h pendant 10 jours. Trois répétitions sont réalisées pour chacun des milieux utilisés.

1.2.2.- Estimation du nombre de conidies

Les quatre milieux de culture liquides préparés (PDL, CDL, CGL, RL) sont répartis dans des flacons en raison de 20ml par flacon. Ils sont ensuite autoclavés à 120°C pendant 20 minutes. Deux disques d'Agar de 10mm de diamètre, prélevés à partir de la périphérie d'une culture jeune de *F.o.a* âgée de sept jours, sont introduits dans les flacons contenant les milieux liquides. L'incubation se fait à 28°C et à l'obscurité, pendant 28 jours.

Le nombre de conidies est déterminé, pour chaque milieu, à l'aide d'une cellule de Malassez au 2, 4, 6, 8, 10, 13, 16, 18, 22, 28^{ème} jour d'incubation. Trois répétitions sont réalisées pour chacun des milieux.

1.2.3.- Dosage de la quantité d'acide fusarique produit par *F.o.a.*

Les milieux liquides inoculés par *F. o. a.* sont filtrés à l'aide de papier Whatman n°1. Le surnageant représente le filtrat de culture qui servira pour l'extraction des toxines par la technique préconisée par BAKER *et al* (1981) [21]. Elle se fait à l'acétate d'éthyle (vol/vol); deux phases sont obtenues, une hypophase aqueuse et une épiphase organique (phase éthylée). La phase éthylée est mise dans des flacons stériles portés à évaporation dans l'étuve à 50°C. Le résidu obtenu est récupéré dans 3ml d'éthanol. Il constitue l'extrait de toxines utilisé pour le dosage de l'acide fusarique à l'aide d'un spectrophotomètre JENWAY ($\lambda=270\text{nm}$). Les concentrations sont déterminées à partir d'une courbe étalon d'acide fusarique commercial ($\text{C}_{10}\text{H}_{13}\text{NO}_2$, Mr 179,22 mp 96-100°C, solubilité 50mg/ml, Pm = 96). Trois répétitions sont réalisées pour chaque milieu.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Estimation de la croissance mycélienne

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 1. La croissance du champignon varie en fonction des milieux de culture. Les résultats de l'expérimentation révèlent qu'après 10 jours d'incubation, les milieux CGA et CDA sont plus favorables au développement mycélien de *F. o. a.* La croissance maximale est respectivement de 4.725 ± 0.392 cm et 4.30 ± 0.071 cm, suivi de RA (3.46 ± 0.088 cm) et PDA (2.5 ± 0.62 cm). Ceci indique que le milieu CGA enrichie de glucose assure un meilleur développement du *F. o. a.* Ces résultats confirment ceux de FAROOQ *et al* (2005) [22]. En effet, le milieu Czapeck-dox induit une croissance radiale maximale de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*,

en outre, il s'est avéré que le glucose est la meilleure source de carbone pour une bonne croissance mycélienne.

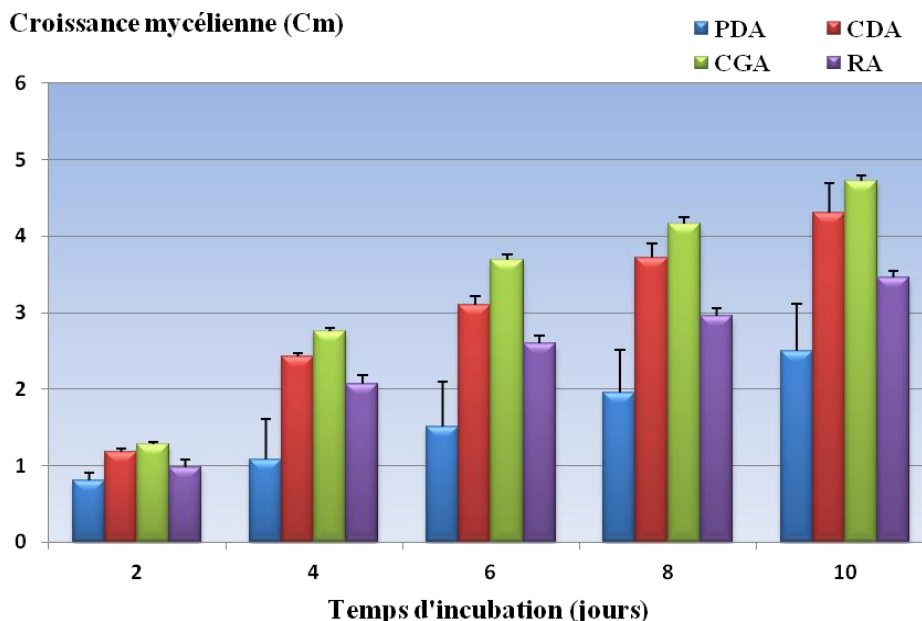


Figure 1.- Effet des différents milieux de culture sur la croissance du *F.o.a.*

Les résultats indiquent que toutes les sources de carbone sont utilisables pour la croissance des champignons. Le champignon peut convertir certaines formes de composés de carbone complexes en forme simple, qui peut être facilement métabolisé [23]. En plus de la source de carbone, d'autres éléments présents dans les milieux tels que l'azote, le phosphore, le soufre, les vitamines, et des ions métalliques, le Fer et le Magnésium, sont nécessaires pour la croissance et le développement des champignons.

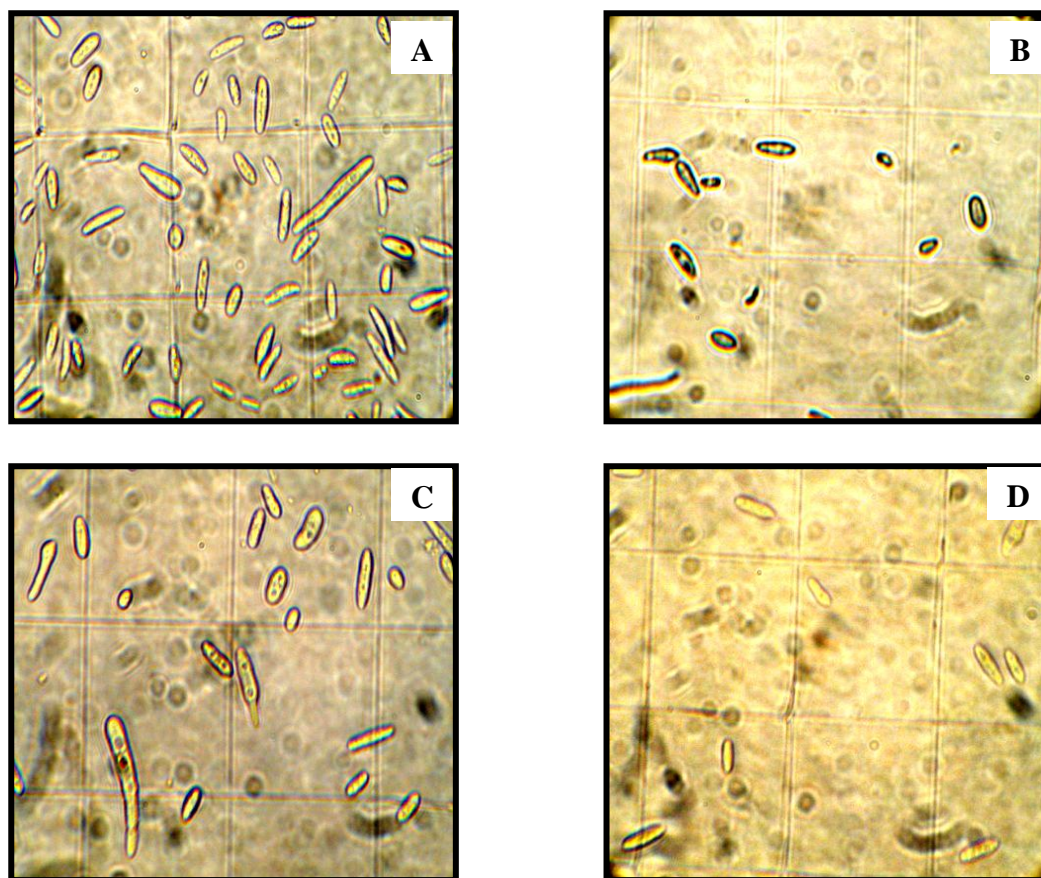
2.2.- Estimation de nombre de conidies

L'ensemble des résultats sont représentés sur le tableau. I et sur la figure 2. Le milieu PDL s'avère plus favorable à la sporulation de *F.o.a.* par rapport aux autres milieux testés. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par KHAN *et al* (2001) qui affirment que le milieu PDL induit la production d'un maximum de spores par *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. Ils ont, en outre, constaté que les milieux de culture pourvus d'éléments organiques sont les plus favorables à la sporulation [24].

La sporulation *in vitro* de *F. o. a.* dépend, elle aussi, du milieu de culture (tab. I). Elle augmente progressivement dans les quatre milieux jusqu'au 16^{ème} jour d'incubation où elle atteint une concentration maximale de $478 \times 10^5 \pm 14.75$, $138.61 \times 10^5 \pm 7.88$, $118.52 \times 10^5 \pm 6.71$ et $112.33 \times 10^5 \pm 3.30$ respectivement dans les milieux PDL, CGL, CDL et RL. A partir de ce temps d'incubation, une diminution progressive de la densité conidienne est notée dans les quatre milieux testés.

Tableau I.- Nombre de conidies dans les quatre milieux de culture

Temps d'incubation (jours)	Milieux de culture liquides			
	PDL	CDL	CGL	RL
	Moyenne \pm Ecart type (nombre de spores / ml $\times 10^5$)			
2	9,36 \pm 0,84	8,56 \pm 3,88	10,37 \pm 2,52	5,55 \pm 1,62
4	82,96 \pm 20.03	29,27 \pm 7.10	61,13 \pm 4.92	38,53 \pm 18.98
6	145,6 \pm 44.54	42,74 \pm 13.14	87,4 \pm 7.81	50,91 \pm 8.31
8	255,18 \pm 46.46	61,66 \pm 9.76	114,3 \pm 26.45	74,7 \pm 7.23
11	417,45 \pm 20.06	77,06 \pm 14.83	118,2 \pm 5.91	93,74 \pm 21.52
13	475,28 \pm 18.68	98,06 \pm 21.35	129,85 \pm 7.48	111,71 \pm 23.32
16	478 \pm 14.75	118,52 \pm 6.71	138,61 \pm 7.88	112,33 \pm 3.30
18	365,43 \pm 5.56	94,06 \pm 7.62	100,66 \pm 1.52	86,2 \pm 3.65
22	228 \pm 25.71	95,66 \pm 29.49	53,48 \pm 3.76	41,4 \pm 16.52
28	180,25 \pm 13.52	117,66 \pm 2.52	53,86 \pm 10.34	41,26 \pm 18.52

**Figure 2.-** Conidies d'une culture de *F.o.a.* NRLL 38288 âgée de 2 jours observées sur cellule de Malassez [Gr 400 \times 3 (A): PDL; (B): CDL; (C): CGL; (D): RL]

2.3.- Dosage de l'acide fusarique

Les résultats de l'expérience sont représentés sur la figure 3. Ils montrent que la concentration d'AF synthétisé par *F. o. a.* est variable selon le milieu de culture et, également, selon le temps d'incubation. Après 10 jours d'incubation, la quantité d'AF produite est sensiblement identique, soit 0.02 mg/ml, sur les quatre milieux de culture. Au 20^{ème} jour, la production d'AF est plus importante sur le milieu CGL et CDL où la concentration est respectivement de 0.31 ± 0.096 mg/ml et 0.263 ± 0.041 mg/ml, comparée aux milieux PDL et RL dont la concentration d'AF produit est sensiblement identique, soit 0.06 mg/ml. Ces résultats concordent avec ceux d'EL FAKHOURI *et al* (1996) et LOFFLER et MOURIS (1992), dont il s'est avéré que le milieu Czapeck-Dox est plus favorable à la synthèse de toxines (AF) par *F. o. a.* et *Fusarium oxysporum* f. sp. *lilii* [25,26].

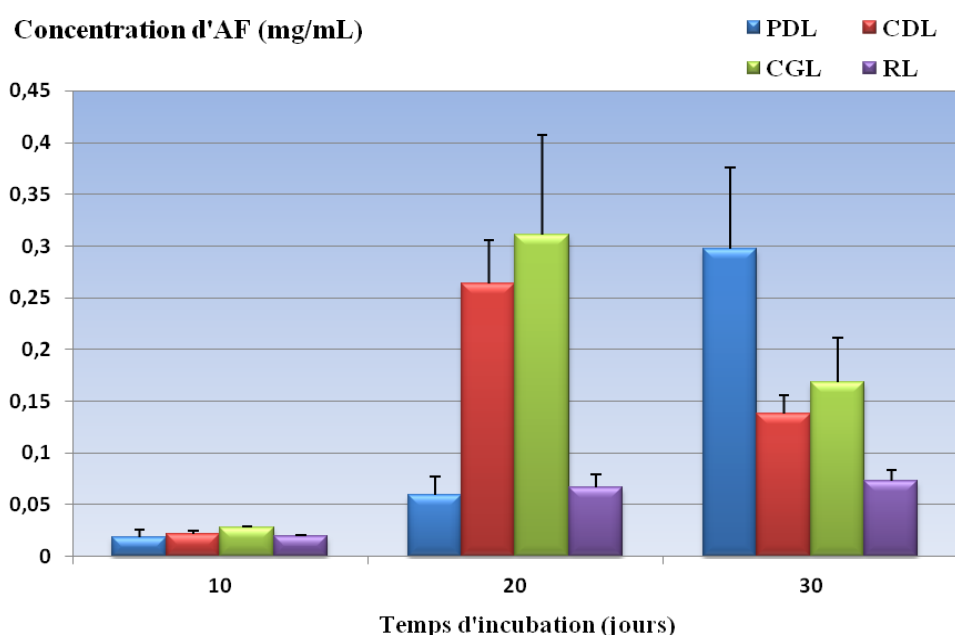


Figure 3.- Effets des différents milieux de culture sur la synthèse d'AF

La concentration d'acide fusarique au 30^{ème} jour d'incubation, sur milieu PDL, est de 0.296 ± 0.079 mg/ml; cependant les concentrations sont de 0.168 ± 0.042 mg/ml et de 0.137 ± 0.018 mg/ml respectivement sur les milieux CGL et CDL. Il paraît donc qu'à ce temps d'incubation, c'est le milieu PDL qui s'avère le plus favorable à la synthèse de l'acide fusarique. Ces résultats confirment ce qui a été trouvé par de DUARTE et ARCHER (2003) [27]. Ils signalent que le milieu pomme de terre sucrose liquide (PSL) favorise la production de l'acide fusarique, dont le maximum est atteint au 25^{ème} jour d'incubation.

Conclusion

La composition du milieu de culture est un facteur important pour la croissance mycélienne, la sporulation et la production des toxines par *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. Les résultats obtenus indiquent que ce pathogène est capable de se développer, sporuler et de synthétiser l'AF aussi bien sur des milieux complexes que sur des milieux

synthétiques, mais à des degrés variables. Le milieu PDL s'avère plus favorable à la sporulation, alors que le milieu CGL et CGA s'avèrent favorables à la croissance mycélienne et à la production d'AF. Ces résultats indiquent également que la croissance mycélienne et la sporulation, qui sont deux moyens de développement du champignon, n'ont pas les mêmes exigences nutritionnelles.

Ces travaux pourraient trouver des applications, dans la mise au point de milieu de culture favorable au développement de *F. o. a.* et à la production de l'acide fusarique, pour mieux comprendre son action et son éventuelle transformation dans la plante hôte. Ils pourraient également présenter un intérêt pour l'élaboration de substrats répressifs envers la fusariose vasculaire du palmier dattier.

Références bibliographiques

- [1].- Djerbi M., Sedra My H. et El Idrissi-Ammari A.; 198.- Caractéristiques culturales et identification du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent causal du bayoud. Annale de l'Institut National de Recherche Agronomique de Tunis; 58: 1-8.
- [2].- Brac de la Perriere R. A. et Benkhalifa A.; 1991.- Progression de la fusariose du palmier dattier en Algérie. Sécheresse; 2: 119-128.
- [3].- INPV., 2014.- Le palmier dattier: Un patrimoine à réserver. Bulletin d'informations phytosanitaires n° 34, INPV, Alger, 4p.
- [4].- Moretti A., Mulé G., Ritieni A. et Logrieco A., 2007.- Further data on the production of beauvericin, enniatins and fusaproliferin and toxicity to *Artemia salina* by *Fusarium* species of *Gibberella fujikuroi* species complex. International Journal Food Microbiology, 118: 158–163.
- [5].- Nelson P. E., Tousson T. A. et Cook R. K. J., 1981.- "*Fusarium*". Diseases, Biology and Taxonomy. Penn. Star. Univ Press, 457p.
- [6].- Yabuta T., Kambe K. et Hayashi T., 2008.- Biochemistry of the bakanae-fungus, I. Fusaric acid, a new product of the bakanae-fungus (1934). In Wu H.S., X.M. Yin, D.Y. Liu *et al.*,.Effect of fungal fusaric acid on the root and leaf physiology of watermelon (*Citrullus lanatus*) seedlings. Plant Soil; 308: 255-266.
- [7].- Bacon C. W., Porter J. K., Norred W. P et Leslie J. F., 2010.- Production of fusaric acid by *Fusarium* species (1996) In Parmar P., Vishal P Oza., Subramanian R.B., Indian Journal of Science and Technology: 411-416.
- [8].- Gäumann E., 1958.- The mechanism of fusaric acid injury. Phytopathology; 48: 670-686.
- [9].- D'alton A. et Etherton B., 1984.- Effects of Fusaric Acid on Tomato Root Hair Membrane Potentials and ATP Levels. Plant Physiology, 74: 39-42.
- [10].- Paquin R. et Waygood E. R., 1957.- The effect of Fusarium toxins on the enzymatic activity of tomato hypocotyl mitochondria. Canadian Journal of Botany; 35: 207-218.

- [11].- Kuo M. S. et Scheffer R. P., 1964. Evaluation of fusaric acid as a factor in the development of *Fusarium* wilts. *Phytopathology*; 54: 1041-1044.
- [12].- Matysiak B., Samyn G., 1996.- Growth of young *Aechmea fasciata* seedlings on a medium supplemented with fusaric acid. *Med. Fac. Landbouww, Univ. Gent*; 61: 333-336.
- [13].- Dinis S. P. S. S. et Oliveira R. C., 2009.- Effects of fusaric acid on *Zea mays* L seedlings. *Phyton*; 78: 155-160.
- [14].- Venter S. et Steyn P., 1998.- Correlation between fusaric acid production and virulence of isolates of *Fusarium oxysporum* that causes potato dry rot in South Africa. *Potato Res*; 41: 289-298.
- [15].- Notz R., Maurhofer M., Dubach H., Haas D. et Defago G., 2002.- Fusaric acid-producing strains of *Fusarium oxysporum* alter 2,4-diacetylphloroglucinol biosynthetic gene expression in *Pseudomonas xuorescens* CHA0 in vitro and in the rhizosphere of wheat. *Applied Environmental Microbiology*; 68: 2229-2235.
- [16].- Surico G. et Graniti A., 1977.- Produzione di tossine da *Fusarium oxysporum* Schl. f. sp. *albedinis*. *Phytopathologia Mediterranea*; 16: 30-33.
- [17].- Rapilly F., 1968.- Les techniques de mycologie en pathologie végétale. *Ann. Epiphyties*, 19: 102(HS).
- [18].- Thom C, Raper K. B., 1945.- *Manual of the Aspergilli*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins, 373p.
- [19].- Puel O., Tadriss S., Delaforge M., Oswald I. P., Lebrihi A., 2007.- The inability of *Byssochlamys fulva* to produce patulin is related to absence of 6- methylsalicylic acid synthase and isoeopoxydon dehydrogenase genes. *Int. J. Food Microbiol.* 115: 131-139.
- [20].- Richards G. S., 1951.- Factors influencing sporulation by *Septoria nodorum*. *Phytopathology*; 41: 571-578.
- [21].- Baker R. A., Tarum J. H. et Nemic S., 1981.- Toxin production by *Fusarium solani* from fibrous roots of blight-disease Citrus. *Phytopathology*; 71: 951-954.
- [22].- Farooq S., Iqbal SH. M. et Abdul Rauf CH., 2005.- Physiological Studies of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. *International journal of agriculture and biology*, 275-277.
- [23].- Bais B. S., Singh S. B. et Singh D. V., 1970.- Effect of different carbon and nitrogen sources on the growth and sporulation of *Curvularia pallescens*. *Indian Phytopathology*; 23: 511-517.
- [24].- Khan I. A. K., Alam S. S. et Jabbar A., 2001.- Standarization of Medium for the production of maximum phytotoxic activity by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*.

Pakistan journal of Biological Sciences; 4(11): 374-1376.

- [25].- El Fakhouri R., Lotfi F., Sedra M. H. et Lazrek HB., 2001.- Production et caractérisation chimique des toxines sécrétées par *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent causal du Bayoud. *Al awamia*; 93: 81-92.
- [26].- Loffler H. J. M. et Mouris J. R., 2007.- Fusaric acid: phytotoxicity and in vitro production by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lilii*, the causal agent of basal rot *In Strange R.N.*; *Phytotoxins produced by microbial plant pathogens. Natural Product Reports*; 24: 127-144.
- [27].- Duarte M. L. R. et Archer S. A., 2003.- In vitro toxin production by *Fusarium solani* f. sp. *piperis*. *Fitopatologia Brasileira* ; 28: 229-235.

**ETUDE DE L'EFFET DES HUILES ESSENTIELLES BRUTES FOLIAIRES DE
Colocynthis vulgaris (L.) SCHRAD (CUCURBITACEAE) SUR L'ACTIVITE
CHOLINESTERASIQUE CHEZ DES IMAGOS DE *Schistocerca gregaria*
(FORSKÅL, 1775)**

HAMID OUDJANA Aicha, BOUDRAISSA Idriss, MOKADEM Samia, ROUBAH Meriem,
KEMASSI Abdellah, BOUAL Zakaria et OULD EL HADJ Mohamed Didi
Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi arides
Université de Ouargla, Ouargla, Algérie
E-mail: mohameddididi@yahoo.fr

Résumé.- Le présent travail porte sur l'étude de l'effet de la toxicité sur l'activité cholinestérasique et quelques paramètres physiologiques chez des individus mâles et femelles de *S. gregaria* élevé en laboratoire et exposé aux huiles essentielles brutes des feuilles de *Colocynthis vulgaris* (L). Les manifestations d'intolérance générale à cet extrait apparaissent vers 30 à 60 minutes après l'exposition, l'activité cholinestérasique montre une diminution par rapport aux individus témoins, elle est de $8,08 \pm 2,65$ nanomole/mn/ml chez les mâles, et de $16,34 \pm 1,15$ nanomole/mn/ml chez les femelles de *S. gregaria* traités par l'extrait des huiles essentielles de *C. vulgaris*. Pour les lots des individus traités, le taux de protéines laisse apparaître une différence entre les femelles et les mâles. Il augmente chez les individus mâles pour atteindre $46,11 \pm 16,17$ mg/ml alors qu'il est $35 \pm 13,22$ mg/ml chez les individus femelles. Toutefois, l'activité spécifique chez les individus traités diminue chez les mâles ($0,19 \pm 0,04$ nanomole /min /mg), mais pour les femelles traitées semble stable avec $0,49 \pm 0,26$ nanomole /min /mg. De même, les individus de *S. gregaria* exposés à l'extrait foliaire des huiles essentielles brutes, laissent apparaître des perturbations au niveau des réponses neurochimiques et comportementales, d'où une toxicité accrue de cet extrait de *Colocynthis vulgaris* (L).

Mots clés: Cholinestérase, toxicité, *C. vulgaris*, *S. gregaria*, huiles essentielles.

**STUDY OF EFFECT OF ESSENTIAL OILS OF RAW LEAF *Colocynthis vulgaris*
(L.) SCHRAD (CUCURBITACEAE) AT CHOLINESTERASE ACTIVITY IN
IMAGOS OF *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775).**

Abstract.- The present work focuses on the study of the effect of toxicity on the acetylcholinesterase activity and on some physiological parameters in male and female of *S. gregaria* bred in laboratory and exposed to essential oils leaves of *Colocynthis vulgaris* (L). The manifestations of general intolerance to this extract appear between 30 to 60 minutes after the exposure of the insect. The acetylcholinesterase activity shows a decrease compared to individuals of the control group, it is of 8.08 ± 2.65 nanomole/mn/ml for males and 16.34 ± 1.15 nanomole/mn/ml for females of *S. gregaria* treated with essential oils of *Colocynthis vulgaris*. For the lots of treated individuals, the protein level reveals a difference between females and males. It increase in male individuals, reaching 46.11 ± 16.17 µg of proteins / ml while it is 35 ± 13.22 µg of proteins / ml in female individuals. However, the acetylcholinesterase specific activity for treated individuals decreases in males (0.19 ± 0.04 nanomole /mn / mg), but it appears stable for treated females with 0.49 ± 0.26 nanomole /mn / mg. Similarly, *S. gregaria* individuals exposed to the leaf extract of crude oil reveal disruptions at the level of neurochemical and behavioral responses, showing a greater toxicity of the *Colocynthis vulgaris* (L) extract.

Key words: Cholinesterase, toxicity, *C. vulgaris*, *S. gregaria*, essential oils.

Introduction

Le refus de consommation par un grand nombre d'insectes à l'égard de certaines plantes hôtes, est dû à la présence de substances naturelles allélochimiques répulsives et/ou toxiques. Ces composés permettent aux plantes de se prémunir contre les attaques dévastatrices des ravageurs. Plusieurs familles végétales sont connues pour leur pouvoir insecticide parmi lesquelles, *Azadirachta indica* et *Melia volkensii* qui sont connus pour leurs effets remarquables sur plusieurs espèces d'insectes nuisibles, en particulier le Criquet pèlerin [1]. C'est une espèce redoutée en raison de la capacité des essaims à se déplacer sur de très grandes distances et envahir les cultures. Elle bénéficie de ce fait d'une organisation particulière [2]. Elle représente une des espèces acridiennes les plus importantes en raison, de sa grande mobilité (les essaims peuvent parcourir 1000 km en quelques jours), de son aire d'invasion très vaste, de son grand potentiel reproducteur induisant, son aptitude à multiplier très rapidement ses effectifs, de sa capacité à consommer chaque jour son propre poids de nourriture fraîche, de sa grande polyphagie le conduisant à s'attaquer à une très large gamme de cultures et à leur causer des dégâts très sévères [3].

La présente étude recherche les propriétés acridicides ou acridifuges de *Colocynthis vulgaris* (L.) Schrad; une plante spontanée du Sahara algérien, épargnée par le Criquet du désert, sur l'activité cholinestérasique et sur quelques paramètres physiologiques de ce locuste.

1.- Méthodologie

1.1.- Matériel biologique

Le matériel biologique se compose d'individus de *S. gregaria* (imago) issus d'un élevage de masse réalisé au laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi-arides de l'université de Ouargla (Algérie) et d'une plante spontanée *C. vulgaris*, récoltée à Oued-Bouchen situé dans la région de Ghardaïa (Sahara septentrional Est algérien), connue pour sa qualité acridifuge ou acridicide.

1.1.1.- Choix de stade chez *S. gregaria*

Le choix des stades porte sur des individus adultes (mâles et femelles). Le choix des individus adultes se justifie car c'est le stade où l'insecte est le plus à craindre à cause de l'amplitude de ses déplacements [4].

1.1.2.- *Colocynthis vulgaris* (L.)

La plante *C. vulgaris* malgré sa forte occurrence sur terrain conjointement avec le Criquet pèlerin, n'a jamais été consommée par les imagos et son absence dans les excréments de *S. gregaria* peut s'expliquer par son inappétence [5]. Plante annuelle ou vivace appartient à la famille de Cucurbitaceae. Bien que xérophYTE typique, la coloquinte n'a pas une structure xéromorphe mais au contraire de larges feuilles palmatilobées crénelées [6, 7].

1.2.- Extraction des huiles essentielles

Les feuilles de *C. vulgaris* soumises à l'extraction, sont prélevées à partir de plantules en stade végétation, récoltées de leur biotope d'existence naturelle loin des endroits

anthropisés. Elles sont nettoyées et séchées à l'obscurité à la température ambiante, puis elles sont broyées. A l'aide d'un montage d'hydrodistillation simple, 200g de poudre de feuilles sèches de *C. vulgaris*, sont portées à ébullition pendant 6 heures, la décantation du distillat est ensuite réalisée. La fraction huileuse récupérée, est déshydratée à l'aide du sulfate de sodium anhydre, afin d'éliminer le peu d'eau susceptible d'avoir été retenue dans la phase organique. Le produit ainsi obtenu, représente les huiles essentielles brutes foliaires, servira pour le traitement des insectes.

1.3.- Etude de la toxicité

A l'aide d'un micro-pulvérisateur (Ultra Bas Volume), les huiles essentielles brutes foliaires de *C. vulgaris*, sont pulvérisées directement sur les adultes de *S. gregaria*, afin d'étudier leur action par contact ou par inhalation. Pour éviter l'effet cumulatif de l'extrait, ce dernier est pulvérisé sur chaque individu isolé. Il est noté avant et après traitement, l'activité motrice, l'étude des pulsations cardiaques par dénombrements sous la loupe binoculaire de la fermeture et de l'ouverture des stigmates de l'insecte, pendant une minute, le temps d'exposition avant la mise à mort pour chaque individu dure deux heures. Il est suivi immédiatement de l'étude de la cinétique de l'activité cholinestérasique.

A cet effet, pour la présente étude, 4 lots d'insectes, à raison de deux lots dont 30 mâles et 30 femelles respectivement pour le groupe destiné pour le traitement. Les deux autres lots sont constitués d'un témoin pour les femelles et l'autre pour les mâles. Il est utilisé pour la présente étude, un total de 120 individus de ce locuste.

1.4.- Préparation des extraits enzymatiques

L'extraction est réalisée selon la méthode décrite par LIU *et al.* (2006) [8]. Les différentes étapes sont réalisées à froid pour éviter l'altération de l'enzyme. Les têtes sont amputées et homogénéisées dans un mortier porté à l'avance dans un congélateur. L'homogénat est récupéré avec 0,5 ml d'eau glacée et 1 ml d'un mélange de 0,1M tampon phosphate (pH 7,5) contenant 0,1% d'un détergent: le triton X-100. Afin d'éliminer les impuretés et les lipides membranaires détruits par le détergent, une sédimentation est effectuée par centrifugation à 10.000 g pendant 20 mn dans une centrifugeuse de type SEGMA 6300, 5666. Le surnageât renfermant l'enzyme est récupéré à l'aide d'une micropipette.

1.4.1.- Etude de la cinétique enzymatique

Le dosage est réalisé selon la méthode d'ELLMAN *et al.* (1961) [9]. Le mélange réactionnel est ajouté directement dans la cuve de mesure du spectrophotomètre. Il comporte le tampon phosphate (0,1M et pH 7,4), homogénéiser avec 20µl d'extrait brut. Les mesures sont effectuées juste après addition d'un mélange d'acetylthiocholine et DNTB. La lecture de la DO se réalise à une longueur d'onde égale à 412 nm. La densité optique est notée après chaque minute, pendant 12 mn. L'inhibition de l'activité cholinestérasique chez les individus traités est comparée par rapport à l'activité moyenne des témoins non exposés à l'extrait des huiles essentielles brutes foliaires de *C. vulgaris*.

1.4.2.- Dosage de protéines

Le dosage est réalisé selon la méthode de LOWRY *et al.* (1951) [10]. La teneur en protéines (ug/ml), est obtenue grâce à une courbe d'étalonnage réalisée en utilisant le

sérum albumine bovine (BSA) dans les mêmes conditions expérimentales. Ainsi le dosage des protéines permet de déterminer l'activité enzymatique spécifique qui exprime la quantité de substrat hydrolysée en unité de temps et de protéine présent dans le milieu réactionnel.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Description chronologique de comportement de l'insecte après traitement

Les manifestations d'intolérance générale à cet extrait, apparaissent au bout de 30 à 60 minutes après traitement par l'extrait d'huiles essentielles brutes foliaires de *C. vulgaris*. Il est noté des mouvements désordonnés et des tremblements des pattes, avec frottement des pattes supérieures sur les antennes. Au-delà de 80 minutes après traitement, l'agitation se généralise à tout le corps, avec une chute notable des mouvements. SUCHAIL *et al.* (2003) [11] notent que chez les abeilles environ 20 minutes après leur intoxication par l'imidaclopride, elles sont, dans un premier temps, hyperactives (mouvements désordonnés et tremblements), puis elles deviennent apathiques. Ces symptômes diffèrent d'un individu à l'autre et les individus femelles semblent être plus résistants que les individus mâles. Ainsi les résultats montrent que le poids corporel des individus mâles est inférieur à celui des individus femelles, avec respectivement $2,3 \pm 0,10$ g et $3,15 \pm 0,23$ g (tab. I). Le BRAS (1990) [12] signale que les individus de petite taille restent plus sensibles que ceux de grandes tailles. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait qu'en règle générale, l'absorption étant un phénomène de surface.

Tableau I.- Poids des individus mâles et femelles de *S. gregaria* avant traitement

Individus	Poids (g)
Femelles	$3,15 \pm 0,23$
Males	$2,3 \pm 0,10$

1.2.- Activité cholinestérasique

Il apparaît une diminution de l'activité cholinestérasique entre les individus mâles et les individus femelles de *S. gregaria* (fig. 1).

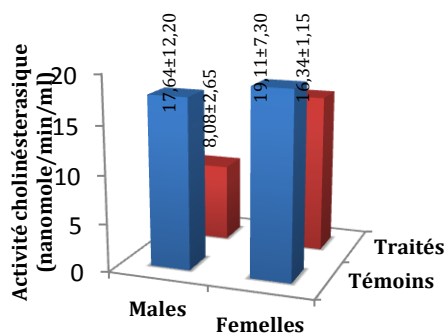


Figure 1: Activité cholinestérasique chez les individus mâles et femelles de *S. gregaria* traités par l'extrait des huiles essentielles de *C. vulgaris*

Les mâles présentent le maximum d'inhibition avec 54,16%, alors que les femelles ont un minimum d'inhibition avec 14,53% (fig. 2). OULD AHMEDOU *et al* (2001) [1] montre que quelques espèces végétales telles que *Citrillus colocynthis* (Cucurbitaceae), se distingue par un pouvoir répulsif vis à vis des criquets dont les extraits provoquent également des mortalités sur les larves du criquet pèlerin. Ils signalent la présence de la cucurbitacine dans *Citrillus colocynthis* qui est une substance inhibitrice.

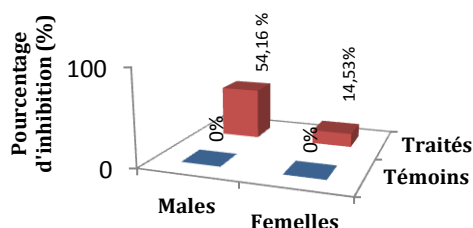


Figure 2: Pourcentage d'inhibition de l'enzyme cholinesterase chez les individus mâles et femelles de *S. gregaria* traités par l'extrait des huiles essentielles de *C. vulgaris*

2.3.- Taux de protéines

Il apparaît que le taux de protéines des individus mâles du lot témoin, est de $35 \pm 19,22$ mg/ml et celle des femelles du lot témoin de $41,66 \pm 31,79$ mg/ml. Elle semble plus élevée chez les individus femelles comparativement aux individus mâles. Après un traitement des individus du Criquet du désert par l'extrait des huiles essentielles brutes foliaires de *C. vulgaris*, le taux de protéines est de $46,11 \pm 16,77$ ug/ml pour les mâles et pour les femelles de $35 \pm 13,22$ ug/ml. Les valeurs du taux de protéines semblent en augmentation chez les individus mâles et en diminution chez les individus femelles par rapport aux lots témoins (fig. 3). MORETEAU et CHAMINADE (1983) [13] notent que les insecticides provoquent la libération de certaines hormones chez les insectes, parmi ces hormones, RACCAUD-SCHOELLER (1980) [14] décrit la libération d'hormones hyper glycémiantes de nature peptidique chez *S. gregaria*, ce qui peut contribuer à l'augmentation du taux de protéines. L'importance des signes d'intoxication diffère d'un individu à un autre, toutefois les individus femelles semblent être plus résistants que les individus mâles de cet insecte.

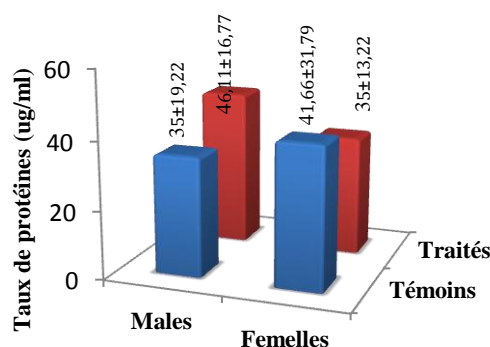


Figure 3: Taux de protéines chez les individus mâles et les individus femelles de *S. gregaria* traités par l'extrait des huiles essentielles de *C. vulgaris*

2.4.- Activité spécifique

Les valeurs de l'activité spécifique chez les individus mâles et femelles témoins notées respectivement, sont de $0,50 \pm 0,21$ nanomole /min /mg et $0,45 \pm 0,15$ nanomole /min /mg. Il

est constaté que les individus mâles traités avec les huiles essentielles de *C. vulgaris* présentent une diminution très importante d'activité spécifique égale à $0,19 \pm 0,04$ nanomole /min /mg alors que les individus femelles présentent une activité proche de celle des femelles témoins, soit $0,49 \pm 0,26$ nanomole /min /mg (fig. 4). Les variations de l'activité spécifique, sont en relation avec le taux de protéines et l'activité cholinestérasique. BRUNET (1997) [15], signale que la diminution de l'activité cholinestérasique spécifique coïncide avec la chute de l'activité cholinestérasique cérébrale. L'inhibition de l'acétylcholinestérase provoque une accumulation anormale de l'acétylcholine dans les tissus. Les récepteurs étant, saturés en acétylcholine, la membrane demeure dépolarisée, ce qui a pour effet de stopper la transmission nerveuse dans la portion cholinergique du système nerveux.

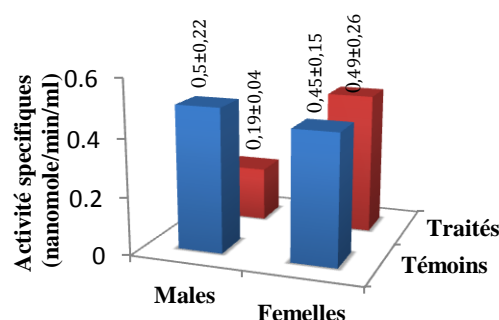


Figure 4: Activité spécifique chez les individus mâles et femelles de *S. gregaria* traités par l'extrait des huiles essentielles de *C. vulgaris*

Conclusion

L'étude de l'action toxique de l'extrait des huiles essentielles de *C. vulgaris*, sur les individus mâles et femelles de Criquet pèlerin *S. gregaria*, a porté sur les mesures comportementales, physiologiques et neurochimiques. Il ressort que les manifestations d'intolérance générale à cet extrait apparaissent vers 30 à 60 minutes après l'exposition. Les mesures neurochimiques laissent apparaître une diminution de l'activité cholinestérasique par rapport aux individus témoins. Le taux de protéines montre une augmentation chez les individus mâles traités par les huiles essentielles et une diminution chez les individus femelles. L'activité spécifique chez les individus traités montre une diminution chez les mâles, alors que l'activité spécifique chez les femelles traitées, semble relativement stable. Les feuilles de *C. vulgaris*, arbuste annuelle ou vivace fréquent en Afrique du Nord présentent des effets biocides marqués vis-à-vis du criquet pèlerin *S. gregaria* et l'utilisation de préparations à base de feuilles de *C. vulgaris* pourrait être valorisée.

Références bibliographiques

- [1].- OULD AHMEDOU M. L., BOUAICHI A., IDRISSE HASSANI L. M., 2001.- Mise en évidence du pouvoir répulsif et toxique de *Glinus lotoides* (Aizoacées) sur les larves du criquet pèlerin, *S. gregaria* Forskal I. Ed. Zool. baetica, VOLUME. 12: 109-117.
- [2].- BELHARAT M., BENDDINE F., BENKARA A., BOUDIFA A., CHARA B., GRABA A., GUENDOUEZ E., KHEDDAM M., NEZZAL T., TOUZENE N., 1999.-

Instrument de développement de la protection phytosanitaire. INPV, Alger, 31 p.

- [3].- DURANTON J. et LECOQ M., 1990.- Le criquet pèlerin au Sahel. Collection acridologie opérationnelle, CIRAD, VOLUME. 6, Paris, 83 p.
- [4].- OULD EL HADJ M. D., TANKARI DAN-BADJO A., HALOUANE F., DOUMANDJI S., 2006.- Toxicité comparée des extraits de trois plantes acridifuges sur les larves du cinquième stade et sur les adultes de *S. gregaria* Forskål, 1775 (Orthoptera-Cyrtacanthacridinae). Sécheresse VOLUME. 17 (3): 407-414.
- [5].- GUENDOZ-BENRIMA A., 2005.- Régime alimentaire de *S. gregaria* (Forsk., 1775) à l'état solitaire dans quelques biotopes du Sud algérien. Thèse de doctorat, INA, Alger, 212 p.
- [6].- PARIS R., DILLEMANN G., 1960.- Les plantes médicinales des régions arides. Unesco. NS.59/III.17, Paris, 95 p.
- [7] QUEZEL P., SANTA S., 1963.- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. VOLUME. 1, CNRS, Paris, 565 p.
- [8].- LIU H., YI M., SHI X., 2006.- Substrate specificity of brain acetylcholinesterase and its sensitivity to carbamate insecticides in *Carassius auratus*. Fish physiol Biochem, n° 33: 29-34.
- [9].- ELLMAN G. L., COURTNEY K. D., ANDRES V. et FEATHERSTONE R. M., 1961.- A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. Biochemical Pharmacology and Physiology, VOLUME. 38: 84-90.
- [10].- LOWRY H., ROSEBROUGH N., FARR A., RANDA R., 1951.- Protein measurement with the folin-phenol reagent, Biol. Biochem, n° 193: 265-275.
- [11].- SUCHAIL S., BELZUNCES L., VAISSIÈRE B., 2003.- Toxicité aiguë de l'imidaclopride et de ses métabolites chez l'abeille domestique "*Apis mellifera*". Abeilles et fleurs n°643: 27-30.
- [12].- LE BRAS S., 1990.- Modification de la sensibilité au lindane d'*Asellus aquaticus* L. en fonction de la variation de facteurs biotiques (poids et métabolisme) et abiotiques (concentration de l'insecticide et température). Revue des sciences de l'eau, n° 3: 183-193.
- [13].- MORETEAU B., CHAMINADE N., 1983.- Effets de quatre insecticides de contact (Lindane, Fenthion, Baygon, Deltamethrine) sur la glycémie et la tréhalosémie au cours du dernier stade larvaire de *Locusta migratoria* L. (Orthoptera-Acrididae). Rev., Annales de la Société entomologique de France: 433-439.
- [14].- RACCAUD-SCHOELLER J., 1980.- Les insectes physiologie développement. Ed. Masson, Paris, 287 p.
- [15].- BRUNET R., 1997.- Impact d'agents anti cholinergiques sur différents paramètres des rythmes circadiens aviaires. Université de Sherbrooke, Canada, 214 p.

EFFET DE LA CONTRAINTE SALINE SUR LA GERMINATION ET LA CROISSANCE DE QUELQUES PROVENANCES ALGERIENNES D'ARGANIER (*Argania spinosa* L.)

NASRI Souhila et BENMAHIOUL Benamar *

Département des Ressources Forestières, Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers (SNV-STU), Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, Algérie

* E-mail: benmahioul@yahoo.fr

Résumé. - Dans les régions arides et semi-arides du bassin méditerranéen, la salinisation des sols constitue l'un des facteurs abiotiques majeurs qui réduit la productivité de nombreuses cultures. L'introduction de plantes tolérantes à la salinité est l'une des techniques les plus recommandées pour valoriser les sols touchés par ce phénomène. L'arganier fait partie de ces espèces à grand potentiel. Ce travail a pour objectif de comparer le comportement de trois provenances d'arganier collectées à travers la wilaya de Tindouf et soumises à des conditions du stress salin depuis le stade de germination. Il s'agit des graines provenant de Merkala, d'Oued Bouyhadine et d'Oued El-Gahaouane. La contrainte saline a été induite par l'application de différentes concentrations de NaCl : 0; 4; 8 et 16 g.l⁻¹. L'effet du stress salin sur la germination a montré une variabilité de tolérance entre les différentes provenances testées. Les semences issues d'Oued Bouyhadine sont les plus résistantes au sel où le taux de germination a été de l'ordre de 66,7% en présence de la plus forte concentration saline testée. Ainsi, l'effet de la contrainte saline sur la croissance des jeunes semis a été analysé. Les résultats obtenus montrent que les différents paramètres de croissance étudiés, varient en fonction de la provenance étudiée. En effet, la partie aérienne est plus sensible au sel que la partie racinaire pour l'ensemble des provenances testées. De plus, la provenance de Merkala se montre la plus sensible vis-à-vis du stress salin.

Mots clés: *Argania spinosa* L, stress salin, germination, provenances, prétraitements, croissance.

EFFECT OF THE SALINE CONSTRAINT ON THE GERMINATION AND THE GROWTH OF SOME ALGERIAN PROVENANCES OF ARGAN (*Argania spinosa* L.)

Abstract. - In arid and semi-arid areas of the Mediterranean basin, the salinization of the soil constitutes one of the most important abiotic factors limiting plant growth and the productivity for many cultures. The introduction of tolerant plants to salinity is one of the techniques recommended to develop the soil touched by this phenomenon. The argan belonged to these species with great potential. This work aimed to compare the compartment of three provenances of argan collected from Tindouf and subjected to the saline stress since the stage of germination. The seeds coming from Merkala, Oued-Bouyhadine and Oued-El Gahaouane. The saline constraint was induced by the application of various NaCl concentrations: 0; 4; 8 and 16 g.l⁻¹. The effect of the saline stress on germination showed a variability of tolerance between the various provenances tested. The seeds resulting from Oued Bouyhadine are most resistant to salt, where the rate of germination was about 66.7 % in the presence of the highest salt concentration tested. Therefore, the effect of saline constraint on the growth of young sowings was analyzed. Results showed that the different growth parameters studied, vary according the provenance studied. Indeed, the aerial part is more sensitive to salt than the root part for all provenance tested. Moreover, the provenance of Merkala is shown most sensitive to the salinity stress.

Key words: *Argania spinosa* L., salinity stress, provenance, seed germination, pre-treatment, growth.

Introduction

Dans plusieurs zones du globe terrestre, la salinisation est le processus majeur de la dégradation des terres. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables par minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation. 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'hectares) souffrent, à des degrés divers de problèmes de salinisation [1].

Les zones arides et semi-arides couvrent une grande partie des pays de la frange méridionale du pourtour méditerranéen. Dans ces régions, la disponibilité des eaux, leur salinité et celle des sols sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité végétale [2]. L'Algérie, qui offre toutes les variantes du climat méditerranéen, n'échappe pas à ce phénomène, où la sécheresse, observée depuis longtemps a conduit manifestement au processus de salinisation des sols sur 3,2 millions d'hectares affectés [3]. Ces deux contraintes naturelles (sécheresse et salinité) ont modifié la stabilité des écosystèmes et sont en grande partie les causes de la désertification des sols.

Pour pallier cette contrainte environnementale, diverses stratégies peuvent être adoptées, à savoir l'application des techniques de drainage des sels en excès. Cependant, ces méthodes sont très coûteuses et exigent un volume d'eau important pour lessiver ces sels [4]. De ce fait, l'introduction des plantes tolérantes aux stress abiotiques et de haute valeur socio-économique, constitue une des approches pour réhabiliter les sols salins. Le choix idéal d'une végétation appropriée à ces conditions, constitue la première étape pour résoudre le problème de la salinité des sols.

L'arganier, *Argania spinosa* (L.) également appelé «arbre de fer» est une sapotacée endémique de l'Algérie et du Maroc. Il est parfaitement adapté aux conditions d'aridité du milieu. En Algérie, son aire de répartition géographique couvre un territoire relativement important dans le nord-ouest de la wilaya de Tindouf où cette essence constitue la deuxième espèce forestière après l'Acacia.

L'arganier est un arbre forestier "multi-usage". Chaque partie ou production de l'arbre (bois, feuilles, fruits et huile) est utilisable, et représente une source de revenu et de nourriture pour l'usager. En plus de son rôle économique, l'argan joue un rôle irremplaçable dans l'équilibre écologique. Il permet de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne. Ces derniers font de lui un arbre particulièrement intéressant pour le développement de ces zones arides [5].

Dans la présente étude, nous nous sommes penchés sur l'évaluation de la capacité germinative des graines et la croissance de jeunes plantules de trois provenances d'arganier soumises à un stress salin.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Origine et préparation des semences

Toutes les graines utilisées dans ce travail expérimental appartiennent à l'espèce *Argania spinosa* L. Elles ont été récoltées à maturité (mois d'août) de 3 stations différentes

situées dans la wilaya de Tindouf (fig. 1): Merkala, Oued-Bouyhadine et Oued El-Gahouane. L'ensemble de ces régions donatrices appartient à l'étage bioclimatique aride.

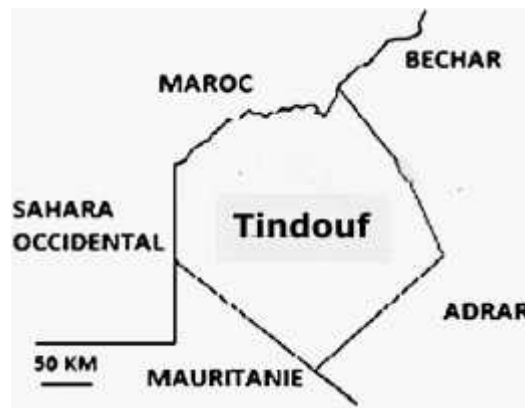


Figure 1.- Situation géographique de la wilaya de Tindouf

Après élimination de l'épicarpe (fig. 2), les semences ont été placées dans des sachets en plastiques puis conservées au laboratoire, dans les conditions ambiantes et à l'abri de la lumière jusqu'à leur utilisation.



Figure 2.- Aspect des graines après l'enlèvement de l'épicarpe
(A: Merkala; B: Oued Bouyhadine; C: Oued El-Gahaouane)

1.2.- Effet du prétraitement sur la germination

Les téguments des graines d'*Argania spinosa* L ont une structure anatomique typique, dure qui se traduit par une forte inhibition tégumentaire de la germination. Afin de déterminer les conditions optimales de germination, nous avons, dans un premier temps, effectué des essais préliminaires faisant appel à différents prétraitements:

- T₀: Témoin,
- T₁: Trempage des graines dans l'eau tiède (27°C) pendant 6 jours,
- T₂: Trempage des graines dans l'eau oxygénée (10 v) tiède (27°C) pendant 1 jour,
- T₃: Trempage des graines dans l'eau oxygénée (10 v) tiède (27°C) pendant 4 jours,
- T₄: Trempage des graines dans l'eau oxygénée (10 v) tiède (27°C) pendant 7 jours.

Les tests de germination ont été effectués à l'obscurité dans une étuve réglée à 27°C. Les graines de chaque lot expérimental sont placées dans des boîtes de Pétri en verre de 9 cm de diamètre, doublement tapissé de papier filtre imbibé d'eau distillée.

Trente (30) graines sont testées pour chaque prétraitement. Les graines sont dénombrées quotidiennement durant 28 jours. L'émergence de la radicule étant l'indicateur de la germination.

1.3.- Effet de la contrainte saline sur la germination

Il est procédé aux essais de germination sous un stress salin en utilisant les conditions optimales de germination déterminées à partir des essais de prétraitement précédents. Pour ce faire, les semences ont été immergées dans l'eau oxygénée (10v) tiède (27°C) pendant 4 jours. Les graines sont ensuite mises à germer dans des boîtes de Pétri doublement tapissées de papier filtre et arrosées avec de l'eau distillée contenant différentes concentrations de NaCl (0; 4; 8 et 16 g.l⁻¹).

1.4.- Effet de la contrainte saline sur la croissance de jeunes semis

Les graines prégermées sont repiquées individuellement dans des sachets en plastique (15 cm de hauteur et de 5 cm de diamètre, perforés) remplis d'un mélange de sable et de tourbe (1/1 v/v). Les plantules ont été arrosées 2 fois par semaine avec l'eau ordinaire jusqu'à atteindre le stade de quatre feuilles, stade à partir duquel, le sel a été appliqué pendant deux mois en arrosant avec des doses croissantes de NaCl (0; 4; 8 et 16 g.l⁻¹).

La réponse des plantules au stress salin a été évaluée grâce aux paramètres d'appréciation suivants:

- La longueur et le diamètre de la tige ainsi que le nombre moyen des feuilles et de nœuds par tige. L'effet de la contrainte saline sur la croissance du système racinaire a été analysé à la fin de l'expérimentation, après 2 mois de stress.
- Les biomasses des organes aériens et racinaires ont été mesurées par la masse de la matière fraîche (MF) puis sèche (MS) après séchage de 48 h à l'étuve réglée à 65°C. Les pesés ont été effectués grâce à une balance de précision (Adventurer OHAUS) et sont exprimées en gramme.

1.5.- Expression des résultats et analyse des données

Les résultats sont exprimés sous forme de taux de germination (% G) et temps moyen de germination (TMG). Ce dernier est calculé par la formule suivante : $TMG = N_1T_1 + N_2T_2 + N_iT_i / N_1 + N_2 + N_i$. (N_1 est le nombre de graines germées en temps T_1 et N_2 le nombre de semences ayant germées entre le temps T_1 et T_2) [6].

Les pourcentages de germination pour un lot expérimental donné correspondant au rapport suivant : (Nombre de graines germés/ Nombre total des graines mises à germer) x 100

Les résultats sont soumis à une analyse statistique descriptive et une analyse de la variance à un ou deux facteurs fixes de classification. Les histogrammes présentés, rejoignent des valeurs moyennes encadrées par leurs écart-type, les moyennes sont comparées selon la méthode de NEWMAN et KEULS (1999) [7], basée sur la plus petite valeur significative, utilisant le logiciel MINITAB 16. On considère que les résultats sont significatifs quand $P < 0,05$.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Effet du prétraitement sur la germination

Les essais portant sur la germination des graines d'*Argania spinosa* L ont montré l'effet bénéfique de certains prétraitements sur l'amélioration de leur capacité germinative. En effet les meilleurs résultats enregistrés ont été obtenus avec le lot de graines traitées par l'eau oxygénée tiède pendant 4 jours (T_3) (fig. 3 et fig. 4A-B).

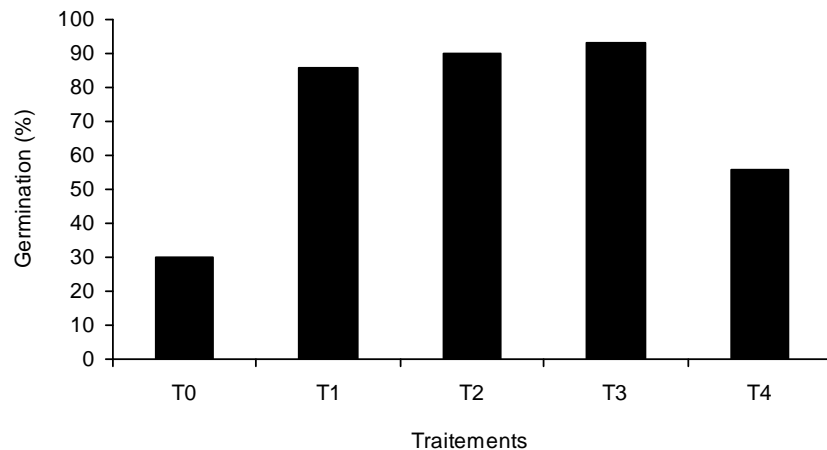


Figure 3.- Taux de germination d'*Argania spinosa* L. sous l'effet de différents prétraitements testés. (T_0 : Témoin; T_1 : Traitement par l'eau tiède à 27°C pendant 6 jours; T_2 : Traitement par l'eau oxygénée tiède à 27°C pendant 1jour; T_3 : Traitement par l'eau oxygénée tiède à 27°C pendant 4jours; T_4 : Traitement par l'eau oxygénée tiède à 27°C pendant 7jours).



Figure 4.- Effet de différents traitements sur la germination des graines d'*Argania spinosa* L. [A: graines traitées par l'eau tiède; B: graines traitées par l'eau oxygénée tiède pendant 4 jours; C: Blocage de la germination suite à un traitement prolongé (7jours) dans l'eau oxygénée tiède]

Des recherches similaires ont montré l'effet positif du trempage des graines de Douglas dans l'eau oxygénée [8, 9]. La concentration et la durée testées semblent jouer un rôle à la fois séparé et en interaction. La durée optimale du trempage paraît être en rapport avec la dureté des téguments [10]. Dans nos conditions, une prolongation du traitement par l'eau oxygénée tiède pendant 7 jours entraîne une nette régression du taux germinatif qui ne dépasse pas les 56% (fig. 3). Ce prétraitement exerce un effet dépressif voir létal sur les graines de l'arganier qui se traduit par un blocage de la germination (fig. 4C).

Le traitement à l'eau ordinaire est un moyen efficace pour ramollir les téguments de la graine et pour réduire leur imperméabilité à l'eau [11, 12, 13]. En effet, le traitement des semences d'*Argania* par l'eau tiède pendant 6 jours a permis d'obtenir un taux germinatif supérieur à celui enregistré chez le lot témoin et le lot traité par l'eau oxygénée pendant 7 jours. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux de BENAOUF (1994) [14]. Cet auteur a signalé que le trempage des graines à l'eau pendant 96 et 120 heures avant le semis, a un effet positif sur la précocité de leur germination. Des taux importants de graines germées ont été enregistrés (jusqu'à 95%) dans un intervalle thermique de 25 à 30°C. NOUAIM et CHAUSSOD (2004) [15] rapportent eux aussi qu'un simple trempage des graines d'arganier à l'eau pendant trois ou quatre jours favorisera un pourcentage élevé de germination. Cependant, FAOUZI *et al.* (1978) [16] ont montré que la germination des graines de l'arganier a été affectée par la durée de l'imbibition. En effet, le taux de germination le plus important (88%) a été affiché chez les graines imbibées pendant 48h.

2.2.- Effet de la contrainte saline sur la germination

Les essais relatifs au comportement d'*Argania spinosa* vis-à-vis de la salinité ont montré que les graines des différentes provenances étudiées sont particulièrement tolérantes et qu'elles sont capables de germer même en présence de fortes doses en sel, notamment 16 g/l NaCl (tab. I).

Tableau I.- Taux (TG) et temps moyen (TMG) de germination de trois provenances d'*Argania spinosa* sous l'effet des concentrations croissantes en NaCl

Provenances NaCl (g.l ⁻¹)	Oued Bouyhadine		Oued El-Gahaouane		Merkala	
	TG%	TMG (jours)	TG%	TMG (jours)	TG%	TMG (jours)
0	96,7	6,14	83,3	7,92	80	9,25
4	80,0	5,83	93,3	6,15	93,3	5,21
8	93,3	5,36	93,3	6,52	90	5,41
16	66,7	5,9	50	6,4	66,7	5,5

L'allure générale des courbes de cinétique de germination pour le témoin et les traitements de 4 et 8 g.l⁻¹ de NaCl est pratiquement semblable pour toutes les provenances testées à l'exception de la provenance d'Oued-Bouyhadine où le taux de germination passe de 96,7% à 80% pour les graines stressées à 4 g.l⁻¹ (fig. 5). Les résultats obtenus montrent également que le stress salin a nettement amélioré le temps moyen de germination et ça pour l'ensemble des provenances étudiées où il passe de 6,14 jours à 5,36 jours pour les graines

stressées à 8g/l de NaCl chez la provenance d'Oued-Bouyhadine, et de 7,92 jours à 6,15 jours pour les graines stressées à 4g/l chez la provenance d'Oued El-Gahaouane, il passe aussi de 9,25 jours à seulement 5,21 jours pour les graines de Merkala stressées à 4g/l de NaCl (tab. 1). L'arganier de Tindouf n'est affecté par le sel qu'à partir de 16 g.l⁻¹ et continu à germer en présence de cette forte concentration saline: 50% pour les graines provenant d'Oued El-Gahaouane et 66,7% pour celles issues d'Oued Bouyhadine et de Merkala. Nos résultats se concordent avec ceux de NDOUR et DANTHU (1984) [17] et de DANTHU *et al.* (2009) [18]. En effet, ces auteurs montrent que la germination des graines de l'*Acacia tortilis raddiana* est moins perturbée par la salinité. Les travaux de BENMAHIOUL *et al* (2009) ont montré également qu'une contrainte saline n'a pas affecté la germination *in vitro* chez le pistachier fruitier (*Pistacia vera* L.) et que pour l'ensemble des traitements appliqués, le pourcentage final de germination a été de 100% [3].

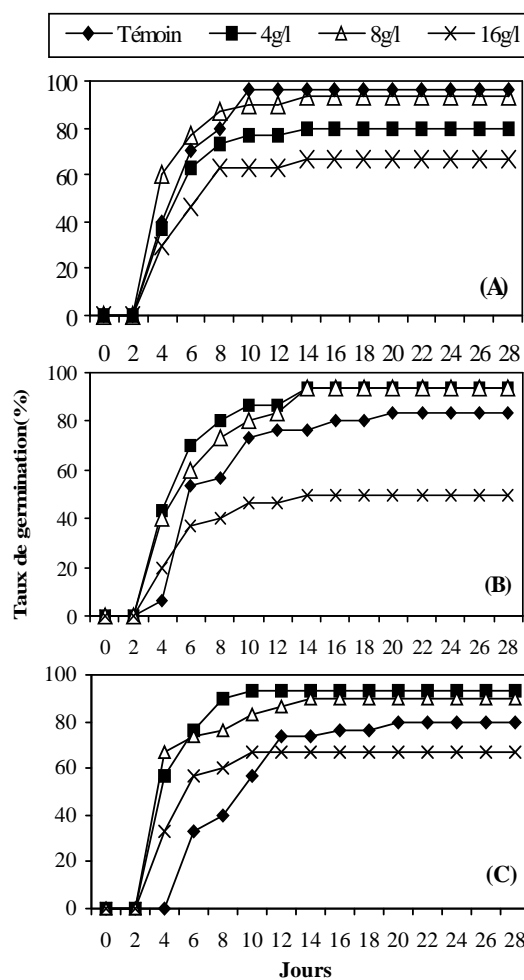


Figure 5.- Cinétique de germination sous l'effet de la contrainte saline chez les trois provenances testées d'*Argania spinosa* L: Oued Bouyhadine (A), Oued El Gahaouane (B) et Merkala (C)

En revanche, KHAN *et al.* (2002) [19] constatent que les concentrations croissantes en sel inhibent progressivement la germination des graines de *Salsola iberica* et peu de graines

germent en présence de 1000 mM de NaCl. Ainsi BOULGHALAGH *et al.* (2006) [20], ont montré que le stress salin a des effets hautement significatifs sur le taux de germination des graines du Jojoba (*Simmondsia chinensis*) soumise à différentes concentrations en NaCl. L'effet toxique du sel sur la germination a été observé également par GHARBI *et al.* (2011) [21] chez trois espèces d'Eucalyptus: *E. gomphocephala*; *E. astringens* et *E. sargentii*. Ces auteurs signalent que le sel réduit la germination et retarde sa vitesse pour les trois espèces étudiées. Cependant, *Eucalyptus astringens* s'est montré l'espèce la plus sensible dans la gamme de concentrations étudiées (0 à 14 g.l⁻¹ de NaCl). REDA-TAZI *et al.* (2001) [22] ont enregistré eux aussi un effet hautement significatif du sel sur la germination des graines de l'arganier, notamment chez les amandes semées à des concentrations de 7 et 9 g.l⁻¹ de NaCl. Les travaux de LACHHAB *et al.* (2013) [23], ont montré également qu'une diminution significative a été observée pour la moyenne de germination de *Medicago sativa* dans des conditions de stress. D'après PRADO *et al.* (2000), la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin serait due à un processus de dormance osmotique développé sous des conditions de stress, représentant ainsi une stratégie d'adaptation à l'égard des contraintes environnementales. La conversion de carbohydrates en sucres solubles jouant le rôle de régulation osmotique au niveau des cellules embryonnaires en phase de germination est alors inhibée [24].

La connaissance de la tolérance de la salinité au moment de la germination est une information utile mais non suffisante pour expliquer la distribution des espèces et leur développement dans les milieux salés [10]. Pour cela, la connaissance de l'effet de stress salin au stade plantule devient un impératif pour la réhabilitation et le reboisement de l'espèce dans les zones qui sont touchées par le problème de salinité.

2.3.- Effet de la contrainte saline sur la croissance

Pour mettre en évidence les potentialités d'adaptation d'*Argania spinosa* L de Tindouf en milieu salin, les plants de trois provenances (Merkala, Oued El-Gahaouane et Oued Bouyhadine) ont été exposés pendant deux mois à des concentrations croissantes en NaCl. Les essais ont montré que le nombre moyen de feuilles et de nœuds, la croissance pondérale (diamètre au collet), les longueurs moyennes des tiges et des racines ainsi que les biomasses fraîches et sèches aériennes et souterraines varient en fonction de la provenance (tab. II). En effet, l'appareil végétatif de l'arganier est la plus sensible à l'effet du stress salin que son système racinaire et ça pour l'ensemble des provenances testées. La réduction de la croissance de la partie aérienne est plus marquée chez la provenance de Merkala et la provenance d'Oued El-Gahaouane surtout sous l'effet de la plus forte concentration testée (16 g.l⁻¹ NaCl) (fig. 6). Nos résultats sont en accord avec ceux de LEMZERI (2006). Il signale que l'augmentation de la salinité induit une diminution de la croissance de la partie aérienne de *Schinus molle*, d'*Acacia cyanophylla*, et d'*Eucalyptus gomphocephala*, cependant, n'a pas d'effet significatif sur la croissance de leurs systèmes racinaires [25]. Ainsi, BENMAHIOUL *et al.* (2009) rapportent que la présence de NaCl dans le milieu de culture entraîne chez le pistachier fruitier, une diminution significative de la longueur de la tige et la production de feuilles par embryon développé. Cette réduction augmente avec la concentration du sel dans le milieu. Ils notent également que la réduction moyenne de la partie aérienne a été de 56,9%. Cependant, le stress salin, à l'exception de la plus forte concentration testée (256,6 mM) améliore de façon significative l'allongement de la radicule qui passe de 3,4 cm pour le témoin à 7,3 cm pour les

concentrations de 42,8 et 85,5 Mm [3]. En revanche, THORNTON *et al.* (n'ont pas constaté un effet du sel sur le développement des plants du chêne rouge. La longueur de la tige et l'accroissement racinaire ne sont pas affectés en présence de 7,5 mM de NaCl pour le Chêne rouge et de 16 mM de NaCl pour l'hêtre américain [26].

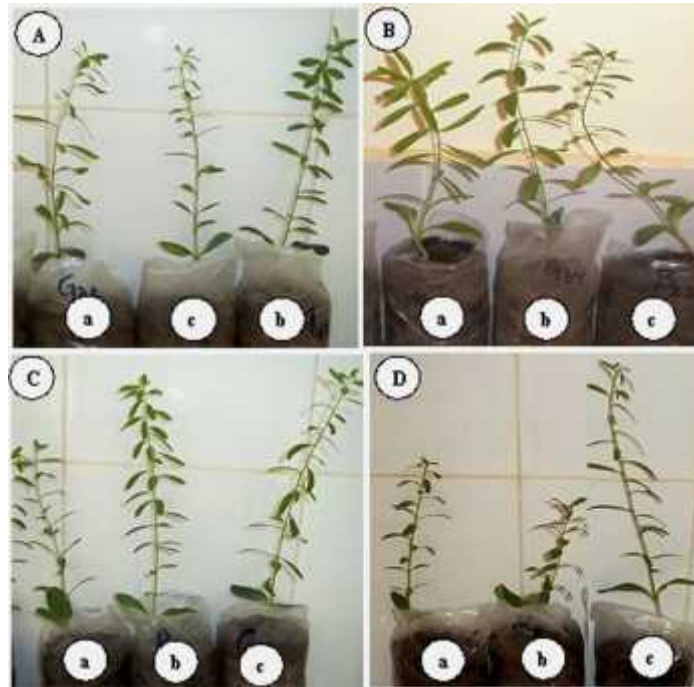


Figure 6.- Effet du stress salin (A: 0g /l de NaCl; B: 4g /l de NaCl; C: 8g /l de NaCl; D: 16g /l de NaCl) sur la croissance des jeunes semis d'*Argania spinosa* L issus des trois provenances (a: Oued El Gahaouane; b: Merkala; c:- Oued-Bouyhadine)

Chez la provenance de Merkala, la diminution de la croissance de la partie aérienne est accompagnée d'une réduction de la production des feuilles et des nœuds. En effet, l'organogenèse foliaire est fortement affectée. Le nombre moyen des feuilles par plantule passe de 21 pour le témoin à uniquement 13 feuilles environ pour le lot des plants stressés à 16 g/l de NaCl (tab. II). Toutefois, et à l'exception de la provenance de Merkala, le stress salin n'a aucune influence sur le diamètre au collet des plants issus des autres provenances étudiées. Nous signalons, cependant l'apparition des chloroses foliaires sous l'effet des concentrations plus élevées (16 g.l⁻¹) dès la 6^{ème} semaine du stress pour l'ensemble des provenances testées. Les feuilles atteintes arborent un aspect boursoufflé. Elles finissent par brunir et se dessécher entièrement. Les mêmes observations ont été faites par HAMROUNI *et al.* (2008) sur la vigne. Ils expliquent ce phénomène par le fait que l'augmentation de la salinité entraîne un dessèchement des vitropousses de vigne dans des conditions de salinité modérée. Le sel soumet principalement cette plante à un effet toxique, mais également osmotique [27].

Le déficit des biomasses enregistré chez les plants stressés de l'arganier, n'a pas affecté de façon similaire les deux parties de la plante. En effet, la croissance des racines a été moins affectée par le sel que celle de l'appareil végétatif (tab. II). Nos résultats sont en accords avec ceux obtenus par REDA TAZI *et al.* (2001). Ils ont montré que la germination et la croissance

in vitro des plants d'*Argania spinosa* L. sont affectées par le sel. Ils constatent que la partie aérienne est plus touchée par la salinité que les racines [22]. La résistance du système racinaire au stress salin peut être due à une diminution de l'allocation du carbone pour la croissance foliaire au profit de la croissance racinaire [28]. Chez d'autres plantes, le système racinaire est le plus sensible à la salinité que la partie aérienne. RADHOUANE (2008) a comparé le comportement de six écotypes de mil (*Pennisetum glaucum* L) soumis à des conditions de stress salin. Elle constate que l'effet de la salinité était plus significatif pour la croissance racinaire, avec des différences entre les écotypes étudiés [29]. Pareille pour la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *Sylvestris* (var. 'Séjène). Ainsi, la plante semble s'adapter au stress salin en réduisant en premier lieu son système racinaire préservant la partie aérienne devant maintenir et assurer la production de photosynthétats [30]. Cette différence de sensibilité entre les organes d'absorption et les organes photosynthétiques est caractéristique des plantes glycophytes [28, 31].

Au niveau de la production de biomasse, nos résultats ont montré que le sel à la dose de 4 g/l améliore les rendements en matière sèche chez la provenance de Merkala. En effet, les taux d'amélioration comparativement au témoin, ont été de l'ordre de 10,7% pour la partie aérienne et 18,6% pour le système racinaire. Pour les deux autres provenances étudiées (Oued-Bouyhadiné et Oued El-Gahaouane), nous avons noté également une augmentation de la biomasse sèche aérienne qui est de l'ordre de 3,7 et 29% respectivement, cependant, une réduction a été constaté pour de la biomasse sèche racinaire. Toutefois, le stress salin le plus sévère (16 g.l⁻¹) engendre une nette réduction des biomasses aériennes et souterraines chez l'ensemble des provenances étudiées. Nos résultats sont conformes avec ceux de TAFFOUO *et al.* (2004). Ils ont constaté que l'augmentation de la concentration saline entraîne chez *Mucuna poggei* et *Vigna unguiculata* une baisse de la biomasse sèche à 100 mM de NaCl [32]. Cependant, De ARAUJO *et al.* (2006) ont observé que la salinité induite chez *Atriplex nummularia* provoque une régression beaucoup plus marquée du poids sec des organes photosynthétiques que les racines [33]. Les travaux de THORNTON *et al.* (1988) ont rapporté que les poids de la matière fraîche et de la matière sèche des feuilles du chêne rouge sont réduits à partir de 7,5 mM de NaCl alors que celui des racines ne l'est pas [26]. De même BENMAHIOUL *et al.* (2009) ont rapporté que la présence de NaCl dans le milieu de culture provoque chez les vitroplants de *Pistacia vera* L. une réduction des poids frais et sec des parties aériennes alors qu'il améliore ceux des racines [3]. Cette réduction est en effet une réponse typique des plantes non halophytes à la salinité [34, 35, 36].

Conclusion

Les résultats obtenus au cours de cette étude ont montré une grande variabilité de réponse des semences aux différents traitements appliqués. En effet, le traitement par l'eau oxygénée tiède pendant 4 jours a donné le meilleur résultat avec un taux de germination qui est de l'ordre de 93,33%. Au-delà de cette durée de trempage dans l'eau oxygénée tiède, nous avons constaté une nette réduction du pouvoir germinatif chez l'arganier. En revanche, le traitement des graines dans l'eau tiède pendant 6 jours a aboutit à un rendement moyen en générale.

Les résultats de l'étude de la contrainte saline au stade germinatif ont montré une nette variabilité du comportement des provenances étudiées vis-à-vis du sel. En effet, les provenances de l'Oued-Bouyhadiné et de l'Oued El-Gahaouane' sont les plus tolérantes

comparativement à la provenance de Merkala. Les graines d'arganier continuent à germer même sous un stress sévère (16g/l de NaCl). En présence de cette forte dose saline, les taux de germination ont varié entre 50 et 66,66%, confirmant ainsi une tolérance au sel d'*Argania spinosa* au stade juvénile.

L'effet du sel semble affecter plus la croissance et le développement des plantules que la germination au sens strict, et l'appareil végétatif est le plus touché par le stress que le système racinaire. Nos résultats ont montré également une différence de comportement vis-à-vis du sel pour les trois provenances étudiées. En effet, les plants provenant de l'Oued El-Gahaouane et de l'Oued Bouyhadine' sont les plus tolérants comparativement à ceux issus de Merkala. Toutefois, l'arganier à l'âge juvénile se comporte comme une plante tolérante au sel. Il continue sa croissance (cas de la provenance de l'Oued-Bouyhadine) même en présence de forte dose en NaCl (16 g/l).

La tolérance de l'arganier au sel, mise en évidence à un stade de croissance précoce, reste à être confirmée au stade adulte. Toutefois, ce travail constitue une démarche intéressante pour la sélection précoce de génotypes tolérants au sel en vue de la réhabilitation et/ou l'extension de l'arganier dans les régions arides et semi arides, particulièrement celles touchées par la salinité en Algérie.

Références bibliographiques

- [1].- Mermoud A., 2006.- Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.
- [2].- Zid E., Grignon C., 1991.- Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. John Libbey. Eurotext, Paris: 91-108.
- [3].- Benmahioul B., Daguin F., Kaid-Harche M., 2009.- Effet du stress salin sur la germination et la croissance *in vitro* du pistachier (*Pistacia vera* L.).C. R. Biologies, 332: 164- 170.
- [4].- Rhodes J., Laveday J., 1990.- Salinity in irrigated agriculture riverside. USDA: 1089-1141.
- [5].- Bezzala A., 2005.- Essai d'introduction de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Mémoire de magistère. Université El Hadj Lakhdar, Batna, 96p.
- [6].- Côme D., 1970.- Les obstacles à la germination. Masson et Cie ,162 p.
- [7].- Dagnelie P., 1999.- Test d'ajustement à une loi et test d'indépendance de deux variables qualitatives. Analyse de la variance. In: Dayan A. *et al.* (éd.). Manuel de gestion (vol. 2). Paris, Ellipses: 876-890.
- [8].- Lebrun C., 1970.- Prétraitement des graines de Douglas à l'eau oxygénée. Revue forestière française, XXII: 473-476.

- [9].- Bonnet-Masimbert M., Muller C., 1974.- L'Utilisation de l'eau oxygénée pour la levée de dormance des graines de Douglas ne peut constituer qu'une solution de secours. Revue forestière française, XXVI: 135-138.
- [10].- Neffati M., 1994.- Caractérisation morpho-biologique de certaines espèces végétales nord africaines : implication pour l'amélioration pastorale. Thèse de doctorat, Université de Gand (Belgique), 170p.
- [11].- Aduradola A.M., Badru U., 2004.- Aspect of germination in seeds of *afzelia africana* Sm and *Terminalia ivorensis* A.Chev . Annales des Science Agronomique du Benin, 6(2): 175-184
- [12].- Rolston M.P., 1978.- Water impermeable seed dormancy. Bot. Rev. 44: 365-396.
- [13].- Tran V. N., Cavanagh A. K., 1984.- Structural aspects of dormancy: In: D. R. Murray (ed) Seed Physiology. Academic Press, Melbourne: 1-44.
- [14].- Benaouf Z., 2009.- Essais de germination: Etude physiologique et comportementale des plantules d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) soumis à un stress hydrique dans l'étage semi-aride ouest Algérien. Mémoire de magistère, Université des sciences et de la technologie «Houari Boumediene», 82p.
- [15].- Nouaim R., Chaussod R., 1993.- L'arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels). Le flamboyant, 27: 50-64.
- [16].- Faouzi K., Boukroute A., Reda Tazi M., Berrichi A., 2011. Etude de l'effet du temps d'imbibition sur la germination des graines d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) des Béni-Snassen (Maroc oriental). Congrès International sur l'Arganier. Acquis et perspectives de recherche scientifique, 15p.
- [17].- Ndour P., Danthu P., 1998.- Effet des contraintes hydriques et salines sur la germination de quelques acacias africains. In : Campa C., Grignon C., Gueye M. et Hamon S., eds. Colloques et séminaires : l'acacia au Sénégal. Orstom, Paris: 105-122.
- [18].- Danthu P., Roussel J. & Neffati M., 2003.- La graine et la germination d'*Acacia raddiana*. In : Grouzis M. & Le Floc'h E., eds. Un arbre au désert *Acacia raddiana*. Paris : IRD, 265-283.
- [19].- Khan M. A, Gul B., Weber D. J., 2002.- Seed germination in the Great Basin halophyte *Salsola iberica* .Can. J. Bot. (80): 650-655.
- [20].- Boulghalagh J., Berrichi A., El Halouani H., Boukroute A., 2006.- Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines du jojoba (*Simmondsia chinensis* [link] schneider).Recueil des résumés. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole, Settat, Maroc, 24p.

- [21].- Gharbi F., Kchaou R., Rejeb S., Khoudja L., Rejeb M.N., 2011.- Tolérance à la Salinité de Trois Espèces d'Eucalyptus aux Stades Germinatif et Plantule. *European Journal of Scientific Research* (2): 208-217.
- [22].- Reda-Tazi M., Berrichi A., Haloui B., 2001.- Germination et croissance *in vitro* de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) des Beni-Snasse (Maroc oriental) à différentes concentrations en NaCl. *Actes, int Agron.Vet (Maroc)*, 3(21): 163-168.
- [23].- Lachhab I., Louahlia S., Laamarti M., Hammani K., 2013.- Effet d'un stress salin sur la germination et l'activité enzymatique chez deux géotypes de *Medicago satives*. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 2(3): 511-516.
- [24].- Prado F. E., Boero C., Gallardo M., Gonzalez J. A., 2000.- Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds", *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 4:27-34.
- [25].- Lemzeri H., 2006.- Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. mölle*) soumises à un stress salin. Mémoire de magistère, Université de Mentouri Constantine, 180 p.
- [26].- Thornton F.C., Schaedle M., Raynal D.J., 1988.- Sensitivity of red oak (*Quercus rubra* L.) and american beech (*Fagus grandifolia* Ehrh) seedling to sodium salt in solution culture. *Tree Physiology*, 4: 167-172.
- [27].- Hamrouni L., Ben Abdellah F., Abdelly C., Ghorbel A., 2008.- La culture *in vitro* : un moyen rapide et efficace pour sélectionner des géotypes de vignes tolérants à la salinité. *C.R. Biologies*, 2(331): 152-163.
- [28].- Brugnoli E., Björkman O., 1992.- Growth of cotton under continuous salinity stress: influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components and dissipation of excess light energy. *Planta*, 187: 335-347.
- [29].- Radhouane L., 2008.- Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Autochtones de Tunisie. *C. R. Biologies*, 4(331): 278-28.
- [30].- Hamrouni L., Hanana M., Abdelly C., Ghorbel A., 2011.- Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : deux mécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* (var. 'Séjnène). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 15(3): 387-400.
- [31].- Bernstein N., Silk W.K., Lauchli A., 1993.- Spatial and temporal aspects of sorghum leaf growth under conditions of NaCl stress. *Planta* 191: 433-439
- [32].- Taffouo V. D., Kenne M., Tasse R., Wamba O. F., Fonkou T., Mvondo Z., Amougou A., 2004.- Variation de la réponse au stress salin chez cinq espèces de légumineuses. *Agronomie africaine*, 1(16): 33-44.

- [33].- De Araújo SAM., Silveira JAG., Almeida TD., Rocha IMA., Morais DL., Viéga RA., 2006.- Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. Grown under increasing NaCl levels. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental* 10: 848-854.
- [34].- Munns R., Termaat A., 1986.- Whole-plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 143-160.
- [35].- Alarcon J. J., Sanchez-Blanco M. J., Bolarin M. C., Torrecillas A., 1993.- Water relations and osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *L. pennellii* during short-term salt exposure and recovery. *Physiol. Plant.*, 89:441-447.
- [36].- Viegas R. A., Silveira J. A., 1999.- Ammonia assimilation and proline accumulation in young cashew plants during long-term exposure to salt salinity. *Revista brasileira de fisiologia vegetal*, 3(11): 153-159.

Tableau II.- Effet de la concentration en NaCl sur les paramètres de croissance, le nombre moyen de feuilles et de nœuds par plants et les biomasses fraîches et sèches des organes aériens et du système racinaire chez les trois provenances étudiées d'*Argania spinosa* (L). Pour chaque provenance, les valeurs de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil de 5% (P.A.: Partie aérienne; P.R.: Partie racinaire)

		Paramètres d'appréciation								
Provenances	NaCl (g.l ⁻¹)	Longueur moyenne (cm)		Nombre moyen par plant		Diamètre au collet (cm)	Biomasses fraîches (g)		Biomasses sèches (g)	
		P.A.	P.R.	Feuilles	Nœuds		P.A.	P.R.	P.A.	P.R.
Merkala	0	15,7±4,0 ^a	20,3±8,4 ^a	20,9±6,3 ^a	18,4±5,6 ^a	2,7±0,3 ^b	0,75±0,07 ^a	0,18±0,07 ^b	0,18±0,05 ^a	0,04±0,01 ^a
	4	15,6±1,9 ^a	25,1±5,3 ^a	19,4±3,9 ^a	16,9±3,9 ^a	3,4±0,5 ^a	0,90±0,25 ^a	0,20±0,10 ^b	0,20±0,05 ^a	0,05±0,02 ^a
	8	13,8±2,5 ^a	22,0±13,1 ^a	18,4±5,8 ^a	15,8±5,2 ^a	2,8±0,5 ^b	0,77±0,28 ^a	0,22±0,12 ^b	0,17±0,06 ^a	0,05±0,02 ^a
	16	12,5±6,4 ^a	18,6±6,9 ^a	17,5±11,7 ^a	15,2±11,4 ^a	2,9±0,4 ^b	0,93±0,10 ^a	0,34±0,12 ^a	0,16±0,05 ^a	0,06±0,02 ^a
Oued Gahouane	0	15,7±2,6 ^{ab}	23,2±10,2 ^a	23,0±3,6 ^a	19,9±3,7 ^{ab}	2,8±0,2 ^a	0,66±0,21 ^{ab}	0,23±0,06 ^a	0,16±0,06 ^a	0,07±0,02 ^a
	4	18,2±4,2 ^a	26,5±8,1 ^a	23,6±5,8 ^a	21,0±5,6 ^a	2,8±0,4 ^a	0,85±0,20 ^a	0,20±0,09 ^a	0,20±0,05 ^a	0,06±0,01 ^a
	8	12,5±3,8 ^b	24,7±9,9 ^a	17,8±4,5 ^b	15,5±4,4 ^b	2,9±0,5 ^a	0,79±0,22 ^{ab}	0,19±0,09 ^a	0,18±0,06 ^a	0,05±0,02 ^a
	16	16,2±2,9 ^a	21,9±3,0 ^a	21,5±4,5 ^{ab}	18,8±4,5 ^{ab}	3,2±0,4 ^a	0,58±0,28 ^b	0,22±0,07 ^a	0,15±0,05 ^a	0,05±0,01 ^a
Oued Bouyhadine	0	18,6±3,8 ^a	23,2±11,0 ^a	23,4±5,0 ^a	21,0±4,8 ^a	2,8±0,3 ^a	0,72±0,18 ^a	0,17±0,04 ^b	0,19±0,05 ^a	0,06±0,01 ^a
	4	19,1±3,2 ^a	23,8±2,8 ^a	22,4±4,0 ^a	20,3±4,2 ^a	2,9±0,2 ^a	0,84±0,08 ^a	0,16±0,04 ^b	0,20±0,03 ^a	0,06±0,02 ^a
	8	18,0±3,6 ^a	21,4±4,7 ^a	22,1±3,8 ^a	19,4±3,2 ^a	2,9±0,4 ^a	0,80±0,26 ^a	0,26±0,07 ^a	0,18±0,06 ^a	0,05±0,02 ^a
	16	18,5±2,9 ^a	20,8±4,3 ^a	21,4±3,8 ^a	18,9±3,5 ^a	3,2±0,4 ^a	0,77±0,19 ^a	0,26±0,09 ^a	0,17±0,04 ^a	0,05±0,01 ^a

COMPOSITION AVIFAUNISTIQUE DANS UN REBOISEMENT DE PIN D'ALEP A CHBIKA (AIN MAÂBED-DJELFA, ALGERIE)

SOUTTOU Karim^{1*}, SEKOUR Makhoulf², ABABSA Labeled², GUEZOUL Omar²,
CHOUKRI Karima¹ et DOUMANDJI Salaheddine³

⁽¹⁾Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département d'Agropastoralisme
Université de Djelfa, Djelfa, Algérie

⁽²⁾Département des Sciences Agronomiques, Université de Ouargla, Ouargla, Algérie

⁽³⁾Département de Zoologie, Ecole nationale supérieure agronomique, El Harrach, Alger, Algérie
E-Mail: kasouttou@yahoo.fr

Résumé.- Dans la présente étude 38 espèces aviennes ont été recensées dans le massif forestier de Chbika par la méthode des E.F.P. et celle des I.P.A. Ces espèces se répartissent entre 6 ordres et 15 familles dont 30 espèces ont été inventoriées par les E.F.P. et 26 espèces par les I.P.A. Les espèces communes entre les deux méthodes sont au nombre de 19. L'ordre des Passeriformes est le mieux représenté avec 10 familles et 27 espèces. Parmi les espèces les plus recensées par la méthode des E.F.P., il est noté la Mésange noire (*Periparus ater*) et le Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*) avec 58 individus chacune des deux espèces (16,4%). Tandis que parmi les espèces d'oiseaux les plus recensées par les I.P.A., il faut signaler le Bec-croisé des sapins (*Loxia curvirostra*) avec 13,6% et le Cochevis huppé (*Galerida cristata*) avec 12%.

Mots clés: Avifaune, espèces, Chbika, E.F.P., I.P.A.

COMPOSITION OF THE AVIFAUNA IN AN ALEPPO PINE AT CHBIKA (AIN MAÂBED, DJELFA)

Abstract.- In this study 38 birds species were listed in the main forest of Chbika by the method of the EFP and that of the IPA. These species were distributed between 6 orders and 15 families whose 30 species were inventoried by the EFP and 26 species by the IPA. The common species between both methods is 19. The order of Passeriformes was best represented with 10 families and 27 species. The dominant species counted by the EFP method was the Coal Tit (*Periparus ater*) and the Chaffinch (*Fringilla coelebs*) with 58 individuals each species (16.4%). While the Common Crossbill (*Loxia curvirostra*) and Crested Lark (*Galerida cristata*) were most counted by the I.P.A. methods with respectively 13.6% and with 12%.

Key words: Avifauna, Chbika, Aleppo pine, forest, EFP, IPA.

Introduction

La wilaya de Djelfa possède un patrimoine forestier mélangé entre forêts naturelles et autre artificielles ou reboisements. D'après les données de la conservation des forêts de Djelfa, les forêts naturelles de la wilaya de Djelfa sont constituées par 6 massifs bien distincts, d'une superficie globale de l'ordre de 152.753,0578 hectares. Parmi ces massifs, il est à citer celui de Séhary Guebli, localisés à l'Est de la commune de Djelfa, c'est une forêt naturelle de l'Atlas saharien qui constitue l'un des derniers rideaux biologiques séparant le milieu aride des zones semi arides, elle s'étend sur une surface de protection de 32.400 hectares [1]. En outre, le reboisement dans cette forêt possède une place bien particulière, avec une superficie de 8.200 hectares. Ce reboisement est consacré au Pin d'Alep *Pinus halepensis*.

Peu de travaux ont été consacrés aux espèces aviennes de la steppe algérienne. Même les publications ou ouvrages classiques de HEIM de BALSAC et MAYAUD (1962) [2], d'ETCHECOPAR et HUE (1964) [3], de BURNIER (1979) [4] et de LEDANT *et al.* (1981) [5] s'appuient sur des observations ponctuelles. Parmi les études de recensement des oiseaux forestiers en Algérie nous citons les travaux, de BAICHI (1987) sur la faune et notamment l'avifaune du parc national de Thniet El Had [6], de DOUMANDJI *et al.* (1993) [7] en étudiant le peuplement avien dans une Chênaie mixte dans le parc National de Taza (Jijel, Algérie) et de MAZARI (1996) dans le parc national de Chréa [8]. Tandis que les travaux réalisés à Djelfa sont limités par celui KHIREDDINE (1977) dans le massif forestier de Sénalba Chergui [9] et de BENMESSAOUD (1982) sur l'avifaune fréquentant la steppe à Alfa dans la région de M'Liliha (Djelfa) [10].

L'étude de l'évolution de l'avifaune d'un cycle annuel fournit d'importantes indications sur la diversité des niches offertes par le biotope et sur le partage des ressources disponibles [11; 12]. L'évolution des ressources disponibles influence l'évolution du nombre d'espèces et celle de la composition d'une catégorie avienne. La classification des différentes espèces suivant leur présence le long du cycle annuel dans les pinèdes permet de définir la répartition des différentes catégories aviennes pendant les saisons [13].

La présente étude est une contribution à la connaissance d'une partie de la faune fréquentant la pinède de reboisement de Chbika. C'est une étude qui rentre dans le cadre de la biodiversité, en vue d'enrichir l'inventaire local et participer à compléter notre patrimoine national. L'un des objectifs complémentaires de ce travail est de faire reconnaître la nécessité d'une meilleure prise en compte de la biodiversité faunistique dans les évaluations d'impact sur l'environnement réalisées dans la forêt. En outre, on signale aussi qu'il faut tenir compte des variations mensuelles des recensements quantitatives réalisés afin de montrer l'influence des facteurs abiotiques et biotiques du milieu sur la faune recensée.

1.- Matériels et méthode

La présente étude a été réalisée dans un reboisement de Pin d'Alep situé à Chbika. Cette dernière se trouve au Sud-Ouest de la réserve de chasse de Djelfa (34° 43' N.; 3° 15' E.) et sise non loin à l'Est de la route nationale reliant la ville de Djelfa à celle d'Alger. Elle est située à 15 km de Ain Maâbed (34° 48' N.; 3° 8' E.) et à 3 km (34° 41' N.; 3° 15' E.) du chef lieu de la wilaya de Djelfa (fig. 1). Le climat de la région d'étude durant la période d'échantillonnage en 2008 est caractérisé par un total de précipitation de 337,3 mm. La température moyenne varie entre 4,4°C. en décembre et 27,7°C. en juillet. La région d'étude appartient à l'étage bioclimatique semi-aride à hiver froid.

Le pin d'Alep est l'essence principale de ce reboisement, âgé de 38 ans. Le patrimoine faunistique est essentiellement des régions semi-arides et arides. Il se compose de gibiers sédentaires (perdreux gabra, lièvre), des gibiers migrateurs (caille des blés, pigeon ramier, tourterelle des bois) et d'espèces menacées introduites (gazelle dorcas, mouflons à manchettes et cerf daim). Les ressources aquifères existent grâce au forage [14]. Le reboisement s'étend sur une surface de 256 ha de reboisement, de nature juridique domaniale, soumis au régime forestier, de 2,91 ha de vides labourables et de 7,7 Km de réseau de pistes, avec une altitude culminante à 1160 m et la moins élevée à 1100 m. Les principales espèces végétales qui sont rattachées avec le groupement de pin d'Alep sont : *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*, *Cistus villosus*, *Stipa tenacissima*, *Rosmarinus tournefortii*, *Globularia alypum*, *Teucrium polium*, *Thymus algeriensis*, *Artemisia herba alba* (fig. 2).

Le dénombrement de l'avifaune est réalisé selon deux méthodes celle de l'estimation fréquentielle progressive (E.F.P.) et celle de l'indice ponctuelle d'abondance (I.P.A.). La méthode des E.F.P. ne permet pas d'obtenir des densités, car il s'agit de relevés en présence et en absence. Mais elle donne plus rapidement un inventaire, c'est à dire la richesse d'un peuplement avien [15]. La méthode consiste à effectuer au niveau de chaque station d'écoute un relevé de 20 minutes. L'observateur peut effectuer 5 relevés par jour. La connaissance de la richesse d'un peuplement progresse avec le nombre de sondages jusqu'à atteindre un palier qui tend vers le nombre total des espèces présentes dans le milieu étudié [15].

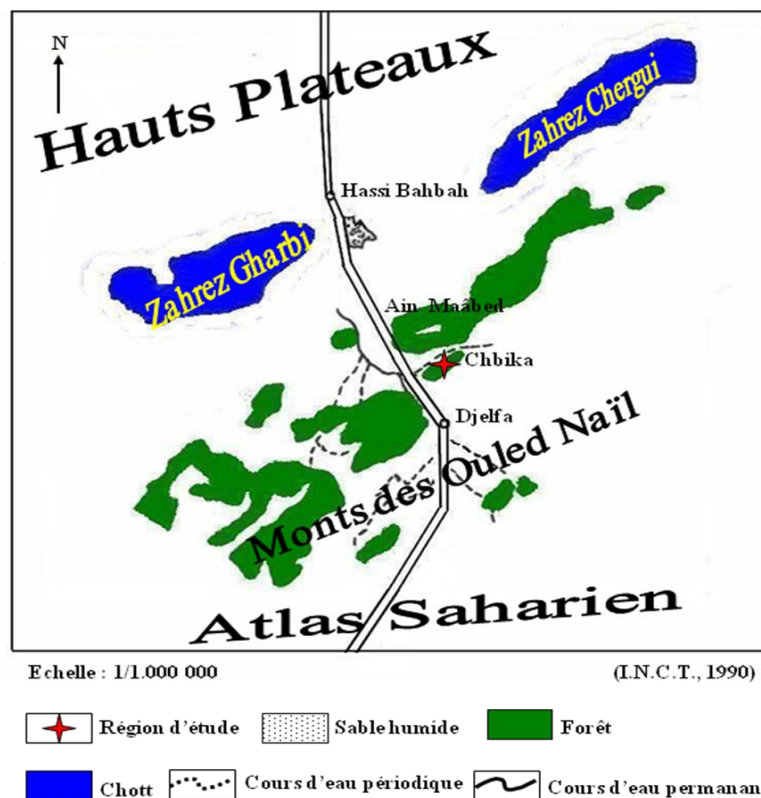


Figure 1 : Localisation géographique du massif forestier de Chbika (I.N.C.T., 1990)



Figure 2: Groupement de pin d'Alep à Chbika (originale)

Les points d'écoutes ont été réalisés par la méthode d'estimation fréquentielle progressive (E.F.P.) dans un reboisement de pin d'Alep depuis juillet 2008 jusqu'au février 2009, afin d'estimer les variations des effectifs des oiseaux recensés. L'échantillonnage a été effectué une fois par mois, à raison de 5 points d'écoutes ou 5 E.F.P. Comme matériels on a utilisé une paire de jumelle, d'un relevé ronéotypé et un guide d'identification des oiseaux.

La méthode des I.P.A. exprime l'abondance des oiseaux forestiers, elle consiste à dénombrer les oiseaux de toutes espèces identifiées à partir d'un point fixe [16]. L'emploi de cette méthode implique de la part de l'observateur une immobilité relative au même endroit. Il peut bouger sur place et tourner sur lui-même pour mieux observer durant 15 à 20 minutes. Il note tous les contacts qu'il a avec les oiseaux exactement comme s'il marchait [17]. Selon OCHANDO (1988) cette période de 20 minutes est découpée en quatre tranches de 5 minutes chacune dans un double but, d'une part pour analyser l'incidence de la durée des comptages sur les résultats et d'autre part pour utiliser éventuellement ces données pour des comparaisons avec des I.P.A. de plus courte durée [15].

Il faut noter que chaque I.P.A. doit être effectué tôt le matin dans les deux heures qui suivent le lever du soleil, lorsque le chant des oiseaux est le plus intense et dans de bonnes conditions météorologiques. Muller (1985) [18] souligne que les contacts sont traduits en nombre de couples selon la convention suivante. Un contact avec un mâle chanteur, un couple observé, un nid occupé ou un groupe familial est noté par 1 correspondant à un canton ou à un couple. Par contre 0,5 couple est attribué à un oiseau observé en train de voler ou de manger ou entendu par un cri. A l'issue des deux comptages ou IPA partiels pour chaque point, le nombre de couples le plus élevé est retenu. Il constitue l'I.P.A._{max} de l'espèce pour le point et l'année prise en considération [15]. Dans le cadre de cette étude 2 I.P.A. partiels sont réalisés durant la période de reproduction de l'année 2009. Chaque I.P.A. partiel est composé de 15 I.P.A. unités. Ces I.P.A. sont effectués tôt le matin avec 5 I.P.A. unités chaque jour pendant les mois de mars et d'avril.

Les résultats obtenus ont été exploités par les indices suivants:

- l'abondance relative (AR %) qui est le rapport du nombre des individus d'une espèce d'oiseaux (ni) au nombre total des individus, toutes espèces confondues (N) [19]

$$A.R. \% = (ni/N)*100 \quad (1)$$

- l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H'), considéré comme l'un des meilleurs moyens d'exprimer la diversité d'un peuplement d'oiseaux [20] :

$$H' = -\sum qi \log_2 qi \quad (2)$$

où H' est l'indice de diversité exprimé en bits et qi la fréquence relative de l'espèce i prise en considération;

- l'indice d'équitabilité (E) qui est le rapport de la diversité observée (H') à la diversité maximale (H' max) [21]:

$$E = H'/H_{max} \quad (3)$$

La diversité maximale est donnée par la formule :

$$H'_{max} = \log_2 (S) \quad (4)$$

où S est la richesse totale [22]. L'équitabilité varie entre 0 et 1.

Si $E < 0,5$ la régularité est faible et les espèces ne sont pas équitablement réparties.

Si $E > 0,5$ la régularité est élevée et les espèces sont équitablement réparties.

2. Résultats

2. 1.- Liste systématique des espèces aviennes recensées par la méthode des estimations fréquentielles progressives (E.F.P.) et celle des indices ponctuels d'abondance (I.P.A.)

Les espèces d'oiseaux recensées dans le massif forestier de Chbika par la méthode des E.F.P. et celle des I.P.A. sont mentionnées dans le tableau I. L'ordre adopté est celui de Mullarnet *et al.* (1999) [23].

Il est à noter que 38 espèces aviennes ont été recensées dans le massif forestier de Chbika par la méthode des E.F.P. et celle des I.P.A. Ces espèces se répartissent entre 6 ordres et 15 familles dont 30 espèces ont été inventoriées par les E.F.P. et 26 espèces par les I.P.A. Les espèces communes entre les deux méthodes sont au nombre de 19 (tab. I).

Tableau I: Liste systématique des espèces d'oiseaux recensées par les E.F.P. et les I.P.A. dans le massif forestier de Chbika

Ordres	Familles	Noms scientifiques	Noms communs	C. faunist.	C. troph.	C. Phén.
Falconiformes	Accipitridae	<i>Aquila chrysaetos</i>	Aigle royal	E.	C.	N.s.
	Falconidae	<i>Falco tinnunculus</i>	Faucon crécerelle	A.M.	C.	N.s.
		<i>Falco peregrinus</i>	Faucon pèlerin	A.M.	C.	N.s.
Galliformes	Phasianidae	<i>Alectoris barbara</i>	Perdrix gabra	M.	G.	N.s.
		<i>Phasianus colchicus</i>	Faisan de Colchide	E.	G.	N.s.
Columbiformes	Columbidae	<i>Columba livia</i>	Pigeon biset	T.M.	G.	N.s.
		<i>Columba palumbus</i>	Pigeon ramier	E.T.	G.	N.s.
		<i>Streptopelia decaocto</i>	Tourterelle turque	I.A.	G.	N.s.
		<i>Streptopelia turtur</i>	Tourterelle des bois	E.T.	G.	M.e.
Coraciiformes	Meropidae	<i>Merops apiaster</i>	Guêpier d'Europe	T.M.	I.	M.e.
Upupiformes	Upupidae	<i>Upupa epops</i>	Huppé fasciée	A.M.	I.	N.s.
Passeriformes	Picidae	<i>Dendrocopos minor</i>	Pic épeichette	E.	I.	N.s.
		<i>Picus viridis</i>	Pic vert	E.	I.	N.s.
	Alaudidae	<i>Lullula arborea</i>	Alouette lulu	Pal.	Poly.	N.s.
		<i>Galerida cristata</i>	Cochevis huppé	Pal.	G.	N.s.
		<i>Alauda arvensis</i>	Alouette des champs	Pal.	I.	N.s.
		<i>Calandrella rufescens</i>	Alouette pispolette	Pal.	Poly.	N.s.
	Turdidae	<i>Erithacus rubecula</i>	Rouge gorge familier	E.	Poly.	N.s.+M.
		<i>Phoenicurus ochruros</i>	Rougequeue noir	E.	I.	M.h.
		<i>Saxicola torquata</i>	Tarier pâtre	Pal.	I.	N.s.
		<i>Turdus merula</i>	Merle noir	E.	Poly.	N.s.
		<i>Turdus philomelos</i>	Grive musicienne	E.	Poly.	M.h.
	Laniidae	<i>Lanius excubitor</i>	Pie grièche grise	Eth.	Poly.	N.s.
	Sylviidae	<i>Phylloscopus collybita</i>	Pouillot véloce	Pal.	I.	N.s.+M.
		<i>Sylvia communis</i>	Fauvette grisette	M.	Poly.	M.e.
		<i>Sylvia undata</i>	Fauvette pitchou	E.	G.	N.s.
		<i>Sylvia melanocephala</i>	Fauvette mélanocéphale	M.	Poly.	N.s.+M.
Paridae	<i>Periparus ater</i>	Mésange noire	Pal.	Poly.	N.s.	

	<i>Parus major</i>	Mésange charbonnière	Pal.	Poly.	N.s.
Corvidae	<i>Corvus corax</i>	Grand corbeau	H.	O.	N.s.
	<i>Pica pica</i>	Pie bavarde	Pal.	G.	N.s.
Fringillidae	<i>Fringilla coelebs</i>	Pinson des arbres	M.	G.	N.s.
	<i>Serinus serinus</i>	Serin cini	M.	G.	N.s.
	<i>Carduelis chloris</i>	Verdier d'Europe	M.	G.	N.s.
	<i>Loxia curvirostra</i>	Bec-croisé des sapins	H.	G.	N.s.
	<i>Carduelis carduelis</i>	Chardonneret élégant	E.T.	G.	N.s.
Passeridae	<i>Passer sp.</i>	Moineau hybride	M.	Poly.	N.s.
Sturnidae	<i>Sturnus vulgaris</i>	Etourneau sansonnet	E.	Poly.	M.h.

- Catégorie faunistique (C. faunist.) : E. : Européen, M. : Méditerranéen, Pal. : Paléarctique; H. : Holarctique; A.M. : Ancien Monde; E.T. : Européo-Turkestanien; T.M. : Turkestan-Méditerranéen, I.A. : Indo-Africain; Eth. : Ethiopien.

- Catégorie phénologique (C. phén.) : N.s. : Nicheur sédentaire; M.h. : Migrateur hivernant; M.e. : Migrateur estivant; N.s. + M. : Nicheurs sédentaire + Migrateur; M.p. : Migrateur de passage.

- Catégorie trophique (C. troph.) : C. : carnivore; G. : granivore; I. : Insectivore; O. : Omnivore; Poly. : Polyphage.

La catégorie faunistique est représentée par 10 espèces Européennes, 9 espèces Paléarctiques, 7 espèces Méditerranéennes, 3 espèces Européo-Turkestanien, 2 espèces Holarctique, 3 espèces de l'Ancien monde, 2 espèces Turkestan-Méditerranéen, 1 espèce Indo-Africaine et 1 espèce Ethiopienne (fig. 3). La catégorie trophique est représentée par 14 espèces granivores, 11 espèces polyphages, 9 espèces insectivores, 3 espèces carnivores et 1 espèce omnivore (fig. 4). Pour ce qui concerne la catégorie phénologique, il a été trouvé 28 espèces nicheuses sédentaires, 4 espèces migratrices estivantes, 3 espèces nicheuses et migratrices et 3 espèces migratrices hivernantes (fig. 5).

L'ordre des Passeriformes est le mieux représenté avec 10 familles (62,5%), 24 genres (75%) et 27 espèces (71,1%). Il est suivi par celui des Falconiformes avec 2 familles (12,5%), 2 genres (6,3%) et 3 espèces (7,9%). L'ordre des Columbiformes est représenté par une famille (6,3%) et 4 espèces (10,5%).

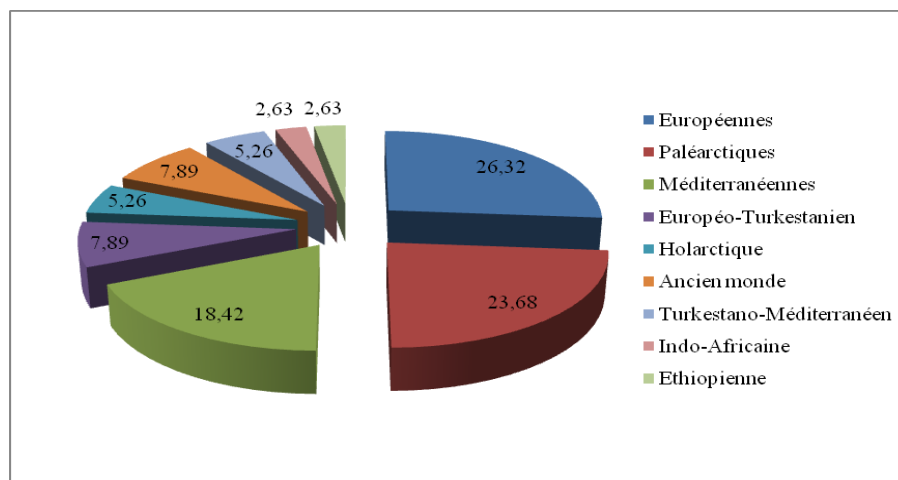


Figure 3: Répartition des espèces aviennes selon leurs origines biogéographiques

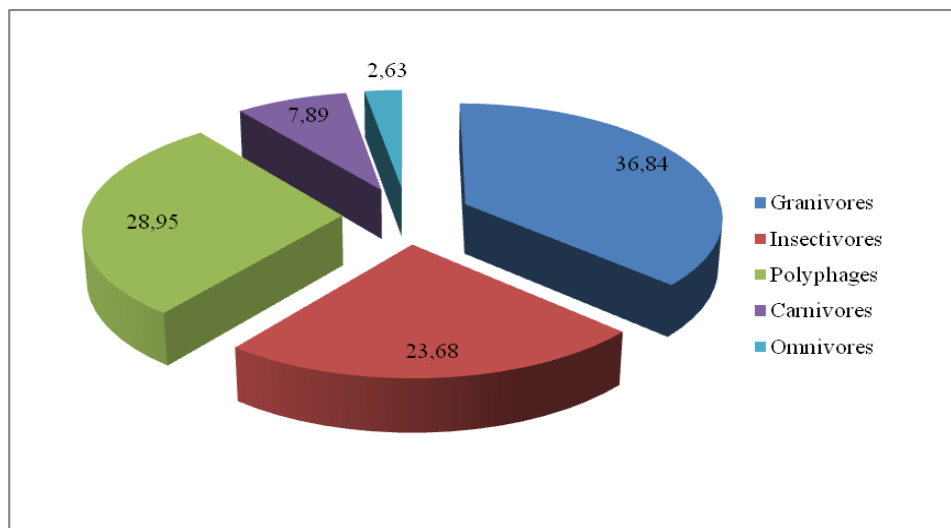


Figure 4: Répartition des espèces aviennes selon leur régime alimentaire

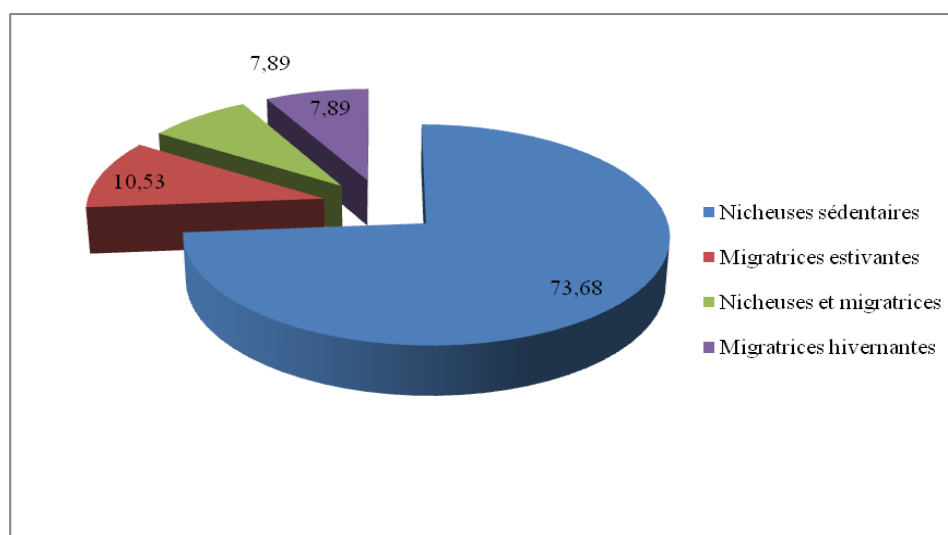


Figure 5: Répartition des espèces aviennes selon leur statut phénologique

2.2.- Abondance relative et diversité des espèces aviennes recensées par la méthode des E.F.P.

Les valeurs de l'abondance relative et de la diversité des espèces aviennes recensées par les E.F.P. dans le reboisement de Chbika sont présentées dans le tableau II.

Les espèces les plus dominantes parmi les 27 espèces inventoriées dans le massif forestier de Chbika sont la Mésange noire (*Periparus ater*) et le Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*) avec 58 individus chacune des deux espèces correspondant à un pourcentage égal à 16,4%. La deuxième position revient au Cochevis huppé (*Galerida cristata*) avec 50 individus (14,2%). Le Bec croisé des sapins (*Loxia curvirostra*) avec 30 individus (8,5%) vient en troisième rang avant le Moineau hybride (*Passer domesticus* x *P. hispaniolensis*) qui occupe la quatrième place avec 28 individus (7,9%). Quant aux autres espèces aviennes leurs taux varient entre 0,3% et 4,8%.

Tableau II.- Abondance relative (A.R. %) et diversité des espèces aviennes recensées entre juillet 2008 et février 2009 par la méthode des E.F.P. à Chbika
(AR % : Abondance relative; - : espèce absente; ni : Nombre d'individus)

Espèces	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	ni	AR %
<i>Alectoris barbara</i>	-	3	-	-	7	2	2	1	15	4,24
<i>Phasianus colchicus</i>	8	-	1	5	2	-	-	1	17	4,80
<i>Columba livia</i>	-	-	-	1	-	1	-	-	2	0,56
<i>Columba palumbus</i>	-	-	-	-	6	-	-	-	6	1,69
<i>Streptopelia decaocto</i>	14	-	3	-	-	-	-	-	17	4,80
<i>Streptopelia turtur</i>	6	-	-	-	-	-	-	-	6	1,69
<i>Merops apiaster</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	2	0,56
<i>Upupa epops</i>	-	-	1	-	-	1	-	-	2	0,56
<i>Dendrocopos minor</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	1	0,28
<i>Picus viridis</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	1	0,28
<i>Galerida cristata</i>	-	1	1	14	19	5	4	6	50	14,12
<i>Calandrella rufescens</i>	-	4	-	12	-	-	-	-	16	4,52
<i>Turdus merula</i>	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0,85
<i>Saxicola torquata</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	1	0,28
<i>Lanius excubitor</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	1	0,28
<i>Phylloscopus fuscatus</i>	-	1	3	1	3	-	-	-	8	2,26
<i>Sylvia undata</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	1	0,28
<i>Periparus ater</i>	-	5	6	27	9	9	-	3	59	16,67
<i>Parus major</i>	1	-	7	2	-	-	-	-	10	2,82
<i>Pica pica</i>	-	-	-	-	2	-	-	-	2	0,56
<i>Fringilla coelebs</i>	12	4	5	1	25	4	1	6	58	16,38
<i>Serinus serinus</i>	1	-	-	1	6	1	-	-	9	2,54
<i>Carduelis chloris</i>	-	-	-	0	1	-	-	-	1	0,28
<i>Carduelis carduelis</i>	-	-	2	1	3	-	-	1	7	1,98
<i>Loxia curvirostra</i>	-	8	3	13	4	-	-	2	30	8,47
<i>Passer sp.</i>	-	3	8	8	5	1	3	-	28	7,91
<i>Strunus vulgaris</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	1	0,28
Totaux	46	29	40	86	95	25	10	23	354	100%
H' (bits)	2,53	2,75	3,15	2,82	3,32	2,64	1,85	2,65	2,61	
Equitabilité	0,80	0,92	0,91	0,79	0,83	0,83	0,92	0,88	0,79	

Il est constaté que la diversité est moyenne en novembre ($H' = 3,32$ bits) et en septembre ($H' = 3,15$ bits). Tandis que durant le reste des mois la diversité est faible avec des valeurs qui fluctuent entre 1,85 bits en janvier et 2,82 bits en octobre. Les valeurs de l'équitabilité sont supérieures à 0,70. Ce qui nous permet de dire que la régularité est élevée et les espèces sont équitablement réparties durant les huit mois d'échantillonnage.

2.3.- Dénombrement des oiseaux observés grâce à la méthode des indices ponctuels d'abondances (I.P.A.) dans le reboisement de pin d'Alep (Chbika, Djelfa)

Dans ce qui va suivre sont mentionnés les résultats sur le dénombrement des espèces aviennes par la méthode des indices ponctuels d'abondance. En premier les valeurs

des I.P.A. moyens sont données, puis elles sont suivies par les différents indices écologiques calculés à partir des résultats des I.P.A.

2.3.1.- Oiseaux observés grâce par la méthode des I.P.A.

Les résultats obtenus par la méthode des indices ponctuels d'abondance sont mentionnés dans le tableau III.

Tableau III.- Valeurs des I.P.A. moyens et I.P.A max pour les espèces contactées par la méthode des I.P.A. durant la période s'étalant de mars à avril 2009
(I.P.A. moy. 1 et 2 : Indice ponctuel d'abondance moyen 1 et 2; - : espèce absente)

Espèces	Mois	Mars	Avril	I.P.A. max
		(I.P.A. moy. 1)	(I.P.A. moy. 2)	
<i>Alectoris barbara</i>		1,27	0,7	1,27
<i>Phasianus colchicus</i>		0,67	0,6	0,67
<i>Columba palumbus</i>		0,2	0,13	0,2
<i>Streptopelia turtur</i>		-	0,17	0,17
<i>Merops apiaster</i>		-	0,13	0,13
<i>Upupa epops</i>		-	0,07	0,07
<i>Lullula arborea</i>		0,3	0,27	0,3
<i>Galerida cristata</i>		2,27	1,53	2,27
<i>Alauda arvensis</i>		0,1	-	0,1
<i>Calandrella rufescens</i>		0,4	0,17	0,4
<i>Lanius excubitor</i>		0,5	0,43	0,5
<i>Phylloscopus collybita</i>		0,27	0,13	0,27
<i>Sylvia communis</i>		-	1	1
<i>Sylvia melanocephala</i>		0,13	-	0,13
<i>Erithacus rubecula</i>		0,73	0,1	0,73
<i>Phoenicurus ochruros</i>		-	0,63	0,63
<i>Turdus merula</i>		0,1	0,5	0,53
<i>Turdus philomelos</i>		0,13	0,07	0,13
<i>Periparus ater</i>		1,5	0,9	1,5
<i>Parus major</i>		1,3	0,73	1,3
<i>Pica pica</i>		-	0,13	0,13
<i>Fringilla coelebs</i>		1,93	0,67	1,93
<i>Serinus serinus</i>		2,03	1,43	2,03
<i>Carduelis chloris</i>		0,73	0,07	0,73
<i>Loxia curvirostra</i>		2,3	1,13	2,3
<i>Passer sp.</i>		-	1,1	1,1

Selon le tableau III, il ressort que le Bec croisé des sapin (*Loxia curvirostra*) possède l'indice ponctuel d'abondance maximale le plus élevé dans la forêt de pin d'Alep de Chbika (I.P.A. max. = 2,3 couples). En deuxième position on trouve le Cochevis huppé (*Galerida cristata*) avec 2,27 couples. Le Serin cini *Serinus serinus* vient en troisième place avec un I.P.A max de 2,03 couples. Quant au Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*), il

occupe le quatrième rang avec 1,93. La cinquième position revient à *Alectoris barbara* avec un I.P.A. max de 1,27. La Mésange noire (*Periparus ater*) vient en sixième position (I.P.A. max = 1,5) avant la Mésange charbonnière *Parus major* (I.P.A. max = 1,3), la Grive musicienne (*Turdus philomelos*) (I.P.A. max = 1,13) et le Moineau hybride *Passer domesticus* x *P. hispaniolensis* (I.P.A. max = 1,1). Les autres espèces aviennes possèdent un I.P.A. max inférieur à 1.

2.3.2.- Abondance relative et diversité des espèces aviennes observées grâce aux I.P.A.

Les données concernant l'abondance relative et la diversité des espèces aviennes contactées par la méthode des I.P.A. sont présentées dans le tableau IV.

Tableau IV.- Abondance relative et diversité des espèces aviennes observées grâce aux I.P.A. (A.R. % : Abondance relative; ni : nombre d'individu de l'espèce recensée; I.P.A. 1 et 2 : Indice ponctuel d'abondance partiel 1 et 2; H' : Indice de diversité exprimé en bits)

Mois	Mars		Avril	
	(I.P.A. 1)		(I.P.A. 2)	
	ni	A.R. %	ni	A.R. %
Espèces				
<i>Alectoris barbara</i>	19	7,51	10,5	5,5
<i>Phasianus colchicus</i>	10	3,95	9	9
<i>Columba palumbus</i>	3	1,19	2	1,04
<i>Streptopelia turtur</i>	-	-	2,5	1,30
<i>Merops apiaster</i>	-	-	2	1,04
<i>Upupa epops</i>	-	-	1	0,52
<i>Lullula arborea</i>	4,5	1,78	4	2,08
<i>Galerida cristata</i>	34	13,44	23	11,98
<i>Alauda arvensis</i>	1,5	0,59	-	-
<i>Calandrella rufescens</i>	6	2,37	2,5	1,30
<i>Lanius excubitor</i>	7,5	2,96	6,5	3,38
<i>Phylloscopus collybita</i>	4	1,58	2	1,04
<i>Sylvia communis</i>	-	-	15	7,81
<i>Sylvia melanocephala</i>	2	0,79	-	-
<i>Erithacus rubecula</i>	11	4,38	1,5	0,78
<i>Phoenicurus ochruros</i>	-	-	9,5	4,95
<i>Turdus merula</i>	1,5	0,59	7,5	3,91
<i>Turdus philomelos</i>	2	0,79	1	0,52
<i>Periparus ater</i>	22,5	8,89	13,5	7,03
<i>Parus major</i>	19,5	7,70	11	5,73
<i>Pica pica</i>	-	-	2	1,04
<i>Fringilla coelebs</i>	29	11,46	10	5,21
<i>Serinus serinus</i>	30,5	12,05	21,5	11,20
<i>Carduelis chloris</i>	11	4,35	1	0,52
<i>Loxia curvirostra</i>	34,5	13,64	17	8,85
<i>Passer</i> sp.	-	-	16,5	8,59
Totaux	253	100%	192	100%
H' en bits	3,72		4,07	
Equitabilité	0,87		0,88	

D'après le tableau IV, il est remarqué que la première série d'I.P.A. réalisée en mars est caractérisée par l'abondance du Bec-croisé des sapins (*Loxia curvirostra*) avec 13,6%.

En deuxième place vient le Cochevis huppée (*Galerida cristata*) avec 13,4%. La troisième position revient au Serin cini (*Serinus serinus*) avec 12%. Le Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*) avec 11,5% occupe le quatrième rang. Pour ce qui concerne les autres espèces d'oiseaux, leurs abondances relatives varient entre 0,6% et 8,9%.

Par contre pour la deuxième série d'I.P.A. réalisée en avril, c'est le Cochevis huppé (*Galerida cristata*) qui vient en tête avec 12%. Il est suivi par le Serin cini (*Serinus serinus*) avec 11,2%. Le Bec-croisé des sapins (*Loxia curvirostra*) occupe le troisième rang avec 8,9%. Quant au Moineau hybride (*Passer domesticus* x *P. hispaniolensis*), il occupe le cinquième rang avec 8,6%. L'abondance relative des autres espèces varie entre 0,5% et 7,8%.

L'indice de diversité de Shannon–Weaver permet de cerner d'une façon précise la diversité de l'avifaune échantillonnée par la méthode des I.P.A. dans le massif forestier de Chbika. Les valeurs de H' obtenues par la méthode des I.P.A. varie entre 3,72 bits et 4,07 bits. On remarque que la diversité est moyenne en mars et élevée en avril. Pour ce qui concerne l'équitabilité, les valeurs sont supérieures à 0,5. Ce qui implique que la régularité est élevée et les espèces sont équitablement réparties durant les deux mois de recensement.

3.- Discussion et conclusion

3.1.- Liste systématique des espèces aviennes recensées par la méthode des estimations fréquentielles progressives (E.F.P.) et celle des indices ponctuels d'abondance (I.P.A.)

Dans le massif forestier de Chbika, il a été recensé 38 espèces aviennes qui se répartissent entre 6 ordres et 15 familles, dont 30 espèces ont été recensées par les E.F.P. et 26 espèces par les I.P.A. Les espèces communes entre les deux méthodes sont au nombre de 19. Par ailleurs ABIDI (2008) [24], dans un peuplement de pin d'Alep à chêne vert à Séhary Guebli a recensé un totale de 35 espèces qui se répartissent entre 6 ordres et 15 familles, dont 25 espèces qui ont été recensées par les E.F.P. et 28 espèces par les I.P.A. Les espèces communes entre les deux méthodes sont au nombre de 17 espèces. Dans la région de M'liliha à Djelfa, BENMESSAOU (1982) [10] a inventorié 16 espèces qui se répartissent entre 3 ordres et 8 familles. Dans une Chênaie mixte dans le parc national de Taza (Jijel), DOUMANDJI *et al.* (1993) [7] ont trouvé 57 espèces aviennes qui se répartissent entre 7 ordres et 27 familles.

Dans la présente étude, la catégorie faunistique est représentée par 10 espèces Européennes, 9 espèces Paléarctiques, 7 espèces Méditerranéennes, 3 espèces Européo-Turkestanien, 2 espèces Holarctique, 3 espèces de l'Ancien monde, 2 espèces Turkestan-Méditerranéen, 1 espèce Indo-Africaine et 1 espèce Ethiopienne. Dans une Chênaie mixte dans le parc national de Taza (Jijel), DOUMANDJI *et al.* (1993) [7] soulignent que les espèces de type Européenne ont une importance élevée de l'ordre de 12 espèces, suivies par 6 espèces du type Paléarctique et 5 espèces du type Méditerranéen, puis viennent les espèces de type Européo-Turkestanien et Holarctique au nombre de 3 espèces pour chacun d'eux. La catégorie trophique dans la présente étude est représentée par 14 espèces granivores, 11 espèces polyphages, 9 espèces insectivores, 3 espèces carnivores et 1 espèce omnivore. Dans le peuplement de pin d'Alep à chêne vert, ABIDI (2008) [24] note la dominance de la catégorie trophique des granivores avec 14 espèces. Elle est suivie par celle des espèces polyphages et insectivores avec 9 espèces pour chacune. Le régime alimentaire de l'avifaune dépend, dans une large mesure, des ressources disponibles dans

le milieu colonisé et de la qualité de ces ressources. La plupart des espèces voient changer leur régime au cours du cycle annuel en fonction des variations des potentialités offertes et/ou de leurs exigences physiologiques surtout en périodes de migration ou de reproduction [25]. Le même auteur souligne que les espèces d'oiseaux qui se nourrissent d'insectes, de myriapodes et de vers, sont des nicheurs. Dans la subéraie de Maâmora au Maroc, 9 espèces sont insectivores (36%), 6 polyphages (24%), 7 espèces granivores (27%) et 3 espèces carnivores (12%). Alors que dans la subéraie du Plateau central, il existe 14 espèces insectivores (40%), 11 espèces polyphages (31,4%), 8 espèces granivores (22,8%) et 2 espèces carnivores (5,6%).

Pour ce qui concerne la catégorie phénologique, il a été trouvé dans la présente étude 28 espèces nicheuses sédentaires, 4 espèces migratrices estivantes, 3 espèces nicheuses et migratrices et 3 espèces migratrices hivernantes. ABIDI (2008) [24] souligne que la catégorie des espèces aviennes nicheuses sédentaires vient en tête avec 18 espèces, elle est suivie par celle des espèces migratrices estivantes avec 9 espèces. La diversité des espèces sédentaires dans le massif forestier de Chbika peut être due à la présence de conditions de vie favorable. Selon FONDERFLICK *et al.* (2001) [26], la forêt offre des conditions microclimatiques et surtout trophiques qui permettent le maintien d'une avifaune sédentaire plus diversifiée.

Les résultats relatifs à la richesse totale sont supérieurs à ceux obtenus par ABIDI (2008) [24] dans le peuplement de pin d'Alep à chêne vert à Séhary Guebli qui a recensé 25 espèces et à ceux signalés par BENMESSAOUD (1982) [10] à M'liliha (Djelfa), qui a recensé 16 espèces seulement. ARAUJO (1995) [27], au sud du Portugal souligne que la richesse totale des espèces aviennes recensées dans une plantation d'Eucalyptus est égale à 8 espèces. Tandis que dans un milieu semi-naturel composé de chênes à feuilles persistantes, la richesse totale est de 35 espèces aviennes. Il est possible de dire que les résultats obtenus dans le cadre de la présente étude se rapprochent de ceux d'Araujo (1995) [27] obtenus dans le deuxième milieu. Par ailleurs DOUMANDJI *et al.* (1993) [7], ont observé 57 espèces aviennes dans une chênaie mixte dans le parc national de Taza (Jijel, Algérie). DESENINCK et BAGUETTE (1991) [28] en utilisant la même méthode note une richesse totale égale à 58 espèces au niveau du Plateau des Tailles dans la séquence de l'Épiée. Mais, par contre ROLLAND (1994) [29] remarque, dans le Vercors 140 espèces entre 1982 et 1983. Dans ce cas, le nombre des espèces est élevé. La différence qui existe avec les résultats de la présente étude peut être expliquée par le nombre plus important de relevés réalisés par ces auteurs.

D'après BLONDEL *et al.* (1988) [30], la diversité des espèces méditerranéennes comporte 345 espèces d'oiseaux. Parmi les espèces méditerranéennes, il y'a trois groupes, le premier est très vaste où il contient comme exemple 144 espèces où parmi ces derniers, se sont de type forestier et qui sont d'origine nord méditerranéenne. Le second comprend 94 espèces steppiques, notamment sur le Sahara arabe (semi-désert). Le troisième groupe contient des espèces qui sont abondantes sur les matorrals, un bon exemple est sur les perdrix (*Alectoris* sp.) et les fauvettes (*Sylvia* sp., *Hypolais* sp.) [31].

3.2.- Abondance relative et diversité des espèces aviennes recensées par la méthode des E.F.P.

D'après les résultats du dénombrement avien effectué dans le massif forestier de Chbika, il est à constater que la Mésange noire (*Periparus ater*) et le Pinson des arbres

(*Fringilla coelebs*) avec 58 individus chacune (16,4%) sont les plus dominantes. Contrairement à nos résultats ABIDI (2008) [24] en réalisant des E.F.P. dans un peuplement de pin d'Alep à chêne vert a constaté que le Bec-croisé des sapins (*Loxia curvirostra*) est l'espèce la plus abondante avec 150 individus (44,3%). D'après le même auteur, le Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*) vient au deuxième rang avec 55 individus (16,2%) avant la Mésange noire *Periparus ater* avec 36 individus (10,6%). Dans la présente étude le Cochevis huppé ($n_i = 50$ individus, A.R.% = 14,2%) occupe la quatrième position avant le Bec croisé des sapins (*Loxia curvirostra*) ($n_i = 30$ individus, A.R.% = 8,5%). FONDERFLICK *et al.* (2001) [26] à Causse Méjean (Lozère, France) ont trouvé que les forêts de résineux denses de *Pinus nigra* sont caractérisées par l'abondance du Rouge gorge (*Erithacus rubecula*), de la Mésange noire (*Periparus ater*) et de la Grive draine (*Turdus viscivorus*), et les milieux où se juxtaposent des forêts de résineux de *Pinus nigra* et des espaces ouverts sont caractérisées par l'abondance du Pouillot de Bonelli (*Phylloscopus bonelli*), du Pipit des arbres (*Anthus trivialis*), du Merle noir (*Turdus merula*), du Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*) et du Coucou gris (*Cuculus canorus*). Alors que NIKOLOV (2007) [32] constate qu'il n'y' avait presque aucune différence dans la diversité des oiseaux entre les différentes tranches d'âge de forêt étudiées. Parmi les espèces qui ont les préférences aux forêts du pin trop mûres et qui ont eu des densités plus élevées dans ces forêts est la Mésange noire (*Periparus ater*). Le principal facteur de l'environnement qui peut expliquer la variabilité des espèces est l'alimentation [33]. Le même auteur mentionne que la Mésange bleue ingère chaque jour près de huit grammes de nourriture, soit 70% de son poids. Elle se nourrit surtout de petits arthropodes, notamment de chenilles de papillons, au moins pendant la saison de reproduction [33].

Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon-Weaver appliqué aux peuplements aviens recensés par les E.F.P dans la forêt de Chbika varient entre 1,80 et 3,15 bits ce qui signifie que la diversité est faible pendant toute la période d'étude sauf durant le mois de septembre où la diversité est moyenne (3,15 bits). Selon ABIDI (2008) [24], les valeurs de l'indice de diversité de Shannon-Weaver appliquées aux peuplements aviens recensés par les E.F.P dans la forêt de Séhary Guebli varient entre 1,50 et 2,64 bits ce qui signifie que la diversité est faible pendant toute la période d'étude. En Asie, dans une steppe sèche herbacée et forestière située au Nord de Kasakhstan, la diversité est moyenne, elle est égale à 3,95 bits [16]. Les valeurs de l'équitabilité sont supérieures à 0,5, ils ont comprises entre 0,60 et 0,93. Donc on peut dire que la régularité est élevée et les espèces sont équitablement réparties durant la période de l'échantillonnage. Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par ABIDI (2008) [24] dans le peuplement de pin d'Alep à chêne vert à Séhary Guebli. De mêmes MARION et FROCHOT (2001) [16] dans une forêt de sapin de Douglas en Morvan (France) notent que la régularité est élevée et les espèces sont équitablement réparties ($E = 0,89$). En effet dans un maquis de l'Akfadou à 1300 m d'altitude MERRAR et DOUMANDJI (1997) [34], signalent que les espèces sont en équilibre entre elles. De même MULLER (1982) [35] dans les Vosges du Nord dans une jeune plantation de pins sylvestres, souligne de fortes valeurs de l'équitabilité fluctuant entre 0,76 et 0,82 pendant la période allant de 1979 jusqu'au 1982. Selon Blondel *et al.* (1970) [17], la diversité du peuplement avien dépend du nombre de strates végétales et sa densité est liée au volume global de la végétation. Les écosystèmes abritent des populations dont l'effectif est proportionnel à leur superficie. Dans les écosystèmes isolés, la richesse spécifique des communautés ou peuplements tend à s'accroître avec la superficie [36]. Dans notre étude, la diversité avienne est faible sauf durant le mois de septembre. Il est à rappeler que le reboisement de Chbika est exposé à la dégradation anthropologique d'une part et d'autre part par aux ravages de la processionnaire du pin

(*Thaumetopea pityocampa*), qui cause des défoliations totales des arbres, il y' a d'autres ravages causés par les scolytes qui affaiblissent la forêt et diminuent le taux de bois vivant qui est la source de la vie de plusieurs espèces comme les oiseaux.

3.3.- Dénombrement des oiseaux observés grâce à la méthode des indices ponctuels d'abondances (I.P.A.) dans le reboisement de pin d'Alep (Chbika, Djelfa)

D'après les résultats obtenus grâce à la méthode des indices ponctuels d'abondance dans la forêt de Chbika, il ressort que le Bec croisé des Sapin (*Loxia curvirostra*) possède l'indice ponctuel d'abondance maximale le plus élevé (I.P.A. max. = 2,3 couples). En deuxième position on trouve le Cochevis huppé (*Galerida cristata*) avec 2,27 couples. Le Serin cini *Serinus serinus* vient en troisième place avec un I.P.A max de 2,03 couples. Quant au Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*), il occupe le quatrième rang avec 1,93. ABIDI (2008) [24], en utilisant la même méthode dans un peuplement de pin d'Alep à chêne vert à Séhary Guebli (Djelfa), a trouvé que le Pinson des arbres possède l'I.P.A. max le plus élevé avec une valeur de 4,43 couples. Le Bec-croisé de sapins vient en seconde position avec un I.P.A. max. de 3,13 couples. Cette espèce est suivie par la Mésange noire avec un I.P.A. max. de 2,53 couples et *Sylvia undata* avec un I.P.A. max. égal à 1,43 couples. Là encore MARION et FROCHOT (2001) [16], soulignent que dans une forêt de pins sylvestres âgés, les IPA max. les plus élevés correspondent à *Fringilla coelebs* avec 1,9 couples. Par contre dans une steppe sèche herbacée et arborée, les mêmes auteurs enregistrent la valeur de l'I.P.A. max. la plus élevée pour le Moineau friquet *Passer montanus* (2,6 couples). LOVATY (1986) [37], a trouvé dans une futaie de régénération de pin sylvestre dans le secteur du Gévaudan en France que le Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*) a un I.P.A. max de 4,5 couples. Il est suivi par la Mésange noire (*Periparus ater*), la Mésange huppée (*Lophophanes cristatus*), le Chardonneret élégant (*Carduelis carduelis*) et le Bec-croisé de sapins (*Loxia curvirostra*) avec un I.P.A. max de 2 couples pour chaque espèce. La Fauvette à tête noire (*Sylvia atricapilla*), le Rouge-gorge familier (*Erithacus rubecula*) possèdent un I.P.A. max égal à 1 couple. Dans le reboisement de sapin âgé de 10 ans, le Pipit des arbres (*Anthus trivialis*) possède un I.P.A. max égal à 5 couples. Le Rouge-gorge familier (*Erithacus rubecula*) possède un I.P.A. max de 2 couples. Tandis que le Pouillot véloce (*Phylloscopus collybita*) et la Fauvette des jardins (*Sylvia borin*) possèdent un I.P.A. max égal à 1 couple [37].

Il est à noter que la première série d'I.P.A. réalisée en mars est caractérisée par l'abondance du Bec-croisé des sapins (*Loxia curvirostra*) avec 13,6%. En deuxième place vient le Cochevis huppée (*Galerida cristata*) avec 13,4%. La troisième position revient au Serin cini (*Serinus serinus*) avec 12%. ABIDI (2008) [24], a noté que la première série est caractérisée par l'abondance de la Mésange noire (*Periparus ater*) avec 39,0%. Le Bec-croisé des sapins (*Loxia curvirostra*) vient en deuxième position avec 28,7% et en troisième place vient le Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*) avec 21,3%. Tandis que pour la deuxième série d'I.P.A. réalisée en avril, c'est le Cochevis huppé (*Galerida cristata*) qui vient en tête avec 12%. Il est suivi par le Serin cini (*Serinus serinus*) avec 11%. Abidi (2008) [24], note la dominance du Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*) avec 36,6%, il est suivi par la Mésange noire (*Periparus ater*) avec 24,9% et le Bec-croisé des sapins (*Loxia curvirostra*) avec 13,4%. EL OUNI et RABEH (2001) [38], soulignent que la répartition des oiseaux dans les milieux, est influencée directement par la couverture végétale. En effet certaines espèces caractérisent les milieux herbacés ou les pistes et les clairières comme les Alaudidae, tel que le Cochevis huppé (*Galerida cristata*). Ces espèces trouvent leur optimum écologique dans ces milieux ouverts. D'autres espèces, surtout les

Fringillidae comme le Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*), le Chardonneret (*Carduelis carduelis*) et le Serin cini (*Serinus serinus*) se retrouvent distribués partout, grâce à l'abondance des graminées et de beaucoup des plantes donnant des graines, qui constituent des sources nutritives pour ces espèces granivores, alors que l'abondance des Fringillidae est surtout remarquable dans les milieux morcelés.

Les valeurs de H' obtenues par la méthode des I.P.A. varie entre 3,72 bits et 4,07 bits. On remarque que la diversité est moyenne en mars et élevée en avril. ABIDI (2008) [24], a noté que les valeurs de H' obtenues par la méthode des I.P.A. varie entre 2,11 bits et 3,03 bits. Il note que la dernière série d'I.P.A. réalisée en mai est caractérisée par une diversité moyenne. Tandis que les deux autres séries ont une diversité faible. Selon BAOUAB (1992) [13], la diversité dans la subéraie de Maâmora au Maroc varie entre 2,06 et 3,18 bits. Le même auteur souligne que dans la subéraie du Plateau centrale au Maroc, la diversité varie entre 2,31 et 4,07 bits. Pour ce qui concerne l'équitabilité, les valeurs sont supérieures à 0,5. Ce qui implique que la régularité est élevée et les espèces sont équitablement réparties durant les deux mois. Les valeurs de l'équitabilité trouvées par ABIDI (2008) [24] sont supérieures à 0,5. Ce qui implique que la régularité est élevée et les espèces aviennes recensées dans le peuplement de pin d'Alep à chêne vert à Séhary Guebyly sont équitablement réparties. L'équitabilité trouvée par BAOUAB (1992) [13] est nettement supérieure à 0,50 dans les deux milieux à Maâmora et au Plateau central. La régularité est élevée est les espèces aviennes sont équitablement réparties dans les deux milieux.

L'étude des mécanismes d'occupation de l'espace par les oiseaux, notamment dans le milieu le plus riche, la cédraie, et dans le plus pauvre, la pineraie artificielle de pins à crochets, permet de conclure que le succès des aménagements forestiers est d'autant meilleur que ces aménagements ont pour effet d'augmenter la diversité de structure de la végétation. La mixité est toujours avantageuse dans les reboisements en conifères, car c'est elle qui permet la reconstitution d'une véritable ambiance forestière, si favorable à la biodiversité [39].

Références bibliographiques

- [1].- Derouche H., 2006.- Les dépérissements des peuplements forestiers dans la région de Djelfa. Thèse Magister Agro., Cent. Univ. Djelfa, 133 p.
- [2].- Heim de Balsac H. et Mayaud N., 1962.- Les oiseaux du Nord-Ouest de l'Afrique. Ed. Paul Lechevalier, Paris, «Coll. Encycl. Ornith.», X, 486 p.
- [3].- Etchecopar R. D. et Hüe F., 1964.- Les oiseaux du Nord de l'Afrique, de la Mer Rouge aux Canaries. Ed. N. Boubée et Cie., Paris, 606 p.
- [4].- Burnier E., 1979.- Notes sur l'ornithologie Algérienne. Alauda, 47 (2) : 93-102.
- [5].- Ledant J. P., Jacob J. P., Jacobs P., Malher F., Ochando B. et Roche J., 1981.- Mise à jour de l'avifaune algérienne. Rev. Le Gerfaut – De Giervalk, (71) : 295 – 398.
- [6].- Baichi A., 1987.- Etude faunistique dans le parc national de Thniet El Had notamment en cédraie. Thèse Ing. Agro., Inst. nati. agro., El Harrach, 107 p.

- [7].- Doumandji S., Doumandji-Mitiche B., Kisserli O. et Menzer N., 1993.- Le peuplement avien en Chênaie mixte dans le Parc National de Taza (Jijel, Algérie). *L'Oiseau et R. F. O.*, 63: 139-146.
- [8].- Mazari G., 1996.- Deuxième note sur l'inventaire du peuplement avien du parc national de Chréa. 2^{ème} Journée Ornithologie, 19 mars 1996, Dép. Zool. agri. for., Inst. nati. agro., El Harrach: 44 – 45.
- [9].- Khireddine A., 1977.- Etude bioécologique pour un aménagement cynégétique dans le massif Senalba Chergui à Djelfa. Thèse Ing. agro., Inst. nati. agro., El Harrach, 102 p.
- [10].- Benmessaoud K., 1982.- Notes sur l'avifaune des steppes à alfa dans la région de Djelfa. *Bull. Zool. Agri.*, Inst. nati. agr., El Harrach. (5). 37-43.
- [11].- Lack D., 1954.- *The Naturel regulation of animal numbers.* Oxford University Press.
- [12].- Blondel J., 1954.- *Synécologie des passereaux residents et migrateurs dans le midi méditerranéen français.* Thèse d'état, 239 p.
- [13].- Baouab R. E., 1992.- Evolution des peuplements d'oiseaux au cours d'un cycle annuel dans deux subéraies du Maroc. *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, 16 : 138 – 143.
- [14].- R. C. D., 2008.- Fiche technique de la réserve de reconstitution n° 2 de l'unité de gestion cynégétique III (CHBIKA), R.C.D., 5 p.
- [15].- Ochando B., 1988.- Méthodes d'inventaires et de dénombrements d'oiseaux en milieu forestier - Application à l'Algérie. *Ann. Inst. nati. agro.*, El Harrach, 12 (n° sp.) : 47 - 59.
- [16].- Marion P. et Frochot B., 2001.- L'avifaune nicheuse de la succession écologique du Sapin de Douglas en Morvan (France). *Rev. Écol. (Terre Vie)*, 56 : 53-79.
- [17].- Blondel J., Ferry C. et Frochot B., 1970.- La méthode des I.P.A. ou des relevés d'avifaunes par «station d'écoute». *Alauda*, 38 (1) : 55-71.
- [18].- Muller Y., 1985.- L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord, sa place dans le contexte médio-européen. Thèse Docteur sci., Univ. Dijon, 318 p.
- [19].- Zaïme A. et Gautier J.-Y., 1989.- Comparaison des régimes alimentaires de trois espèces sympatriques de Gerbillidae en milieu saharien au Maroc. *Rev. Ecol. (Terre et vie)*, 44 : 263-278.
- [20].- Blondel, J., Ferry, C. et Frochot, B., 1973.- Avifaune et végétation, essai d'analyse de la diversité. *Alauda*, 10 : 63-84.
- [21].- Blondel J., 1979.- Biogéographie de l'avifaune algérienne et dynamique des communautés. Sem. intern. avif. algérienne, 5 – 11 juin 1979, Inst. nati. agro., El Harrach : 1-15.

- [22].- Weesie D. M. et Belemsobgo U., 1997.- Les rapaces diurnes du ranch de gibier de Nazinga (Burkina Faso) – Liste commentée, analyse du peuplement et cadre biogéographique. *Alauda*, 65 : 263-278.
- [23].- mullarnet K., Svensson L., Grant P. J. et Lesaffre G., 1999.- Le Guide Ornitho : Les 848 espèces d'Europe en 4000 dessins. Ed. Delachaux et Niestlé. Paris, 400 p.
- [24].- Abidi F., 2008.- Biodiversité des Arthropodes et de l'avifaune dans un peuplement de Pin d'Alep à Chêne vert à Séhary Guebli (Ain Maâbed, Djelfa). *Mém. Ing. Agro., Cent. Univ. Djelfa*, 114 p.
- [25].- Baouab R. E., 1992.- Diversité stratigraphique de l'avifaune dans deux subéraies du Maroc. *Bull. Inst. Sci. Rabat*, 16 : 132 -137.
- [26].- Fonderflick J., Thevenot M. et Destre R., 2001.- Le peuplement d'oiseaux du Causse Méjean (Lozère, France) : état actuel, évolution historique et perspective d'avenir. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 56 : 173-192.
- [27].- Araujo M. B., 1995.- The effect of *Eucalyptus globulus* Labill. Plantations on biodiversity. A case study in Serra de Portel (South Portugal). University College London, 62 p.
- [28].- Desninck B. et Baguett M., 1991.- Avifaune nicheuse de la séquence de l'Épicée (*Picea abies*) dans la région du plateau des Tailles (Province du Luxembourg). *Aves*, (6) : 189 – 208.
- [29].- Rolland C., 1994.- Répartition de l'avifaune du massif du Vercors en fonction de l'altitude. Ed. Parc naturel régional du Vercors, Lans-en-Vercors, 15 p.
- [30].- Blondel J., Chesse D. and Frochot B., 1988.- Bird species impoverishment, niche expansion and density inflation in Mediterranean island habitats. *Ecology*, 69: 1899-1917.
- [31].- Blondel J. and Aronson J., 1999.- *Biology and Wildlife in the Mediterranean region*. Ed. Oxford University Press, Oxford, 328 p.
- [32].- Nikolov C. S. 2007.- Study on the habitat selection by birds in mature and over-mature Macedonian Pine *Pinus peuce* forests in Pirin National Park (SW Bulgaria). *Acrocephalus*, 28: 95–104.
- [33].- Blondel J., Dias P. C., Lambrechts M., Maistre M., Perret P. et Cartan-Son M., 1994.- Les oiseaux dans leur habitat. *La Recherche*, 265: 528-536.
- [34].- Merrar K. et Doumandji S., 1997.- Diagnostic ornithologique d'un maquis dans la région de l'Akfadou (Sidi- Aïch, wilaya de Bejaïa). 2^{ème} journée de protection des végétaux, 15, 16 et 17 mars 1997, Lab. Ornith., Dept. Zool. agri. forest., inst. nati. agro., El Harrach, p 81.
- [35].- Muller Y., 1982.- Recherches sur l'écologie des oiseaux forestiers des Vosges du Nord. II - Etude de l'avifaune nicheuse d'une jeune plantation de pins sylvestres de 1979 à 1982. *Ciconia*, 6 (2) : 73 - 91.

- [36].- Frochot B., 2002.- Comment évaluer l'intérêt biologique des réaménagements de carrières ? Rev. Écol. (Terre et la Vie), 9 : 251-261.
- [37].- Lovaty F., 1986.- L'abondance des oiseaux nicheurs de la vieille futaie et de la futaie en régénération de pins sylvestre dans un secteur du Gévaudan (Lozère). *Le grand duc*, 30 : 24-25.
- [38].- El Ouni R. et Rabeh S., 2001.- Conservation des Zones Humides Littorales et des Ecosystèmes côtiers du Cap-Bon. Rapport de diagnostic des sites, partie relative à l'avifaune, Tunisie, 43 p.
- [39].- Blondel J. 2007.- La biodiversité animale sur le mont Ventoux. Forêt Méditerranéenne, 28 (4) : 359-368.