



**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 6, numéro 1, juin 2016



ALGERIAN JOURNAL OF ARID ENVIRONMENT

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



<p>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. 6, n°1 - 2016

Sommaire

- Study of physicochemical and bacteriological quality of wastewater discharged into coastal waters from the city of El Jadida (Morocco) and proposed a system of treatment based on biodenitrification**
SALAMA Youssef, CHENNAOUI Mohammed, MOUNTADAR Mohammed, RIHANI Mohammed, ASSOBBHEI Omar 3
- Quelques cultures stratégiques pour l'Algérie face aux changements climatiques: l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et le mil [*Pennisetum glaucum* (L.) B. Br].**
RAHAL-BOUZIANE Hafida 15
- Les mycotoxines: un danger de santé public**
GUEZLANE-TEBIBEL Nadjet, BOURAS Noureddine et OULD EL HADJ Mohamed Didi 32
- Valorizations energy and agronomic of the industrial biomethanisation applied to avicolous biomass in Tunisia**
M'SADAK Youssef and BEN M'BAREK Abir 50
- Espaces verts, phytoremédiation et biosurveillance de la pollution atmosphérique en Algérie**
GHERIB Abdelfattah, BOUFENDI Moufida, TEMIME Asma et BEDOUH Yazid 63
- Comparative study of the antioxidant activity and phenols and flavonoids contents of the ethyl acetate extracts from two saharan chenopodacea: *haloxylon scoparium* and *traganum nudatum***
ALLAOUI Messaouda, CHERITI Abdelkrim, CHEBOUAT Elyacout, DADAMOUSTA Belkhir and GHERRAF Noureddine 71
- Evaluation de l'activité anti-inflammatoire d'extraits aqueux de feuilles *Limoniastrum feei* (Plumbaginacea)**
RAHMANI Smahia, BELBOUKHARI Nasser, SEKKOUM Khaled, CHERITI Abdelkrim 80
- Sur la nature et l'origine de la croute gypseuse dite «deb deb» dans les palmerais de l'ouest des Ziban**
ABDESSELAM Salah et TIMECHBACHE Mohamed Lakhdar 87
- Comportements physique et hydrique des substrats de culture destinés aux pépinières forestières modernes (Sahel tunisien)**
M'SADAK Y., EL AMRI A., MAJDOUB R. et EL GHORBALI L. 96
- Impact de la prédation de Mantodea en milieux naturels et cultivées de la cuvette d'Ouargla (Sahara septentrional Est-algérien)**
KORICHI Raouf, DOUMANDJI Salaheddine et OULD EL HADJ Mohammed Didi 108

STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL AND BACTERIOLOGICAL QUALITY OF WASTEWATER DISCHARGED INTO COASTAL WATERS FROM THE CITY OF EL JADIDA (MOROCCO) AND PROPOSED A SYSTEM OF TREATMENT BASED ON BIODENITRIFICATION

SALAMA Youssef^{1,2*}, CHENNAOUI Mohammed^{1,2,3}, MOUNTADAR Mohammed²,
RIHANI Mohammed¹, ASSOBBHEI Omar¹

⁽¹⁾BIOMARE Laboratory, Biology Department, Faculty of Science
University Chouaib Doukkali, Morocco.

⁽²⁾Laboratory of Water and Environment, Faculty of Science
University Chouaib Doukkali, El Jadida, Morocco

⁽³⁾Regional Centres for the Professions of Education and Training (CRMEF)
Laboratory of Life Science and Earth (SVT), El Jadida, Morocco

Email: salama.youssef@gmail.com

Abstract.- In the city of El Jadida, disposal of untreated wastewater in the ocean has a negative impact on the environment and the health of the populations who live along the urban effluents. The main objective of this study is to monitor the physicochemical and bacteriological quality of raw sewage from the city of El Jadida. Several takings were made at the level of three collectors of the city of El Jadida between year 2011 and 2012. The parameters studied are temperature, pH, electrical conductivity (EC), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), total phosphorus (TP), orthophosphate (PO_4^{3-}), chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD_5), total kjeldahl nitrogen (TKN), total suspended solids (TSS), volatile suspended solids (VSS), fecal coliform (FC), fecal streptococci (FS), spore sulfite-reducing anaerobes (SSR). Analysis of wastewater in three collectors (C_1 , C_2 and C_3) showed that the concentrations of physicochemical and bacteriological parameters are very high and largely exceeding the Moroccan standards and that can cause very serious problems environmental. In this study, the biological treatment of raw sewage from the sewer in El Jadida (Morocco) had been tested in laboratory by using a bioreactor (immersed bacterial bed) colonized by a heterotrophic denitrifying flora. The obtained results show that parameters of removal efficiency were 97.69, 96, 90, 82.11 and 89.30 % of nitrate (NO_3^- -N), dissolved chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD_5), total phosphorus (TP-P) and total Kjeldahl nitrogen (TKN-N) respectively when the system was operated at optimal conditions; pH 8.4, temperature of 28.9°C and COD/ NO_3^- -N ratio equal to 5. Consequently, the treated effluent has respected the norms defined in Moroccan's project for all analyzed parameters.

Key words: Wastewaters, Bacteriological, Physicochemical, Biodenitrification, El Jadida, Morocco.

ETUDE DE LA QUALITE PHYSICOCHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DES EAUX USEES REJETEES DANS LES EAUX COTIERES DE LA VILLE D'EL JADIDA ET PROPOSITION D'UN SYSTEME DE TRAITEMENT BASE SUR LA BIODENITRIFICATION

Résumé.- Dans la ville d'El Jadida, l'élimination des eaux usées non traitées dans l'océan a un impact négatif sur l'environnement et la santé des populations qui vivent le long des effluents urbains. L'objectif principal de ce travail est d'étudier la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées de la ville d'El Jadida et de proposer par la suite un système de traitement adéquat à ces eaux usées. Plusieurs prélèvements ont été effectués au niveau de trois collecteurs des eaux usées de la ville d'El Jadida entre l'année 2010 et 2012. Les paramètres étudiés sont la température, le pH, la conductivité électrique (CE), les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-), le phosphore total (TP-P), l'orthophosphate (PO_4^{3-}), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5), l'Azote Total Kjeldahl (NTK), les Matières en Suspension (MES), les Matières

Volatiles en Suspension (MVS), les Coliformes Fécaux (CF), les Streptocoques Fécaux (FS) et les Spores anaérobies sulfito-réducteurs (SSR). L'analyse des eaux usées dans les trois collecteurs (C1, C2 et C3) ont montré que le taux des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sont très élevés et dépassant largement les normes marocaines et qui peut causer de très graves problèmes de l'environnement. Dans cette étude, le traitement biologique des eaux usées des égouts de la ville El Jadida (Maroc) a été effectué au laboratoire en utilisant un bioréacteur anaérobie à lit bactérien immergé colonisé par une flore hétérotrophe dénitrifiante. Les résultats obtenus ont montré que le rendement d'élimination des paramètres étaient 97; 69; 96; 90; 82.11 et 89,30% pour le nitrate (NO_3^- -N), Demande Chimique en Oxygène dissous (DCO), Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5), le Phosphore Total (TP-P) et l'Azote Total Kjeldahl (NTK), respectivement, lorsque le système est exploité dans des conditions optimales ; le pH égal 8,4, la température de 28,9°C et le rapport COD/ NO_3^- -N égal à 5. Par conséquent, l'effluent traité a respecté les normes définies dans le projet marocain pour tous les paramètres analysés.

Mots-clés : *Eaux Usées, Bactériologique, Physicochimique ; Biodénitrification, El Jadida, Maroc.*

Introduction

Demographic, economic and urban increases are the cause of different environmental pollution sources (air pollution, surface and groundwater pollution, soil pollution ...), and especially in developing countries. Among these pollution sources, the production of untreated wastewater often released into the receiving environment (sea, rivers, soils...) causes physico-chemical and biological degradation, which generate many hydric diseases [1, 2, 3, 4].

However, pollution also affects unenclosed sea. The composition of wastewater from household can be extremely variable and depends on three factors, which are the original composition of drinking water, the various uses by individuals who can provide a nearly infinite number of pollutants, and finally the users themselves who will reject the organic matter in wastewater (urine, feces) [5].

Other studies conducted by LAMGHARI (2007, 2005) [6-7] on the parasitological characterization of the wastewater from the city El Jadida in Morocco, their impact on the coast (waters and sediments) and on the infantile population of the discharge area showed that pollution detected in the effluent of wastewater as well as at the coast of El Jadida, is in fact a problem for the environment of the city.

It is therefore necessary to take preventative measures to minimise this real danger: simple measures such as increasing public awareness about the contamination threats to more serious measures like the comprehensive treatment of wastewater before it is dumped into the ocean.

Our study aims to evaluate the physicochemical and bacteriological quality of wastewater rejected on the coast from the city of El Jadida between year 2011 and 2012 and to predict their impact on the global state of the environment and the state of the marine ecosystems in particular.

Our study also aims to evaluate the biological treatment of domestic wastewater in a submerged bacterial bed with packed plastic. This kind of procedure has a large surface adhesion of purifying microorganisms as well as the easy supply of the reactor [8, 9]. The advantage of this method lies in its low cost compared to other treatment systems, which

require large amount of energy. After determining the physicochemical characteristics of the raw domestic effluent and performing its pre-treatment by the passing through a settling tank, we evaluated the purification performance of the denitrifying biomass by measuring temperature, pH, NO_3^- -N, NO_2^- -N, COD, TKN-N and TP-P of the wastewater collected at the outlet of the bioreactor.

1.- Material and methods

1.1.- Wastewater Sampling

The wastewater that is dumped into the sea comes of domestic origin or a mixture with industrial wastewaters (95 and 5%). Samples of wastewater were collected (once per month) and stored at 4°C (fig. 1).

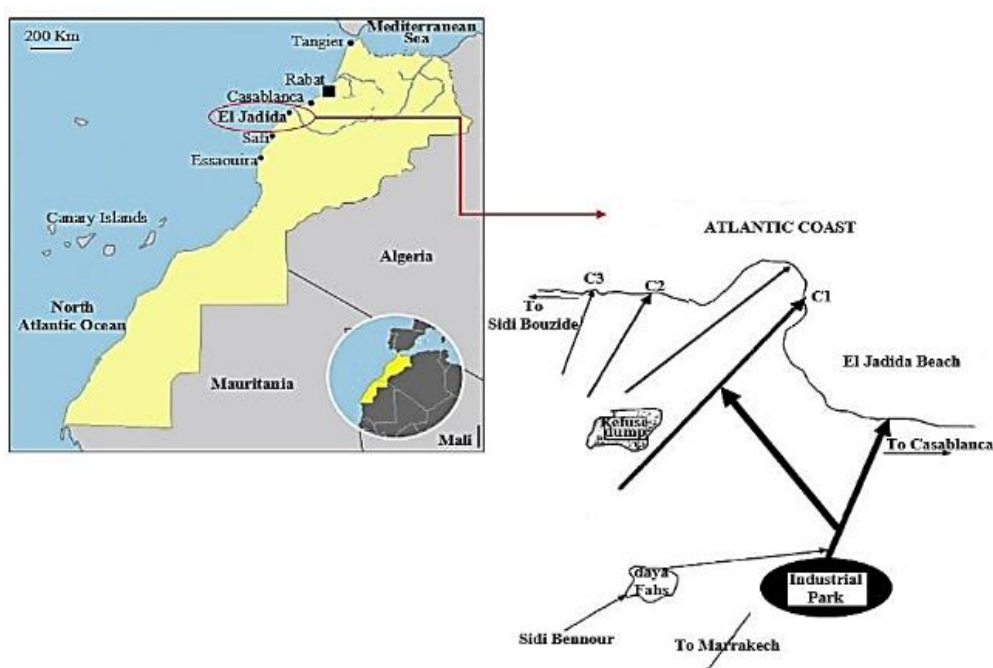


Figure 1.- Geographical situation of the site of study

1.2.- Wastewater Sampling

1.2.1.- Physicochemical parameters

The pH and temperature of the wastewater samples were measured at the collection site. Electrical conductivity, nitrate, nitrite, total phosphorus, orthophosphate, COD, BOD_5 , NTK, TSS, VSS, were analyzed in the laboratory according to the methods prescribed in AFNOR [10].

1.2.2.- Bacteriological parameters


The bacteriological analysis of the various samples of wastewater consisted of an enumeration of the fecal coliform (FC), fecal streptococci (FS), spore sulfite-reducing anaerobes (SSR) [11].

1.3.- Experimental apparatus

Experimental device used for the treatment of this urban wastewater was composed of an anaerobic reactor.

The reactor built in steel, of capacity 64.5 L packed with PVC ring (tab. I) was used as the anaerobic filters.

Table I.- Characteristics of packing media

	
- Material	PVC
- Surface texture	smooth
- Outside diameter (mm)	25
- Height (mm)	25
- Thickness (mm)	2
- Porosity (%)	75
- Specific surface (m ² /m ³)	187
- Equivalent pore diameter (mm)	18

The reactor was 0.25 m in diameter and 1.05 m height (fig. 2). The substrate was pumped into the bottom of the reactors through a variable speed pump “PERCOM N-M” Peristaltic and flows upward through the porous medium. Sampling taps provided along the depth of the reactor allow extraction of samples for analysis at various stages of treatment.

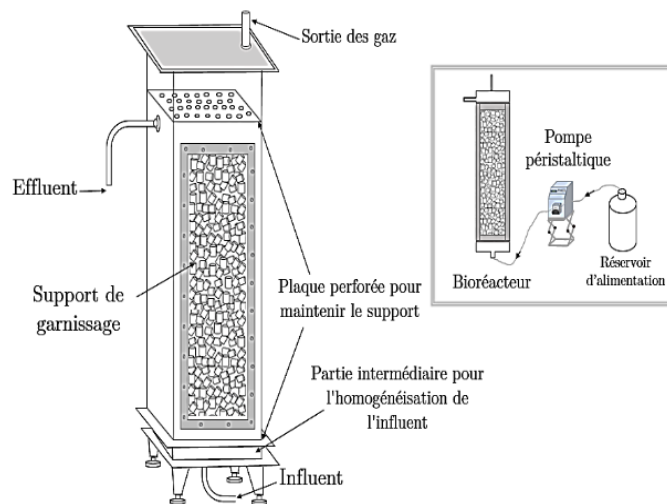


Figure 2.- Experimental anaerobic bioreactor system

2.- Results and discussion

2.1.- Wastewater characterization

The measure of temperature, pH and dissolved oxygen were achieved in situ. The wastewater was brown in colour. It was characterized by considerable pollutant of

suspended matter, volatile matters and high concentrations of BOD₅ and COD.

The mean values of the temperature recorded at each collector range between 23°C and 29°C (tab. II). The values of the wastewater temperature recorded are close to 30 °C limit considered a direct discharge into the receiving environment [12]. These values are below 35°C, considered indicative limit value for water for irrigation [12]. The values of pH vary from 5.9 to 7.2. The electrical conductivity is probably one of the simplest and most important for the quality control of wastewater. It reflects the overall degree of mineralization; it informs us about the salinity [13]. The maximum average value is recorded at the collector C₁ (5.52 mS/cm) and the minimum average value is recorded at least the collector C₂ (2.9 mS/cm). The conductivity values recorded at each collector exceeding 2 mS/cm [14]. Similarly, the mean values are higher than 2.7 mS / cm, considered limit direct discharge into the receiving environment [12].

The Ammonium ions derived from the degradation of animal protein (nitrogen cycle), domestic effluents (urea) and urban runoff [15]. The maximum ammonium observed at the collector C₁ is 282.9 mg/l and the minimum average value of 98.35 mg/l recorded at the collector C₂.

Table II.- The average values of physicochemical parameters of raw wastewater in the three collectors

Parameters	Collectors		
	C ₁	C ₂	C ₃
T°C	29	26.7	24
pH	7.2	5.9	6.2
EC (mS/cm)	5.25	2.9	3.6
TSS (mg/l)	1067.2	524.1	855.9
VSS (mg/l)	611	174	320
NH ₄ ⁺ (mg/l)	282.9	98.3	103.1
NO ₃ ⁻ (mg/l)	11	4.8	9
TKN (mg/l)	118.6	68.4	73
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	39	18	19.7
TP (mg/l)	20	14.2	17
COD (mg/l)	1512.1	691.2	811.6
BOD ₅ (mg/l)	805.3	587.5	637.1

The major part of the organic phosphorus results from waste of protein metabolism and elimination in the form of phosphates in the urine by man and detergents [16]. The rates of orthophosphates at collectors vary between 18 mg/l and 39 mg/l. The Orthophosphate concentrations recorded at each collector are greater than 10 mg/l considered the limit of discharge into the receiving environment [12].

The COD allows appreciating the concentration of organic matter or mineral dissolved or in suspension in the water, through the quantity of oxygen necessary for their total chemical oxidation. The mean values of COD are vastly superior to 500 mg/l, considered as a limit direct discharge [12].

Table III.- The average values of bacteriological parameters of raw wastewater in the three collectors

Parameters	Collectors		
	C ₁	C ₂	C ₃
CF (UFC/100 ml)	2.24×10 ⁶	4.04×10 ⁶	2.36×10 ⁵
SF (UFC/100 ml)	2.80×10 ⁵	1.94×10 ⁵	1.13×10 ⁵
SSR (UFC/100ml)	4.60×10 ⁵	3.30×10 ⁵	1.77×10 ⁵

COD values recorded at the collector ranged from 691.22 mg/l and 1512.1 mg/l.

The suspended solids are all inorganic and organic particles contained in the wastewater [13]. The effluents analyzed are characterized by a high concentration of suspended matter vary between 524.13 and 1067.2 mg/l, higher than 50 mg/l considered the limit discharge into the receiving environment [12].

For BOD₅/COD higher than 0.4, the wastewater biodegradability is high, and consequently the biological process is the most suitable for the treatment of these effluents [17]. However, at BOD₅/COD ratios lower than 0.30, physical –chemical processes are usually more effective than biological treatments [18]. The values of BOD₅/COD ratio recorded at each collector are presented in the following table IV.

Table IV.- The values of BOD₅/COD ratio of raw wastewater in the three collectors

	BOD ₅ /COD		
	Minimum	Maximum	Average
Collector C ₁	0.52	0.56	0.53
Collector C ₂	0.83	0.86	0.85
Collector C ₃	0.76	0.81	0.78

The table IV shows that all wastewater has high biodegradability. These values are in the good range of activity of the microorganism.

The results of the bacteriological analyses of wastewater of three collectors reveal the presence of the indicator germs of faecal contamination as well as certain pathogenic germs (tab. III). The fecal coliform load average (CF) varies between 2.80*10⁵ and 2.24*10⁶ (CFU/100 ml). In terms of bacterial load, the collector C₁ is slightly more concentrated than collectors C₃ and C₂. The fecal staphylococci (SF) are 4.04*10⁶ (UFC/100 ml) in the collector C₁ and 3.30*10⁵, 1.94*10⁵ (UFC/100 ml) in the collector C₃ and C₂ respectively.

The value of the enumeration of the spore of sulphite-reducing anaerobes in the wastewater is superior at the collector C₁ (2.36*10⁵ UFC/100 ml).

The result of the enumeration of the germs of fecal contaminations is in good agreement with the bibliographical data relative to the state of bacterial contamination of urban effluents [19-20-21], but it far exceeds the standard set by the World Health Organization to 1000 CF/100 ml [22].

2.2.- Treatment

2.2.1.- Preliminary analyses

The composition of the raw wastewater, intended to supply the bioreactor is illustrated in Table V.

Table V.- Characteristics of raw wastewater

Parameters	Ave.	Max.	Min.	Moroccan project standards
pH (25.5°C)	6.9	7.2	6	6.5 - 8.5
TSS (mg/l)	441	494.7	383.1	250 - 500
COD (mg/l)	813.3	989	631.5	500 - 800
BOD ₅ (mg/l)	451.1	563	322	200 - 400
N-TKN (mg/l)	153.1	166	132.3	30
N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	12.3	13.87	10.4	-
N-NO ₂ ⁻ (mg/l)	7.53	8.12	6.8	-
P-TP (mg/l)	14.5	16.6	12.2	10

2.2.2. - Wastewater treatment efficiency

The measure of temperature, pH and dissolved oxygen were achieved in situ.

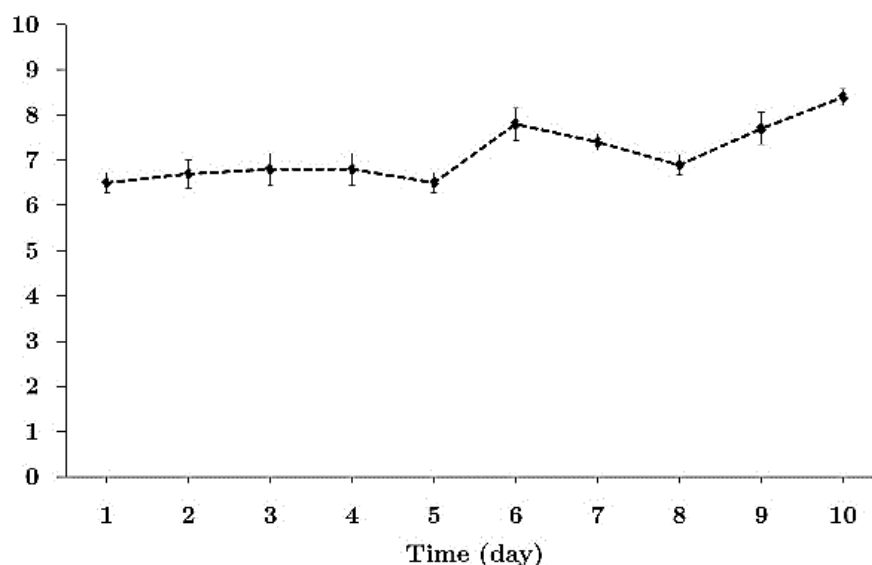


Figure 3.- pH evolution according to the time

The pH varied from 6.5 to 8.4. These values are in the good range of activity of the microorganisms and are favorable for a biological treatment [23]. The temperature was in the average of about 28.9°C and it supported the development of the microorganisms, which take part in the biological treatment of wastewater.

We tested on the scale laboratory a biological treatment. Before its introduction in the reactor, the effluent was analyzed. The effluent was rich in biodegradable organic matters, and was constituted of nutritive substances.

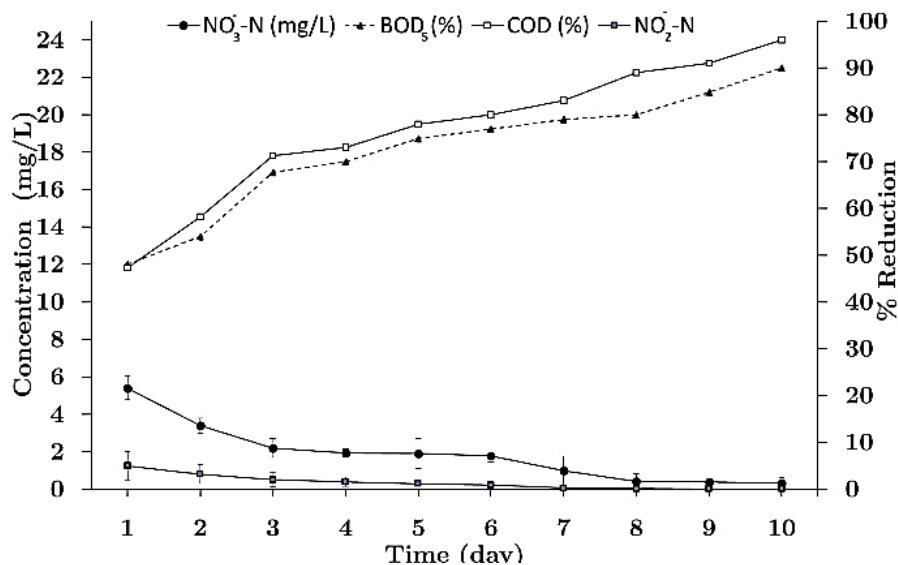


Figure 4.- NO₃⁻-N, NO₂⁻-N, BOD₅ and COD evolution according to the time

Figure 4 shows that the bacterial population has selected very high denitrifying capacity marked by the virtual elimination of nitrates in the effluent after 3 days. These results confirm those reported by [23], working on the combined removal of organic matter and nitrate content in a synthetic wastewater by denitrifying microorganisms optional or strictly anaerobic, said a report COD/ NO₃⁻-N 4 and 5 and a high concentration of nitrates and are sufficient for a good denitrifying activity.

The bio-denitrification of the effluent is accompanied by the reduction of COD and BOD₅ whose abatement rate is 71.2% and 67.71% after 3 days of treatment in the bioreactor. This reduction of BOD₅ and COD could be explained by the wealth of wastewater readily biodegradable organic matter (BOD₅/COD = 0.57), which is a source of assimilable carbon in biomass heterotrophic denitrification. It is therefore an endogenous biological denitrification using organic carbon present in the domestic effluent as the electron donor without resorting to an exterior intake, leading to savings in the cost of carbon substrate to provide. In this regard, many studies of denitrification of waste water loaded with nitrates were performed using the early organic molecules from an external supply such as sugars, alcohols or organic acids [24, 25, 26, 27]. However, the cost of the carbon source to provide is a drawback. Thus in recent years, exploitation of biodegradable organic matter is present in raw sewage, or sludge in treatment plants is favored [28].

Figure 5 shows that for total phosphorus, a percentage removal of 97.69 % is obtained after 10 days of operation of the bioreactor thereby reducing the initial concentration of 13.87 mg/l to 0.32 mg/l . Phosphorus is removed by bacterial assimilation. This reduction is even more important than high pH and the optimum range would be between 7.7 and 9.7 [29]. We noticed an important reduction in total Kjeldahl nitrogen, a percentage removal of 89.3 % is obtained after 10 days.

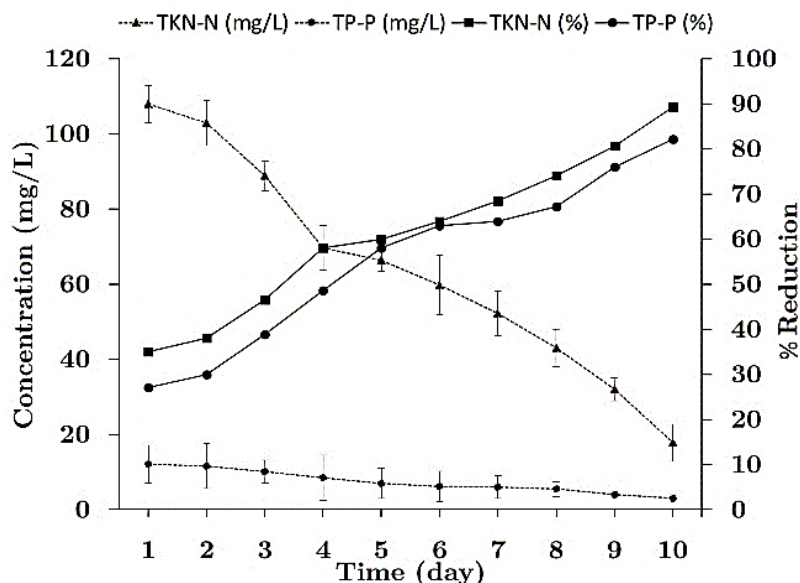


Figure 5. - TKN-N and TP-P evolution according to the time

Conclusion

From the data collected from this research, the physicochemical and biological parameters monitored in point C₁, C₂ and C₃ showed high levels of all the parameters compared to Moroccan standards. This must be as a result of the nature of wastewater. Collector C₃ showed the highest concentration of the physicochemical and bacteriological parameter, while Collector C₂ shows the lowest values.

The bacterial bed colonized by denitrifying flora may be a biological treatment system that is both effective and beneficial. Effective because it helps meet regulatory requirements imposed by the Moroccan standards on wastewater discharges, advantageous as it allows saving energy and space, and a small amount of sludge produced in comparison with other treatment systems such as activated sludge.

Acknowledgements

The authors wish to thank the Hassan II Academy of Science and Technology (Rabat, Morocco) for the financial support of this study.

References

- [1].- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 1989.- Technical Report Series No 778. Health guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, Rapport d'un Groupe Scientifique de l'OMS. Genève: Organisation Mondiale de la Santé 3: 119-124.
- [2].- Prost A., 1991.- L'évolution des Normes d'Hygiène pour l'Emploi des Eaux Résiduaires, Session Spéciale N°5, Réutilisation des Eaux Usées, VII^{ème} Congrès Mondial des Ressources en Eau, Rabat, Maroc:21-26.
- [3].- Sadif N., Mountadar M., 2006.- Treatment of Mills Wastwaters by Oxydation and

Coagulation. *Phys. Chem. News.*, 29p.

- [4].- Haidar A., Echchelh A., Kassou O., Chaouch A., 2010.- Study of wastewater treatment of oil refinery samir sidi kacem (morocco). *Phys. Chem. News*, 52p.
- [5].- Salama Y., Mountadar M., Rihani M., Assobhei O., 2012.- Evaluation Physicochimique et Bactériologique des Eaux Usées Brutes de la Ville d'El Jadida (Maroc). *Science Lib.*, 4, N°120906, 1-14p.
- [6].- Lamghari M. F.Z., Assobhei O., 2007.- Health Risks of Raw Sewage with Particular Reference to Ascaris in the Discharge Zone of El Jadida (Morocco). *Desalination.*, 215: 120-126.
- [7].- Lamghari M. F.Z., 2005.- Caractérisation Parasitologique des Eaux Usées d'El Jadida, leur Impact sur le Littoral (Eaux et Sédiments) et sur la Population Infantile de la Zone de Rejet. Thèse d'Etat. Faculté des Sciences, El Jadida, Maroc., 200 p.
- [8].- Zaouche M., 1981.- La Pollution de l'Eau par les Etablissements Industriels, R. I. A., 291: 73-81.
- [9].- Hamdani A., 2002.- "Caractérisation et Essais de Traitement des Effluents d'une Industrie Laitière: Aspects Microbiologiques et Physicochimiques ". Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences d'El Jadida, Maroc, 250 p.
- [10].- AFNOR., 1999.- Techniques, la qualité de l'eau, Association Française de Normalisation. Recueil des Normes Françaises, Eaux, Méthodes d'Essais, Paris, France, 135 p.
- [11].- AFNOR., 2001.- (Agence Française de Normalisation), Eaux-Méthodes d'Essai. In : Recueil de Normes Françaises (6^{ème} édition), La Défense, Paris, 624 p.
- [12].- MEMEE (Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement du Maroc), 2002.- «Normes Marocaines, Bulletin Officiel du Maroc», N°5062 du 30 ramadan 1423, Rabat.
- [13].- Guamri Y. El., Belghyti D., 2006.- Etude de la qualité physicochimique des Eaux Usées Brutes Rejetées dans le Lac Fouarat. *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, 1: 53-60.
- [14].- JORA (Journal Officiel de la République Algérienne), 2003.- Normes de Rejets dans le Milieu Récepteur., 46: 7-12.
- [15].- Erickson E., Auffarth K., Henze M., Ledin A., 2002.- Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4: 85-104.
- [16].- Du Chaufour P., 1997.- Abrégé de Pédologie: Sol, Végétation et Environnement. 5^{ème} édition, Masson, 300p.
- [17].- Metcalf E., 2000.- Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, Inc. 3. Cd., 1334 p.

- [18].- Alvarez-Vazquez H., Jefferson B., Judd S.J., 2004.- Membrane Bioreactors vs Conventional Biological Treatment of Landfill Leachate: A Brief Review, *J. Chem. Technol, Biotechnol.*, 79: 1043-1049.
- [19].- Baylet R., Mandin G., 1978.- Lagunage et Virologie des Eaux Usées. *La Technique de l'Eau et de l'Assainissement.*, 383: 19-22.
- [20].- Boutin P., 1982.- Implication Sanitaire de l'Assainissement des Petites Collectivités et l'Assainissement Autonome. *XVIème Journée de l'Hydraulique, (Nantes)*: 14-15 et 16.
- [21].- ONEP (Office National de l'Eau Potable), 1999.- Caractérisation Quantitative et Qualitative des Eaux Usées (Maroc).
- [22].- WHO (World Health Organization), 1989.- Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. *Technical Report Series*, 778 p.
- [23].- Gomella C., Gueree H., 1978.- *Le Traitement des Eaux Publiques Industrielles et Privées*, Ed Eyrolles, 108-112 p.
- [24].- McCarthy P.L., Beck L., Amant P., 1969.- Biological Denitrification of Wastewaters by Addition of Organic Materials *Proc. 24th Indust. Waste Conf. Purdue Univ. Eng. Ext.*: 1271–1285.
- [25].- Akunna J.C., Biseau C., Moletta R., 1993.- Nitrate and Nitrite Reductions with Anaerobic Sludge Using Various Carbon sources : Glucose, Glycerol, Acetic acid, Lactic acid and Methanol. *Wat. Res.*, 27: 1303-1312.
- [26].- Ghoualem H., Khouider A., 2007. - Biological Treatment of an Urban Sewage and Analyses of Sediments. *Desalination.*, 206: 507–512.
- [27].- Lie E., Welander T., 1994.- Influence of Dissolved Oxygen and Oxidation-Reduction Potential on the Denitrification Rate of Activated Sludge. *Water Science and Technology.*, 30: 91-100.
- [28].- Khoudir A., Lamari H., Louehli S., 1997.- Traitement Biologique en Lit Fixe d'une Eau Usée de Laiterie, *Eau Ind. Nuisances.*, 203: 37-39.
- [29].- De La Menardiere M.A., 1991.- "Contribution à la Maîtrise de la Déphosphatation des Eaux Résiduaires Urbaines ", Thèse de doctorat, Université de Rennes I, 234 p.

QUELQUES CULTURES STRATEGIQUES POUR L'ALGERIE FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES: L'ORGE (*Hordeum vulgare* L.) ET LE MIL [*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR].

RAHAL-BOUZIANE Hafida
 Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA)
 E-mail: bouzianehafida@yahoo.fr

Résumé.-Le blé tendre et le blé dur sont les principales céréales sur lesquelles repose le régime alimentaire des algériens. Ces cultures sont connues par leur exigence en intrants mais surtout en eau. Avec les changements climatiques, l'Algérie déjà très touchée par la désertification et par la rareté de l'eau, sera confrontée de plus en plus à des difficultés pour assurer sa sécurité alimentaire avec un régime basé essentiellement sur ces cultures exigeantes. Afin de faire face à cette nouvelle situation, il est impératif de chercher des espèces céréalières rustiques et résistantes aux stress hydrique. A côté de l'orge qui est peu exigeante, le mil est la céréale la plus tolérante à la sécheresse. Ces deux espèces pourraient contribuer à combler le déficit causé par les faibles productions en blé dur et en blé tendre. Le développement de ces cultures devient primordial car en plus de leur tolérance à la sécheresse, elles sont connues pour leurs bienfaits sur la santé humaine. Mélanger la farine du blé tendre et/ou du blé dur aux grains complets moulus d'orge et/ou du mil pour faire du pain contribuera non seulement à la sécurité alimentaire des algériens mais surtout à la préservation de leur santé. Utilisés à double fin, l'intérêt de l'orge et du mil pour nourrir le cheptel, pourrait également contribuer à combler le déficit fourrager connu en Algérie. A côté des variétés performantes, le germoplasme local constitue une richesse à exploiter d'ores et déjà et à intégrer sérieusement dans les programmes d'amélioration génétique.

Mots clés: Orge, Mil, Changement climatique, Sécurité alimentaire.

SOME STRATEGIC CROPS FOR ALGERIA TO CLIMATE CHANGE: BARLEY (*Hordeum vulgare* L) AND MILLET [*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR].

Abstract.- The bread wheat and the durum wheat are the main cereals on which rest the diet of Algerians. These crops are known by their requirement in inputs and especially water. With climate change, Algeria already affected by desertification and the scarcity of water will be confronted more and more with difficulties to ensure its food security with a diet based primarily on these demanding cultures. To cope with this new situation, it is imperative to look for rustic cereal species and resistant to water stress. Beside barley which is little exigent, pearl millet is the most tolerant cereal drought. These two species could contribute to make up the deficit caused by the low productions on durum and bread wheat. The development of these cultures is important because in addition to their tolerance to drought, they are known for their beneficial effects on human health. Mix the flour of bread wheat and / or durum wheat to whole grain milled barley and / or pearl millet to make bread contribute not only to food security for Algerians but mostly to preserve their health. Used at double end, the interest of barley and millet to nourish the livestock, could also contribute to make up the known fodder deficit in Algeria. Beside performing varieties, the local germplasm constitutes a richness to be exploited right now and to integrate seriously in the programs of genetic improvement.

Key words: Barley, Millet, Climate change, Food security.

Introduction

L'Algérie est l'un des pays les plus touchés par la désertification. Avec près de 20 millions d'hectares de parcours steppiques et 12 millions d'hectares de parcours présahariens se trouvant dans l'étage bioclimatique semi-aride à aride, l'Algérie perd ainsi quelques milliers d'hectares chaque année [1]. D'autre part, l'Algérie est considérée comme vulnérable aux effets des changements climatiques et elle fait partie des zones arides et semi-arides exposées aux sécheresses chroniques [2]. Les perspectives sur le changement climatique et la démographie montrent que les besoins alimentaires et hydriques seront croissants en Afrique du Nord, alors que les ressources en eau et les rendements agricoles seront plus restreints que prévus [3].

ROUSSET et ARRUS (2004) indiquent qu'au niveau du Maghreb, le changement climatique conduira à une réduction des disponibilités en eau pour l'agriculture pluviale et irriguée [4]. Les perspectives montrent qu'à l'horizon 2020, l'Algérie anticipe une réduction moyenne des rendements céréaliers de 10% (BINDI et MORIONDO, 2005 cités par ROUSSET, 2007) [3].

L'augmentation des températures et la diminution des pluies dans notre région, va entraîner des problèmes majeurs de ressources en eau, de sécheresse, de désertification et de perte de la biodiversité [5].

Le changement climatique devrait avoir des répercussions profondes sur le maïs, le riz et le blé [6].

En Algérie, le blé tendre est le plus consommé par les algériens. La grande consommation de pain de blé tendre par les algériens implique un accroissement de la dépendance extérieure [7]. En effet, l'Algérie est un importateur net de produits alimentaires (blé dur et blé tendre, poudre de lait, produits laitiers et semences agricoles, etc.) [1]. La facture des importations des céréales en Algérie pèse lourd sur l'Etat algérien qui continue à subventionner ces produits.

Sur les 150 000 ha irrigables, 43 000 ha seulement ont été effectivement irrigués en 2007, du fait de la sécheresse et de la réaffectation des eaux d'irrigation à l'alimentation en eau potable des populations, notamment à l'ouest du pays [8]. Avec un faible pourcentage de la SAU irriguée et un taux de pluviométrie peu encourageant, l'avenir de la céréaliculture devient compromettant et rend urgente la mise en place d'une stratégie de substitution [9].

L'adaptation aux changements climatiques devient impérative dès à présent. Pour l'agriculture, le privilège doit être accordé aux espèces rustiques capables de s'adapter à cette nouvelle problématique. L'agriculture familiale dans les milieux ruraux devrait avoir une place prioritaire dans la politique agricole. L'agriculture familiale est considérée par certains spécialistes comme le mode de mise en valeur agricole le plus résilient, grâce aux mécanismes de gestion du risque développés depuis des générations par les agriculteurs et leurs familles [10].

Les changements et les imprévus climatiques vont rendre la gestion de l'eau de plus en plus difficile. Une action rapide destinée à adapter le secteur au changement climatique sera beaucoup moins coûteuse que les dommages qui résulteront de ce phénomène [11].

Des efforts d'adaptation plus soutenus permettraient de réduire les dommages à court terme, quelle que soit l'évolution du climat à long terme [12].

Dans ce travail, nous essayons de mettre en relief l'importance des cultures rustiques comme l'orge et le mil, devenant stratégiques, face à la rareté de l'eau et aux conséquences vulnérables du changement climatique sur le devenir de la céréaliculture et donc de la sécurité alimentaire en Algérie.

Changement climatique et ses répercussions au plan mondial

Les changements climatiques sont actuellement considérés comme l'une des menaces les plus graves posées au développement et aux moyens de vie des populations les plus pauvres de la planète [13]. Les changements climatiques sont devenus la principale menace à la diversité biologique [14]. Du fait des perturbations dans le régime des précipitations et de la hausse des températures, des milliers d'espèces végétales et animales sont menacées [13]. A l'horizon 2080, ce sont 20% des zones humides côtières qui seront perdus du fait de l'élévation du niveau de la mer et le risque d'extinction des espèces concernera 20 à 30% des espèces [15].

L'agriculture reste sans aucun doute, parmi les activités humaines, une de celles le plus directement influencées par le climat. Le changement climatique aura donc un impact sur la composante biotechnique de la production [16]. L'impact sur l'agriculture est multiple. Il pèse sur les personnes, sur le capital des exploitations et sur les résultats de ces dernières (systèmes d'élevage et de culture moins productifs), mais également sur les dynamiques collectives, le tout contribuant à accroître la vulnérabilité des plus pauvres [10]. L'agriculture constitue un secteur particulièrement sensible qui contribue pour 16% à des émissions de gaz à effet de serre, subit l'impact des changements climatiques et peut aussi contribuer par certaines pratiques à la réduction de ces gaz dans l'atmosphère [12]. Le changement climatique, le plus grave défi environnemental face à l'humanité, devrait avoir des répercussions profondes sur le maïs, le riz et le blé [6].

Au niveau mondial, on estime que des températures plus élevées et des tendances de précipitations depuis 1980 ont réduit les rendements de blé de 5,5 pour cent et ceux du maïs de 3,8 pour cent en dessous de ce qu'ils auraient été si le climat était resté stable [17]. Les décennies à venir devraient voir de nouvelles augmentations de la température, l'élévation du niveau de la mer, des pressions des ravageurs et des maladies plus intenses, des pénuries d'eau, des phénomènes météorologiques extrêmes et la perte de la biodiversité [18].

Une étude récente sur les impacts du changement climatique sur l'agriculture a trouvé que, sans l'adaptation par les agriculteurs, les rendements des cultures mondiales en 2050 seraient de 6,9 pour cent en dessous des rendements estimés sans changement climatique; les rendements des céréales seraient inférieurs de pas moins de 10 pour cent aussi dans les pays développés ainsi que ceux en voie de développement [19].

Des diminutions du rendement de blé de 45% et 15% seraient prévues, respectivement dans les régions tropicales et dans les zones tempérées [20]. Les effets du changement climatique seraient plus perceptibles dans les zones arides et semi-arides qui sont qualifiées comme étant les zones les plus vulnérables aux changements climatiques [21].

Le troisième rapport d'évaluation du GIEC (2001), donne une vision convaincante des conditions qui prévaudront probablement sur la terre à la fin du XXI^{ème} siècle, avec un réchauffement mondial de 1.4-5.8°C, influant sur le régime des systèmes météorologiques, les ressources en eau et le cycle des saisons [12].

En Afrique, les zones sèches qui couvrent essentiellement la zone circum-saharienne, avec une légère extension en Afrique australe, sont caractérisées ces dernières décennies par une importance variabilité climatique; en témoignent la baisse de la pluviométrie et la hausse des températures, avec des conséquences négatives sur les écosystèmes et les systèmes de production, faisant de cette partie du monde l'une des zones les plus vulnérables face aux changements climatiques. On assistera à l'horizon 2080 à une augmentation des terres arides et semi-arides de l'ordre de 5 à 8% [15]. Bien que perçues différemment, les changements climatiques, la diversité biologique et la désertification sont des problématiques intrinsèquement liées car au niveau local, les mesures pour améliorer les effets de la variabilité et le changement climatique, contribuent aussi à lutter efficacement contre la désertification et à protéger la diversité biologique [13].

Changement climatique et ses répercussions en Algérie

Selon Le HOUEROU (1992) cité par MANSOURI *et al.* (2015), le processus de changement climatique se traduira par un déplacement vers le nord des étages bioclimatiques méditerranéens, conduisant en Afrique du Nord à une baisse des rendements agricoles au Maghreb [22].

Les prospectives sur le changement climatique et la démographie montrent que les besoins alimentaires et hydriques seront croissants en Afrique du Nord, alors que les ressources en eau et les rendements agricoles seront plus restreints que prévu. Au niveau du Maghreb, le changement climatique conduira à une réduction des disponibilités en eau pour l'agriculture pluviale et irriguée causée par la conjonction de trois aspects: l'augmentation de l'évaporation et de l'évapotranspiration, la réduction probable des précipitations et l'augmentation de leur variabilité et l'élévation du niveau de mer en relation avec les nappes phréatiques côtières [3]. Il doit conduire entre autre à une accélération de l'érosion et de la dégradation des sols qui seront accentuées sur les zones côtières par l'élévation du niveau de la mer et les risques de salinisation des sols [4].

L'Algérie est considérée comme vulnérable aux effets des changements climatiques, elle fait partie des zones arides et semi-arides exposées aux sécheresses chroniques [2]. Un stress thermique supplémentaire réduira les rendements d'une manière significative, surtout dans les zones où les cultures sont déjà près de leur tolérance thermique maximale, soulignent [12]. Le pays connaît déjà une accentuation des sécheresses et donc une aggravation des phénomènes de désertification, salinisation des sols, pollution des eaux superficielles et par conséquent, une dégradation progressive des ressources en eau [11]. L'Algérie connaît une hausse des températures et subit, ici et là, des sécheresses sévères et des inondations, des incendies de forêts, la dégradation de la steppe sur les hauts plateaux et malheureusement, une aggravation de la désertification [5]. Les récentes fluctuations climatiques et les sécheresses, plus fréquentes au cours des trois dernières décennies, ont accentué le phénomène de dégradation des sols, engendrant ainsi la désertification des zones vulnérables comme les steppes et les hautes plaines [11].

L'Algérie anticipe une réduction moyenne des rendements céréaliers de 10% à l'horizon 2020. La production des légumes sera fortement touchée aussi par le changement climatique en Algérie dont la productivité diminuerait de 15 à 30% d'ici 2030 (BINDI et MORIONDO, 2005 cités par ROUSSET, 2007) [3].

Les effets négatifs sur les rendements et la production au Maghreb, à travers le changement climatique, devraient toucher la majorité des cultures et notamment les céréales, les légumes et dans une moindre mesure les agrumes (ROSENZWEIG *et al.*, 1997 cité par ROUSSET et ARRUS, 2004) [4].

L'orge face aux changements climatiques

L'orge est une espèce annuelle de la famille des poacées. Le genre *Hordeum* a des centres de diversité dans le centre et le sud ouest de l'Asie, dans l'ouest de l'Amérique du nord, dans le sud de l'Amérique du sud et dans la méditerranée. Plusieurs espèces sont adaptées aux environnements extrêmes et beaucoup possèdent une tolérance aux conditions froides et salines [23]. L'orge a un pool génétique qui a le potentiel de contenir suffisamment de diversité génétique à exploiter pour l'adaptation à différentes conditions environnementales. En outre, les vastes ressources en matériel génétique d'orge, disponibles dans le monde, contiennent probablement une variation allélique bénéfique que les nouvelles technologies génomiques et de sélection peuvent exploiter [24].

La base de données européenne de l'orge ou «EBDB» (the European Barley Database) comprend les données de 155 000 entrées provenant de 23 pays européens et de trois banques de gènes supplémentaires [25]. Parmi les milliers d'accessions du genre *Hordeum* disponibles dans les banques de gènes, une proportion importante représente des landraces d'orge présumés être adaptés à une large gamme d'environnements [26].

Au cours des 100 dernières années, les cultivars traditionnels ont été la plupart du temps remplacés dans l'agriculture par des variétés de lignées pures avec une diversité génétique réduite [27]. Depuis le début du 20^{ème} siècle, la combinaison génétique a conduit à une augmentation de la variation des caractéristiques d'intérêt humain spécifique. La diversité génétique au sein de l'orge moderne a généralement diminué par rapport à celle des anciennes variétés locales (Landraces). Des traits comme la croissance printanière, la qualité brassicole et la résistance à la verse ont été améliorés et donc diversifiés au cours du siècle dernier. La variation naturelle dans d'autres caractères pourrait, cependant, être réduite en raison de la sélection de l'uniformité de la production agricole [28].

Beaucoup de traits spécifiques d'adaptation existent chez les orges autochtones et qu'ils n'ont pas été intégrés dans les cultivars modernes [29]. Au fil du temps, les variétés locales reconnues comme de précieuses sources de résistance aux ravageurs, aux maladies et aux contraintes abiotiques, ont été de plus en plus remplacées par des cultivars commerciaux [30].

Dans les conditions défavorables, les landraces peuvent donner de meilleurs rendements que les variétés modernes, avec ou sans intrants [31].

L'orge est un excellent modèle pour comprendre les réponses agricoles aux changements climatiques [26]. Avec sa large gamme environnementale, ses différentes

utilisations et une grande variété d'utilisateurs, l'orge a émergé comme un excellent modèle pour à la fois enquêter et répondre aux impacts des différents scénarios des changements climatiques [32]. Le blé tendre a un génome plus complexe et plus grand que l'orge diploïde, qui résulte de son origine par hybridation de trois espèces d'ancêtres [26]. Cela rend plus difficile la dissection et l'évaluation des traits d'adaptation chez le blé (IBGSC, 2012 cité par DAWSON *et al.*, 2015) [26]. Le faible nombre de chromosomes et la facilité de croisement renforcent l'utilité de l'orge comme un modèle biologique pertinent [33].

Dans son étude faite sur orge, FUNDAZIOA (2012) a démontré les capacités de l'orge à s'adapter aux changements climatiques [34]. De leur côté, DAWSON *et al.*, (2015) estiment que les travaux faits de par le monde sur orge comme plante modèle fournissent un environnement favorable pour relever les défis du changement climatique [26].

L'orge: usages, potentialités et vertus

Domestiqué il y a plus de 10.000 ans dans le Croissant Fertile, l'orge est maintenant cultivée sur environ 57 millions d'hectares. Plus de la moitié de cette zone se trouve dans les pays développés [35].

L'orge est un aliment de base important dans certaines régions d'Afrique du Nord et de Proche-Orient, dans les hauts plateaux de l'Asie centrale, dans la Corne de l'Afrique, dans la région andine et dans les pays baltiques [35]. L'orge est une source importante de nourriture et de fourrage pour le bétail et d'aliment et boisson pour les humains [32].

L'orge et le blé sont les céréales les plus utilisées comme plantes entières dans le monde entier [36]. La récolte de l'orge (plante entière) au stade pâteux, permet de l'utiliser soit en vert ou alors comme ensilage. Cette technique permet entre autres d'améliorer la production en matière sèche et en unités fourragères.

Les céréales immatures constituent une option possible contre la sécheresse estivale. En zone semi-aride, l'étendue des superficies permet d'envisager l'exploitation de céréales immatures pour des fourrages sans trop handicaper la production de céréales; en année sèche, il serait possible de convertir une partie des superficies emblavées en céréales en foin ou en ensilage [37].

L'orge contient beaucoup d'éléments essentiels à notre corps : calcium, phosphore, fer, potassium, zinc, sélénium, vitamines (B₁, B₂, PP) ainsi que des fibres. Elle a aussi des vertus diurétiques et tonocardiaques. Elle contient notamment des bêtaglucanes, qui sont des pièges à cholestérol [38].

Des recherches scientifiques récentes ont démontré que le jus des jeunes feuilles d'orge est riche en vitamines, en chlorophylle (excellent agent de désintoxication) et en mucopolysaccharides. Des 3000 enzymes connues et identifiées, l'herbe d'orge en contient plus de 1000, incluant un antioxydant puissant (S.O.D) [38]. La S.O.D. (super oxyde dismutase) fait partie de toutes les cellules du corps et joue un rôle anti-oxydant, protégeant les cellules contre la radiation et les radicaux libres émanant de la pollution. Elle est aussi anti-inflammatoire et aide à prévenir les avaries causées aux cellules par une crise cardiaque [39].

La teneur en protéines brutes de l'orge est plus élevée que celle du maïs et semblable à celle du blé et d'avoine, mais plus faible que celle des petits pois [40]. La teneur en phosphore de l'orge est similaire à celle du maïs et du sorgho, mais inférieure à celle de blé ou d'avoine. L'orge est plus riche en potassium que les autres céréales fourragères. Elle est aussi plus riche en vitamines A et E que les autres grandes céréales [40].

Malgré tous ses bienfaits, l'orge a malheureusement régressé en tant qu'aliment pour les humains non seulement en Algérie mais à l'échelle mondiale. En Algérie, au début du 19^{ème} siècle, l'orge qui venait en tête des cultures par son importance, était destinée à la consommation humaine et servait de complément fourrager aux troupeaux entretenus pendant la plus grande partie de l'année dans les régions steppiques [41]. Sa régression a débuté en 1900 suite à plusieurs facteurs parmi lesquels l'introduction du blé tendre par les colons français et le changement dans les plats culinaires [42].

Le pain à base de blé tendre (finement moulu) et consommé actuellement par les algériens n'est pas bénéfique pour la santé humaine, d'autant plus que cette grande consommation n'est pas au profit de l'économie du pays. De nos jours, les aliments à base de céréales complètes sont de plus en plus reconnus comme facteur de santé et de bien être [43].

Les chercheurs à la commission canadienne des grains ont découvert que l'ajout de fractions de fibres d'orge au pain de blé donne un pain à bienfaits ajoutés pour la santé grâce aux bêta-glucanes [44].

Il devient important de sensibiliser à tous les niveaux quant à l'importance de cette espèce et l'utilité de la développer comme stratégie d'adaptation aux changements climatiques. L'amélioration des rendements à l'état immédiat pourrait se faire en cultivant cette espèce dans des conditions plus favorables au lieu des zones marginalisées où elle est souvent cultivée. Dans les régions où elle utilisée jusqu'à nos jours dans l'alimentation humaine, comme c'est le cas des régions du sud, il est nécessaire d'appuyer les agriculteurs cultivant cette espèce par des programmes visant à améliorer la situation économique des populations rurales.

Il est possible d'améliorer les moyens de subsistance de la population rurale dans les régions où l'orge est un aliment de base, non seulement en augmentant la productivité agricole durable mais aussi en améliorant la nutrition, la réduction du travail pénible et le développement des industries locales à base d'orge [45]. Ces auteurs ajoutent qu'en raison de ses avantages nutritionnels potentiels, il est également possible que l'orge alimentaire puisse être exportée vers les pays développés où l'intérêt est accordé à la nourriture saine pour la prévention des maladies coronariennes ayant augmenté de façon spectaculaire au cours des deux dernières décennies.

Le mil, face aux changements climatiques

Le mil, *Pennisetum glaucum*, est la céréale la plus tolérante à la sécheresse. Il est cultivé dans les régions où la pluviosité se situe entre 150 et 800 millimètres [46]. C'est une plante annuelle de la famille des poacées.

Le mil est cultivé depuis les temps préhistoriques dans les régions de l'Afrique du nord et en Asie centrale [47]. Les données archéologiques, ethnobotaniques et expérimentales sont encore trop éparées pour que l'histoire du mil puisse être détaillée. Il paraît vraisemblable que le mil a été domestiqué indépendamment en plusieurs zones d'Afrique, de l'océan Indien à l'Atlantique [48]. Jusqu'à ce jour, l'histoire de la domestication du millet perlé est mal connue [49]. Le «Croissant Fertile» africain du Darfour à Tombouctou, aurait pu être le domaine majeur de ces domestications, d'antériorité décroissante d'Est en Ouest. Ces événements, difficiles à dater, pourraient être antérieurs, dans certains cas, à 3000 ans avant J.C. [48]. Très tôt, le mil aurait quitté l'Afrique vers l'Inde, où il s'est facilement développé et a même gagné la Chine; il s'est étendu vers le Nord de l'Afrique (Tunisie, Maroc, Algérie et même en Espagne), d'après PERNES *et al.* (1984) [48].

L'ICRISAT possède la collection la plus large de mil dans le monde [50]. Cet organisme détient plus de 21 000 accessions de mils sauvages et cultivés provenant de 50 pays [51].

Le mil est une importante culture vivrière et est une source d'énergie vitale pour les millions de pauvres vivant dans les zones tropicales semi-arides. Cette culture occupe 10 millions d'hectares en Inde qui partage un tiers de la zone de production mondiale [52]. Il est cultivé sur plus de 31.2 millions d'hectares dans les régions tropicales arides et semi arides de l'Asie, de l'Afrique et de l'Amérique latine comme aliment de base en grain [53]. Aux Etats Unis et en Europe, le mil est cultivé comme fourrage et aliment pour le bétail [52]. Il est bien adapté aux zones de culture caractérisées par la sécheresse, la faible fertilité du sol et les températures élevées et il se comporte bien dans les sols fortement salins ou à faible pH [53]. Certains gènes associés à la période de floraison du mil ont été récemment découverts mais le rôle des gènes de la floraison dans l'adaptation du millet perlé au climat lors de la domestication reste inconnu [54].

Le mil cultivé affiche une variabilité phénotypique énorme pour des traits tels que la date de la floraison, la longueur de la panicule, les caractéristiques du grain, la tolérance à la sécheresse, les ravageurs et les maladies ainsi que la valeur nutritionnelle [55].

La diversité génétique des cultivars de mil a été un domaine de haute priorité dans les travaux de recherche pour l'amélioration de cette espèce [56].

Comprendre et prédire l'impact des changements climatiques sur la diversité génétique et phénotypique des plantes cultivées et des formes sauvages qui leur sont apparentées sont des enjeux majeurs notamment pour les pays en développement. Le mil (*Pennisetum glaucum*) est parmi les espèces considérées dans certaines études faites pour repérer des régions du génome impliquées dans la réponse des plantes à l'hétérogénéité du climat. Le caractère cible étudié est la date de floraison, caractère clé de la valeur adaptative d'une plante et de son rendement grainier, dépendant des conditions climatiques [57].

Avec le réchauffement climatique et l'extension des zones arides, le mil devient une espèce prépondérante dans la lutte contre la sécheresse. Le mil possède des propriétés intéressantes pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique [58].

Le mil: usages, potentialités et vertus

Le millet perlé (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), est une culture vivrière importante et est source d'énergie vitale pour les millions de pauvres vivant dans les zones tropicales semi-arides [52].

C'est le grain, d'une valeur nutritionnelle supérieure à celle du riz et du blé, qui constitue le principal produit de la culture [59]. Il représente souvent la base de l'alimentation et se consomme alors sous la forme de pâte, de bouillie, de couscous ou de galette [46]. Dans certaines régions, la paille est utilisée comme fourrage ou pour la fabrication de toitures et de clôtures traditionnelles, ajoutent les mêmes auteurs. Aux Etats Unis et en Europe, le millet perlé est cultivé comme fourrage et aliment de bétail [52]. Comme fourrage, le mil est utilisable en fauche et/ou pâture et convient à tous les types de ruminants [60]. Les résidus de récolte et la paille du millet perlé constituent une source importante de fourrage, ce qui équivaut 40-50 pour cent de matières sèches ingérées au long de l'année et représente la seule source d'alimentation dans les mois secs [61].

Le mil produit des grains nutritifs qui sont une source riche en protéines, calcium, phosphore, fer et zinc par comparaison aux autres cultures de céréales [62]. Les mils contiennent généralement des quantités plus élevées en acides aminés essentiels en particulier: méthionine, cystéine et matières grasses que le maïs, le riz, le blé et le sorgho (OBILANA et MANYASA, 2002 cités par GOVINDARAJ 2011) [52].

Le millet est une source de magnésium, une portion de 125 ml de millet cuit comble environ 10% des besoins quotidiens en magnésium [63].

Des études effectuées chez l'animal ont démontré que la consommation de la protéine de millet entraînait une augmentation du bon cholestérol (HDL) en comparaison à une protéine de référence, la caséine du lait. Les auteurs ont également observé, chez un modèle de souris diabétique, une diminution de l'insuline et une augmentation de l'adiponectine dans le sang, deux éléments associés à une diminution du risque de maladie cardiovasculaire et de diabète de type 2, selon la même source [63].

Etant tolérant à la sécheresse, avec une concentration en protéines plus élevée et de meilleure qualité par rapport à d'autres céréales, les scientifiques espèrent augmenter l'utilisation du mil comme grain pour l'alimentation humaine et animale [52].

Sans gluten, le mil convient donc entre autres aux malades cœliaques présentant une allergie au gluten. Ces malades devenus nombreux en Algérie, consomment le maïs et le riz (sans gluten), à la place du blé ou de l'orge (avec gluten). Le développement du mil (production de grain) pourrait être une opportunité pour l'agro-alimentaire, en permettant de produire du pain, des biscuits et autres à base de cette céréale, pour entre autres, cette catégorie de malades.

Les ressources génétiques d'orge et de mil en Algérie : diversité et potentialités

L'orge a été cultivée de tout temps par les populations locales [64]. Les orges algériennes cultivées appartiennent presque exclusivement à l'espèce *Hordeum tetrastichum* L. (orge carrée ou escurgeon d'Afrique). Mais on rencontre aussi quelques orges à 6 rangs (*H. hexastichum*) peu appréciées (dureté du grain), des orges à 2 rangs (*H. distichum*)

[65]. D'après le même auteur, par sélection généalogique, il y a eu des sortes locales : les orges I.A.A. 42 et Saïda 183, l'orge à 6 rangs 839. Les variétés Saïda et Tichedrett (variétés locales homologuées) sont parmi les résultats de cette époque.

La période allant de 1965 à 1970 s'est caractérisée par l'introduction de semences et plants de variétés à haut potentiel génétique, ce qui a provoqué la régression de certains cultivars locaux [66]. Pour l'orge, la période postcoloniale a puisé fortement des introductions massives de matériels semi-finis et finis des centres internationaux (CIMMYT et ICARDA) et des programmes de collaboration bilatérale (INRAF, INRAM, INRAT) et de nouvelles variétés ont été sélectionnées. Les nouvelles variétés d'orge adoptées en Algérie, restent marginales car sont d'une grande sensibilité aux variations des conditions climatiques [67].

En 1995, l'ITGC mentionne 09 variétés d'orge dont deux locales (Saïda et Tichedrett) et la majorité sont originaires de la Syrie et sélectionnées à l'ITGC [68].

Concernant l'orge, seulement cinq variétés ont été multipliées par l'ITGC en 2004/2005, à savoir: Saïda 183, Jaidor, Barberousse, Tichedrett, Rihane 03.

En Algérie, les prospections sur les céréales à la recherche de ressources locales durant la période post coloniale ont concerné beaucoup plus les blés sahariens comme celles de [69]. Sur l'orge, nous notons de simples citations déclarant l'existence de cette culture au niveau du sud algérien; ces informations restent très générales. Sur l'espèce *Hordeum vulgare*, les études ont concerné les variétés locales homologuées «Saïda» et «Tichedrett». Des cultivars oasiens d'orges du Touat, Gourara et Tidikelt ont été caractérisés [70]. Récemment, des études ont montré l'existence d'une grande diversité génétique au sein d'un germoplasme local d'orge, provenant de plusieurs régions sahariennes [71]. A travers ces études, de grandes performances morphologiques et agronomiques ont été constatées sur le matériel végétal local par comparaison à plusieurs témoins. Il s'avère que beaucoup de génotypes locaux d'orge possèdent également des potentialités fourragères intéressantes pour l'utilisation comme plante entière à l'état immature soit comme fourrage vert ou à tester pour ensilage [72].

Concernant le mil, durant la période coloniale, l'existence de cette espèce en Algérie a été signalée par [65], mais les informations durant cette période restent très restreintes. Il en est de même pour VOINOT (1909) [73] et BATTANDIER et TRABUT (1898) [74].

En 1988, [75] signalent l'existence du mil et du sorgho dans le Sahara algérien, au niveau des oasis. Des travaux récents dans la région d'Adrar dont ceux de [76, 77, 78] et à Tamanrasset [79], ont permis d'inventorier et de caractériser quelques cultivars de mils et de sorghos de ces régions. Le mil a été introduit dans les oasis de la région d'Adrar très anciennement, selon le témoignage des agriculteurs de la région [76]. Son utilisation est aussi bien pour nourrir l'Homme (grain) que l'animal (feuilles et tiges) [80]. Le mil est utilisé dans ces régions sous forme de plusieurs plats culinaires : couscous à base du mélange de : farine de mil, farine de blé tendre, farine de sorgho «Hamra» et farine de maïs; soupe et galettes à base de mil et galettes et boisson de mil avec du lait [81]. Les travaux d'inventaire et de caractérisations sur les mils locaux de la région d'Adrar ont montré l'existence d'une diversité génétique au sein de ce germoplasme et des potentialités agro-morphologiques et nutritionnelles intéressantes [78, 80].

Conclusion

L'orge et le mil ont régressé en tant qu'espèces vivrières non seulement en Algérie mais à l'échelle mondiale suite aux changements culinaires, en faveur du blé, du maïs et du riz, selon les régions. Les études récentes sur les perspectives du changement climatique à l'échelle planétaire ont montré que les cultures les plus vulnérables à ce changement et dont les rendements seront le plus affectés concernent le blé, le maïs et le riz. A l'échelle mondiale, une prise de conscience quant à l'importance des cultures rustiques comme l'orge et le mil commence à prendre effet ces dernières années suite à plusieurs facteurs dont particulièrement le changement climatique.

L'Algérie est un pays à prédominance de régions arides et semi-arides. Ces types de régions seront malheureusement les plus affectés par les changements du climat. L'adaptation à ce phénomène doit se faire dès à présent afin de prévenir ses effets néfastes qui risquent de menacer la souveraineté du pays en aggravant sa situation de dépendance alimentaire. Le retour aux plats culinaires traditionnels à base de céréales rustiques et très bénéfiques pour la santé humaine tels que l'orge et le mil, constitue un enjeu majeur pour l'Algérie, face aux nouveaux défis. A l'échelle de l'agriculture familiale, il est important de mettre en place des programmes et aussi des projets permettant à tous les types de producteurs de relever le défi de la durabilité. La sensibilisation devrait se faire à plusieurs niveaux pour l'adoption de ces nouvelles stratégies.

La préservation de la diversité des ressources génétiques des espèces rustiques en général et leur valorisation est impérative pour le développement durable et constitue l'une des mesures pour l'adaptation aux changements climatiques.

Références bibliographiques

- [1].- Moulai A., 2008.- Suivi de la stratégie méditerranéenne pour le développement durable. Développement agricole et rural. Etude nationale Algérie, vol. 1, Plan bleu, centre d'Activité Régionales, Sophia Antipolis, 44 p.
- [2].- Aziza M. A., 2006.- La lutte contre les effets néfastes des changements climatiques. Bulletin des énergies renouvelables, n° 9: 10-11.
- [3].- Rousset N., 2007.- Le commerce international comme stratégie d'adaptation à la rareté des ressources hydriques; utilité et application du concept de commerce d'eau virtuelle en Afrique du Nord. Note de travail, N° 24/2007, LEP II, université de Grenoble, CNRS, Paris, 14 p.
- [4].- Rousset N., Arrus R., 2004.- Economie de l'adaptation aux changements climatiques et agriculture dans le bassin méditerranéen. Environnement et identité en méditerranée. IV^{ème} congrès international, Corte, Università di Corsica Pasquale Paoli, 8 p.
- [5].- Boucherf D., SD. Variabilité et changement climatique en Algérie. CRSTRA, Biskra: 109-126.

- [6].- FAO, 2016.- Save and grow in practice: maize, rice, wheat. A guide to sustainable cereal production, 124 p.
- [7].- Tounsi M., 1986.- Industrie céréalière et stratégie agro-alimentaire en Algérie. Options méditerranéennes. CIHEAM, Montpellier: 93-104.
- [8].- Tabet M., 2008.- Impact du changement climatique sur l'agriculture et les ressources en eau au Maghreb. Note d'alerte n° 48, CIHEAM, Montpellier: 1-5.
- [9].- Direction Générale des Forêts (DGF), 2003.- Programme d'action national sur la lutte contre la désertification. Alger, 119 p.
- [10].- Dugué M.J., 2012.- Caractérisation des stratégies d'adaptation au changement climatique en agriculture paysanne. Agronomes et vétérinaires sans frontières, 50 p. www.avsf.org
- [11].- Nichane M., Khelil M. A., 2014.- Changements climatiques et ressources en eau en Algérie: vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation. Revue des BioRessources, vol. 4, n° 2: 1-7.
- [12].- Fenni M., Machane Y., 2010.- Changement climatique et agriculture de conservation. Agronomie, n° 0-2010: 16-20.
- [13].- Al Hamndou D., Requier-Desjardins M., 2008.- Variabilité climatique, désertification et biodiversité en Afrique: s'adapter, une approche intégrée. Vertigo, la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 8, n°1. <http://vertigo.revues.org/5356>
- [14].- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005.- Ecosystems and Human well-being: Desertification Synthesis, Island Press, Washington D.C., 36 p.
- [15].- GIEC (le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2007.- Changements climatiques 2007 (rapport de synthèse), 103 p.
- [16].- Seguin B., 2010.- Le changement climatique: conséquences pour les végétaux. Quaderni, 71: 27-40. <http://quaderni.revues.org/525>
- [17].- BISA (Borlang Institute for South Asia), 2015.- Major accomplishments 2012-2014. BISA Report Series 1, New Delhi, India, 38 p.
- [18].- Mackill D.J., Ismail A.M., Pamplona A.M., Sanchez D.I., Carandang J.J., Septiningsih E.M., 2010.- Stress-tolerant rice varieties for adaptation to a changing climate. Crop. Environment and Bioinformatics, 7: 250-259.
- [19].- Solh M., Braun H.J., Tadesse W., 2014.- Save and grow wheat. Paper prepared for FAO. Technical Consultation on save and grow: Maize, Rice and Wheat, Rome: 15-17.
- [20].- Challinor A.J., Watson J., Lobell D.B., Howden S.M., Smith D.R., Chhetri N., 2014.- A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. Nat.

- Clim. Chang., 4: 287-291.
- [21].- Giorgi F., 2006.- Climate change hot-pots. Geographical Research Letters, 33 (L08707): 1-4.
- [22].- Mansouri S., Radhouane L., 2015.- Dynamique du climat et impact sur la production d'orge dans la zone de béja au Nord-Ouest de la Tunisie. European Scientific Journal, vol. 11, n° 9: 85-103.
- [23].- Von Bothmer R., 1992.- The wild species of *Hordeum*: Relationships and potential use for improvement of cultivated barley. Chapter 1. In: RP Shewry. Ed. Barley: Genetics, Biochemistry, molecular biology and Biotechnology. C.A.B. International, Wallingford, Oxon: 3-18.
- [24].- Muñoz-Amatriaín M., Cuesta-Marcos A., Endelman J.B., Comadran J., Bonman J.M., Bockelman H.E., Chao S., Russel J., Waugh R., Hayes P.M., Muehlbauer G.J., 2014.- The USDA Barley Core Collection: Genetic Diversity, Population Structure, and Potential for Genome-Wide Association Studies. PLoS ONE 9(4): e94688. doi:10.1371/journal.pone.0094688.
- [25].- Enneking D. and Knüpffer H., 2001.- The European Barley Database. Report of a Working Group on Barley, Sixth Meeting, Salsomaggiore, Italy: 50-62.
(<http://barley.ipkgatersleben.de/ebdb/>).
- [26].- Dawson I.K., Russel J., Powell W., Steffenson B., Thomas W.T.B., Waugh R., 2015.- Barley: a translational model for adaptation to climate change. New Phytologist, 206: 913-931.
- [27].- Nevo E., 1992.- Origin, evolution, population genetics and resources of wild barley, *Hordeum spontaneum* in the Fertile Crescent. Barley: genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology. Shewry. CAB international, Wallingford, UK: 19-43.
- [28].- Sato K., Von Bothmer R., Van Hintum T., Knüpffer H., 2003.- Barley Diversity – an outlook. In: 'Diversity in barley (*Hordeum vulgare*). Elsevier, Science. B.V.: 269-278.
- [29].- Lasa J.M., Igartua E., Ciudad F.J., Codesal P., Garcia E.V., Gracia M.P., Medina B., Romagoza I., Motina-Cano J.L., Montoya J.L., 2001.- Morphological and agronomical diversity patterns in the Spanish barley core collection. Hereditas, 135: 217-225.
- [30].- Jilal A., 2011.- Assessment of genetically diverse international barley germplasm for development of food product applications. PhD. Thesis. Southern Cross University, Lismore, NSW, 163p.
- [31].- Ceccarelli S., Grando S., 1996.- Drought as a challenge for the plant breeders. Plant growth Regulation, 20: 149-155.

- [32].- Newton A.C., Flavell A.J., George T.S., Leat P., Mullholland B., Ramsay L., Revoredo-Giha C. et al., 2011.- Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food security*, 3: 141-178.
- [33].- Saisho D., Takeda K., 2011.- Barley: emergence as a new research material of crop science. *Plant Cell Physiology*, 52: 724-727.
- [34].- Fundazioa E., 2012.- "Barley adapts to climate change." *ScienceDaily*.
www.sciencedaily.com/releases/2012/01/120125091101.htm
- [35].- Grando S., Von Bothmer R., Ceccarelli S., 2001.- Genetic diversity of barley: use of locally adapted germplasm to enhance yield and yield stability of barley in dry areas. In: Cooper HD, Spillance C., Hodgkin T., Ed. *Broadening*.
- [36].- Rustas B.O., 2009. Whole-Crop cereals for growing cattle, effects of maturity stage and chopping on intake and utilization. PhD. Thesis, Swish University of Agricultural Sciences, Skara, 124p.
- [37].- Belaid D., 2014.- Systèmes fourragers en Algérie, produire malgré le déficit hydrique. <http://www.djamel-belaid.fr/grandes-cultures-fourages-en>
- [38].- Jardins Essentiels (J.E.), 2008.- Précieuse céréale d'avenir: l'orge.
<http://jardinessentiels.blog.fr/2008/05/30/precieuse-cereale-d-avenir>
- [39].- Robert Pickard M.D., SD. L'orge verte: une protection contre le cancer.
<http://www.aliv-e.com/fr/education/articles/glob2.asp>
- [40].- NDSU (North Dakota Agricultural Experiment Station), 2012.- North Dakota State University, Fargo ND, 8 p.
- [41].- Hakimi M., 1993.- L'évolution de la culture de l'orge: le calendrier climatique traditionnel et les données agro météorologiques modernes. The agrometeorology of rainfed barley-based farming systems, *Proceeding of an International symposium*, Tunis: 157-166.
- [42].- Rahal-Bouziane H., 2016.- Etude de la diversité génétique et des potentialités agronomiques et fourragères de géotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) traditionnellement cultivées en Algérie. Thèse de Doctorat en sciences agronomiques, ENSA, El Harrach (ex. INA), 134 p.
- [43].- EUFIC, 2009.- Fiche d'information: les céréales complètes.
<http://www.eufic.org/article/fr/expid/cereales-completes/>
- [44].- Commission Canadienne des Grains (CCG), 2009.- Le pain à l'orge, un pain pour la santé. <http://www.grainscanada.gc.ca/research-recherche/izydorczyk/hbwb>
- [45].- Grando, Stefania and Helena Gormez Macpherson, 2005.- Food Barley: Importance, Uses and Local Knowledge. *Proceedings of the International Workshop on Food Barley Improvement*, ICARDA, Hammamet, Tunisia, 156 pp. En.

- [46].- Bezançon G., Renno J.F., Kumar K.A., 1997.- Le mil. In Amélioration des plantes tropicales. Ed. Charrier A., Paris: 457-482.
- [47].- Kiprotich F., Kimurto P., Ombui P., Towett B., Jeptanui L., Henry O., Lagat N., 2015.- Multivariate analysis of nutritional diversity of selected macro and micro nutrients in pearl millet (*Pennisetum glaucum*) varieties. African Journal of Food Science, vol. 9 (3): 103-112.
- [48].- Pernes J., Berthaud J., Bezançon G., Charrier A., Combes D., LeBlanc J.M., Lour M., Savidan Y., Second G., 1984. Le mil. In Gestion des ressources génétiques des plantes. T. 1, Monographies: 159-211.
- [49].- Oumar I., Mariac C., Pham J.L., Vigouroux Y., 2008.- Phylogeny and origin of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br] as revealed by microsatellite loci. Theor. Appl. Genet., 117: 489-497.
- [50].- Upadhyaya H.D., 2015.- Establishing core collections for enhanced use of germplasm in crop improvement. Ekin Journal of Crop Breeding and Genetic, 1-1: 1-12.
- [51].- Bhattacharjee R., Bramel P.J., Hash C.T., Kolesnikova –Allen M.A., Khairwal I.S., 2002.- Assessment of genetic diversity within and between pearl millet landraces. Theor. App. Genet., 105: 666-673.
- [52].- Govindaraj M., Selvi B., Sudhir Kumar I., 2011.- Genetic diversity studies in indigenous Pearl Millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] accessions based on biometrical and nutritional quality traits. Indian J. Plant Genet. Resour, 24 (2): 186-193.
- [53].- Sankar S.M., Satyavathi C.T., Singh S.P., Singh M.P., Barthakur B.S., 2014.- Genetic diversity analysis for high temperature stress tolerance in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br]. Ind J Plant Physiology, 19 (4): 234-329.
- [54].- Clotault J., Thuillet A.C., Buiron M., De Mita S., Couderc M., Haussmann B.I.G., 2012.- Evolutionary history of Pearl Millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.] and selection on flowering genes since its domestication. Mol. Biol. Evol. 29 (4) : 1199-1212.
- [55].- Bhattacharjee R., Khairwal I.S, Bramel P.J., Reddy K.N., 2007.- Establishment of a pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] core collection based on geographical distribution and quantitative traits. Euphytica, 155: 35-45.
- [56].-Danjuma M.N., Mohammed S., 2014.- Genetic diversity of Pearl Millet (*Pennisetum typhoides*) cultivars in semi-arid Northern Nigeria. Journal of Natural Sciences Research, vol. 4, n° 22: 34-42.
- [57].- Agropolis International¹, 2015.- Changement climatique: impacts et adaptations. N° 20, 88 p.

- [58].- Agropolis International², 2015. Le mil, une céréale des zones arides. <https://www.agropolis.fr/pdf/actu/fascination-des-plantes-mil.pdf>
- [59].- Andrews D.J., Kumar K.A., 1992.- Pearl millet for food, feed and forage. *Advances in Agronomy*, 48: 89-139.
- [60].- EHLG (Euskal Herriko Laborantza Ganbara), 2011.- Pearl millet et Moha: deux graminées estivales en test. www.ehlgbai.org
- [61].- Vadez V., Hash T., Bidinger F.R., Kholova J., 2012.- Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. *Front. Physiol*, 3: 303-315. www.ncbi.nlm.nih.gov
- [62].- Devos K.M., Hanna WW, Ozias-Akins P., 2006.- Pearl millet, in C. Kole (eds): *Genome Mapping and molecular breeding in plants*, vol. 1, Cereals and Millets, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [63].- Passeportsanté, 2014.- Le millet, pour l'augmentation du bon cholestérol. www.passeportsante.net
- [64].- Laumont P., 1937.- La céréaliculture algérienne. Extrait de populations Indigènes d'Algérie et politique économique, Alger, 32 p.
- [65].- Laumont P., 1947.- « Culture et production des céréales en Algérie ». B.T.I. 17 – 18 – 1947.
- [66].- A.N.N., 1993.- Les ressources phylogénétiques. Document de travail, janvier 93, Alger, 44 p.
- [67].- Benmahammed A., 1996.- Association et héritabilités de quelques caractères à variation continue chez l'orge (*hordeum vulgare* L.). Thèse de magister, INA, El Harrach, 80 p.
- [68].- ITGC, 1995.- Les principales variétés de céréales cultivées en Algérie. Catalogue, Alger, 114p.
- [69].- Chouaki S., Tareb S., Merdes S., Bouta M., Yousfi S., Berkani S., Bouzid A., 2004.- La diversité des blés oasiens et leur préservation par les populations locales. Séminaire International Aridoculture et cultures oasiennes, Revue des zones arides, Tunisie, T. 1: 17-27.
- [70].- Rahal-Bouziane H., 2006.- Caractérisation agro morphologique des orges (*Hordeum vulgare* L.) cultivées dans les oasis de la région d'Adrar (Algérie). Thèse de magister, INA (EL Harrach), 90p.
- [71].- Rahal-Bouziane H., Berkani S., Merdas S., Nait-Merzoug S., Abdelguerfi A., 2015.- Genetic diversity of traditional genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) in Algeria by pheno-morphological and agronomic traits. *African Journal of Agricultural Research*, vol. 10 (31): 3041-3048.

- [72].- Rahal-Bouziiane² H., Alane F., Abdelguerfi A., 2015.- Forage quality, forage dry matter yield, grain protein and agronomic traits of traditional barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) from rural areas in Algeria. Livestock Research for rural development, vol. 27, article 182: <http://www.lrrd.org/lrrd27/9/raha27182.html>
- [73].- Voinot L., 1909.- Le Tidikelt. Etude sur la géographie, l'histoire, les mœurs du pays. Ed. J. Gandini, Calvisson, 155 p.
- [74].- Battandier J.A., Trabut L., 1898.- L'Algérie. Le sol et les habitants (flore, faune, géologie, anthropologie, ressources agricoles et économiques). Ed. Librairie J.B. Baillière et fils, Paris, 360 p.
- [75].- Bounaga N., Brac de la Perriere R.A., 1988.- Les ressources phytogénétiques du Sahara. Ann. Inst. Nat. Agro, El Harrach, vol. 12 (1), T.1: 79-94.
- [76].- Rahal-Bouziiane H., Mossab K., Hamdi S. Kharsi M., 2003.- Situation des fourrages cultivés dans la région d'Adrar. Recherche agronomique, INRAA, n° 12: 37- 49.
- [77].- Rahal Bouziiane H., Kharsi M., 2004.- Les mils penicillaires de la région d'Adrar (Algérie): quelques caractéristiques en présence d'un témoin importé. Séminaire International Aridoculture et cultures oasiennes, Revue des zones arides, Tunisie, Tome 2: 450-454.
- [78].- Rahal-Bouziiane² H., 2006.- Fourrages cultivés du Touat, Gourara et Tidikelt: caractéristiques ethnobotaniques, morphologiques et valeur alimentaire. Ed. ECRIE, Alger. INRAA, 42 p.
- [79].- Djabali D., Boudries N., Lemgharbi M., Mokrane H., Nadjemi B., Belhaneche N., 2005.- Les céréales locales du sorgho et mil. Séminaire International sur les productions végétales, Centenaire de l'INA: 193- 196.
- [80].- Rahal-Bouziiane H., 2008.- Evaluation de la variabilité génétique chez quelques mils penicillaires (*Pennisetum glaucum* L.R.Br) cultivés dans les oasis de la région d'Adrar (Algérie). Journal algérien des régions arides, Revue scientifique annuelle, n° 7, CRSTRA: 35-43. www.crstra.dz
- [81].- Rahal Bouziiane H., Mossab Bouaboub K., Blama A., Hamdi S., 2005.- Les ressources fourragères des oasis du Touat, Gourara et Tidikelt: historique, inventaire et utilisation. Séminaire International sur l'amélioration des productions végétales, Centenaire de l'INA: 292-294.

LES MYCOTOXINES: UN DANGER DE SANTÉ PUBLIC

GUEZLANE-TEBIBEL Nadjet^{1*}, BOURAS Noureddine^{2,3}
OULD EL HADJ Mohamed Didi⁴

⁽¹⁾Laboratoire de Microbiologie, Faculté des Sciences Biologiques,
Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene,
Bab Ezzouar, Alger, Algérie

⁽²⁾Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la
Terre, Université de Ghardaïa, BP 455, Ghardaïa 47000, Algérie

⁽³⁾Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM)
Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger, Algérie

⁽⁴⁾Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi-arides
Université Kasdi Merbah Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie

E-mail: nanatebibe@hotmail.com

Résumé.- Les mycotoxines sont des métabolites secondaires produits par des moisissures appartenant principalement au genre *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* et *Alternaria*. Elles sont susceptibles d'être présentes dans une large gamme d'aliments végétaux ou animaux, milieu favorable à leur développement tout en provoquant une perte de leur valeur nutritive et commerciale. Leur élaboration et leur toxigenicité sont influencées par plusieurs paramètres intrinsèques et extrinsèques comme l'espèce fongique, la température et la nature du substrat. Les aflatoxines produites par les *Aspergilli* section *Flavi* retiennent dans le monde une attention particulière. Elles peuvent induire un effet toxique au niveau de plusieurs organes humains et animaux, et l'Agence Internationale de Recherche sur le Cancer (IARC) a classé les aflatoxines parmi les cancérogènes. Les mycotoxines présentent donc un risque de santé publique.

Mots clés.- Mycotoxines, *Aspergillus*, moisissures, aliment, cancer.

MYCOTOXINS: A PUBLIC HEALTH HAZARDS

Abstract.- Mycotoxins are secondary metabolites produced by molds belonging mainly to the genus *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* and *Alternaria*. They are likely to be present in a wide range of plant foods or animal environment favorable to their development while causing a loss of nutritional and commercial value. Their development and toxigenicity are influenced by several intrinsic and extrinsic parameters such as the fungal species, the temperature and the nature of the substrate. Aflatoxins produced by *Aspergilli* section *Flavi* retain worldwide attention. They can induce toxic effects in several human and animal organs, and the International Agency for Research on Cancer (IARC) classified aflatoxins as carcinogenic molecules. Mycotoxins therefore present a public health risk.

Key words.- Mycotoxins, *Aspergillus*, mold, food, cancer.

1.- Introduction

Les consommateurs sont aujourd'hui très sensibles à la notion du risque alimentaire. Si le risque infectieux ou parasitaire est bien compris, celui associé à la présence naturelle des moisissures (champignons microscopiques filamenteux) et de leurs toxines au sein de l'alimentation est le plus souvent ignoré. De nos jours, la qualité et la sécurité des produits agro-alimentaires courants sont menacées par un grand nombre de toxines naturelles, les

mycotoxines. Leur contamination par les champignons microscopiques toxigènes et leur impact néfaste sur la santé humaine et animale ainsi que sur le commerce international sont de plus en plus approuvés par les autorités aussi bien dans les pays développés que dans les pays en voie de développement.

En effet dans certaines conditions climatiques ou de mauvaise conservation, ces micro-organismes peuvent se développer et conduire à une production de mycotoxines pouvant être néfaste à la santé des animaux et de l'homme en provoquant un certain nombre de troubles voire des maladies graves.

Plusieurs espèces de ces micromycètes appartenant principalement aux quatre genres *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* et *Alternaria* sont aptes à excréter une ou plusieurs mycotoxines: aflatoxines, ochratoxines, fumonisines, trichotécènes, patuline, zéaralénone, alternariols, etc.

Le développement non souhaité des moisissures sur une denrée est associé à de multiples nuisances: modification de l'aspect de l'aliment et de ses caractéristiques organoleptiques et chimiques [1]. Ces aléas conduisent généralement à l'élimination des produits, ce qui entraîne aujourd'hui à l'échelle mondiale une perte de la production alimentaire estimée à 5 à 10% [2].

Environ 4,5 milliards de personnes dans les pays en voie de développement sont exposés à des denrées alimentaires dont la contamination par les aflatoxines et les ochratoxines n'est pas contrôlée. Les mycotoxines sont donc un problème majeur.

L'Algérie, pays importateur de produits en grains, attentif au danger des moisissures toxigènes et disposant très peu de laboratoires utilisant en routine le dosage des mycotoxines, n'applique pas régulièrement au niveau des ports stratégiques les diverses mesures préventives ou procédures de surveillance afin de palier au dommage notable sur la santé du consommateur.

Jusqu'à présent, il y a très peu d'informations sur le taux de mycotoxines préjudiciable engendré par ces contaminants naturels pervers; par conséquent l'ingestion régulière qui a lieu, fait susciter des questionnements sur les champignons toxigènes à rechercher, les relations dose-effet, et les outils les plus efficaces à mettre en place pour freiner cette flambée ou cauchemar épidémique.

En effet des études récentes réalisées sur des denrées alimentaires commercialisées en Algérie ont mis en évidence la présence d'aflatoxines et d'ochratoxines dans le blé et les arachides [3, 4, 5].

L'objectif recherché dans la présente étude, est de faire le point sur l'état des connaissances dans le domaine du risque alimentaire lié à la présence des mycotoxines et leurs effets sur l'homme, l'animal et l'agriculture.

2.- Généralités

2.1.- Mycotoxines

2.1.1.- Définition

Du grec *mukos* (champignon) et du latin *toxicum* (poison), le terme mycotoxines désigne des substances naturelles produites par un métabolisme secondaire des moisissures

tout en exerçant un pouvoir toxique réel pour le consommateur (homme et animal) une fois ingérées même en faibles concentrations [6]. Les mycotoxines sont dites métabolites secondaires (ou idiolites) car dans la plupart des cas, leur synthèse démarre durant la fin de la période de croissance et le début de la phase stationnaire (idiophase). Les mycotoxines ne sont pas directement nécessaires à la vie du champignon producteur.

Il s'agit de petites molécules peu solubles dans l'eau, généralement non dégradables par les organismes vivants et très stables à la chaleur (jusqu'à 250°C) puisque nous pouvons les retrouver dans les aliments après cuisson ou même après stérilisation et aux pH extrêmes. Leur durée de vie dans l'aliment est plus longue que celles des moisissures les ayant synthétisées. Les métabolites secondaires des moisissures ne sont pas tous des mycotoxines.

2.1.2.- Différentes mycotoxines rencontrées dans les aliments

Plus de 2500 mycotoxines ont été répertoriées, mais seule une trentaine posséderait des propriétés toxiques réellement préoccupantes pour l'homme ou l'animal (tab. I).

Tableau I.- Principales mycotoxines et moisissures productrices retrouvées en alimentation humaine et/ou animale [7]

Mycotoxines	Champignons producteurs	Denrées alimentaires
Aflatoxines B₁, B₂, G₁ et G₂	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. nomius</i> , <i>A. bombycis</i> , <i>A. pseudotamarii</i> , et <i>A. ochraceoroseus</i>	Arachides, céréales, graines de coton, épices, fruits, etc.
Ochratoxines A, B et C	<i>Aspergillus ochraceus</i> , <i>A. westerdijkiae</i> , <i>A. carbonarius</i> , <i>A. niger</i> , <i>Penicillium viridicatum</i> , <i>P. verrucosum</i> et <i>P. nordicum</i>	Légumes, céréales et graines de café, fromages, poissons, viandes, etc.
Zéaralénone	<i>Fusarium graminearum</i> et <i>F. sporotrichoides</i>	Maïs, blé, orge, etc.
Fumonisines	<i>Fusarium moniliforme</i>	Maïs et autres céréales.
Trichothécènes	<i>Fusarium</i> spp.	Maïs et blé.
Patuline	<i>Aspergillus</i> spp. et <i>Penicillium</i> spp.	Fruits (pommes, prunes, pêches, poires, abricots).
Citrinine	<i>Penicillium rubrum</i> , <i>P. purpurogenum</i> , <i>P. viridicatum</i> , <i>P. citrinum</i> <i>A. ochraceoroseus</i> .	Orge, blé, riz, soja et seigle.

En 1960, des élevages industriels de volailles de la région de Londres furent décimés à la suite de la consommation de tourteaux d'arachide en provenance du Brésil ("turkey X disease" ou maladie de la dinde). Un an plus tard, la relation est faite entre cette intoxication et la présence d'*Aspergillus flavus* et on isole la première aflatoxine révélée être la substance la plus cancérigène que l'on connaisse. Les mycotoxines ont alors une toxicité potentielle et réelle pour les hommes et les animaux par ingestion, inhalation, et plus rarement par contact.

Les mycotoxines les plus rencontrées sur les produits agricoles et faisant l'objet d'une réglementation sont principalement les aflatoxines, les ochratoxines, les trichothécènes, la fumonisine et la patuline. La FAO (Food and Agriculture Organisation)

rapporte qu'environ un quart des récoltes de la planète sont susceptibles d'être contaminées par les mycotoxines [2]. Leurs propriétés toxiques bien établies aujourd'hui, sont carcinogènes, tératogènes, trémorigènes, diabétogènes, hépatotoxiques, néphrotoxiques, hématoxiques, mutagènes, immunotoxiques, allergiques, neurotoxiques, immunosuppresseurs, nécrosants, etc. (tab. II).

Tableau II.- Effets probables des principales mycotoxines sur l'homme [8].

Aflatoxine B₁	Cancérogène: cancer du foie (hépatocarcinome) et des voies biliaires, cancer broncho-pulmonaire et bronchonique. Mutagène: anomalie de la synthèse des enzymes de réparation de l'ADN.
Ochratoxine A (OTA)	Cancérogène: cancer du rein. Mutagène: anomalie de la synthèse des enzymes de réparation de l'ADN Immunosuppresseur Néphrotoxique: Néphropathie endémique (Balkans), néphropathie interstitielle chronique.
Patuline	Immunosuppresseur: diminution du nombre de lymphocytes du sang (lymphopénie) si intoxication chronique. Neurotoxique: troubles nerveux (action anti acétylcholinestérase).
Fumonisines	Cancérogène: association avec des cancers de l'œsophage.
Trichotécènes	Mutagène: anomalie de la synthèse des enzymes de réparation de l'ADN (toxine T ₂). Immunodépresseur: altération de la phagocytose, inhibition de la synthèse protéique (Toxine T2 et désoxynivalénole). Respiratoire: pneumopathie interstitielle.
Zéaralénone	Oestrogénique: puberté précoce et gynécomastie.

Les mycotoxines se retrouvent dans le mycélium et les conidies (spores) mais surtout diffusent dans le substrat qu'elles contaminent même après la destruction du champignon responsable de leur production.

Pour la plupart, elles sont fortement absorbées ou fixées au niveau de la paroi des conidies (comme les aflatoxines). D'autres sont uniquement excrétées dans le milieu extérieur (comme la gliotoxine). Elles peuvent être présentes alors que l'agent responsable (producteur) a disparu, soit du fait de l'évolution de la flore soit du fait des traitements technologiques.

2.2.- Champignons producteurs de mycotoxines

Les champignons formant un règne à part entière: le règne des Fungi ou des Eumycota. Ce sont des micro-organismes eucaryotes, généralement filamenteux, saprophytes ou parasites, hétérotrophes dépendant d'une source de carbone organique. La colonie fongique est constituée d'un réseau d'hyphes appelé mycélium. Ils produisent un grand nombre de spores leur assurant un pouvoir de contamination considérable. Elles sont susceptibles d'être présentes dans le sol (habitat primaire), l'air atmosphérique, l'eau et notamment sur une large gamme d'aliments variés, végétaux ou animaux, les céréales (maïs, riz, orge, blé, etc.) et leurs produits dérivés, les lentilles, le tournesol, le soja, les fruits frais ou secs, les arachides, les amandes, les noix, les pistaches, le café, les graines de coton, les épices (poivre, paprika, gingembre, etc.), les jus de fruits, le cidre, les pâtures, les aliments de bétail et de volailles, les ensilages et les fourrages, lait et ses dérivés,

viande, etc. (tab. I).

En effet, les moisissures ont deux facettes:

- les unes bénéfiques ou utiles (fig. 1) dans la transformation de matières premières alimentaires (en particulier lors de la fermentation), production d'antibiotiques, d'enzymes, de condiments, d'agents de saveurs, de protéines pouvant être utiles à la santé humaine (industrie pharmaceutique, agro-alimentaire, biotechnologie, etc.). Cependant une souche utilisée par l'industrie alimentaire n'est pas forcément atoxique et peut devenir toxigène dans certains milieux.



Figure 1.- Différentes utilisations des moisissures.

- les autres nuisibles pour l'homme et les animaux qui provoquent l'altération des denrées alimentaires, production de métabolites toxiques (mycotoxines), mycoses et allergies.

On peut ainsi différencier principalement 2 types de moisissures:

- Les moisissures hygrophiles ou de «champs» sont des champignons qui se développent lorsque l'activité de l'eau est importante. Principalement *Fusarium* spp. et *Alternaria* spp. qui contaminent les produits agricoles avant et pendant la récolte. Récemment, des données montrent également que *Pyrenophora tritici-repentis* (agent causal de la tache auréolée du blé) est un champignon phytopathogène et mycotoxinogène hygrophile [9].
- Les moisissures xérotolérantes ou «de stockage» qui sont les plus redoutables font partie des *Aspergillus* spp. et les *Penicillium* spp. (fig. 2).

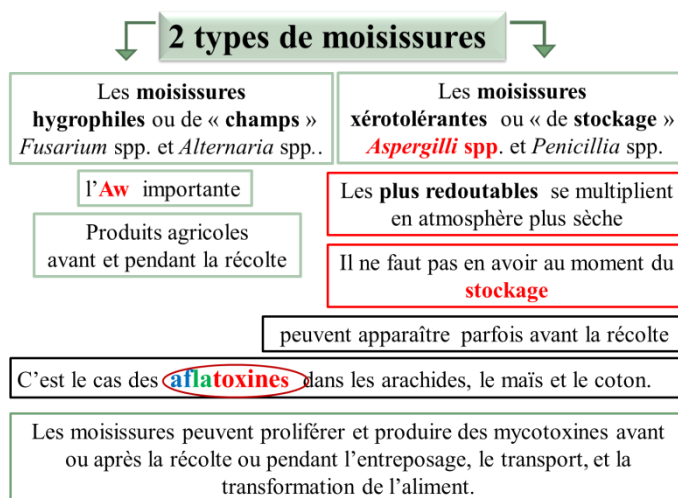


Figure 2.- Propriétés des moisissures toxigènes.

- On peut citer également un troisième type qui est rare, appartenant aux moisissures xérophiles, et qui se développe lorsque le grain est moins humide.

Il est à préciser que plusieurs chercheurs ont signalé la production de mycotoxines par quelques espèces de certains genres fongiques comme *Acremonium*, *Alternaria*, *Bipolaris*, *Byssochlamys* (*Paecilomyces*), *Chaetomium*, *Chrysosporium*, *Cladosporium*, *Claviceps*, *Cochliobolus*, *Cylindrocarpon*, *Gliocladium*, *Helminthosporium*, *Monascus*, *Mortierella*, *Mucor*, *Myrothecium*, *Neotyphodium*, *Phomopsis*, *Pithomyces*, *Pyrenophora*, *Stachybotrys*, *Stagonospora*, *Trichoderma*, *Trichothecium* et *Verticimonosporium* [10,11,12,13,14].

3.- Colonisation des denrées alimentaires

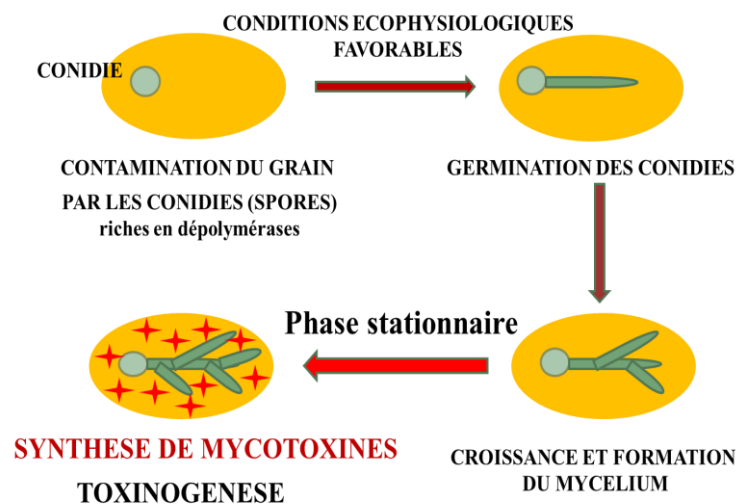


Figure 3.- Colonisation d'une denrée alimentaire

En atmosphère non contrôlée, la contamination fongique, est un risque permanent et pratiquement inévitable. La contamination fongique des plantes et la synthèse de toxines dépendent d'un certain nombre de conditions environnementales : l'état sanitaire de la plante précédant une récolte, conditions météorologiques (pluies, turbulences atmosphériques, etc.), techniques de récolte, délais et conditions hydro-thermiques avant la stabilisation pour une bonne conservation. Les animaux, surtout les insectes et les acariens, sont secondairement les facteurs de dispersion des conidies.

Pour croître et se multiplier, la moisissure doit puiser dans le milieu des matières organiques structurales et énergétiques (fig. 3).

La cellule fongique est particulièrement riche en dépolymérase. Sous l'action de ces enzymes excrétées dans l'environnement des polymères complexes comme la cellulose, la lignine et les composés pectiques peuvent être "digérés" par de nombreux champignons. Le saprophytisme de ces micromycètes et par conséquent leur croissance ne peuvent être mis en œuvre que si le milieu renferme de l'eau libre.

Arsenal enzymatique puissant et varié, tolérance à des pH acides, à des teneurs en eau très faible, et à des taux d'oxygène bas, croissance de 3°C à 40°C, expliquent que les

moisissures puissent coloniser pratiquement tous les aliments. En raison de la croissance strictement apicale et de la ramification subapicale des hyphes, la colonie fongique, contrairement à la colonie bactérienne, ne reste pas localisée au site contaminé. Les hyphes avancent continuellement sur et dans le substrat vers des régions nutritives neuves, occupant grâce aux hyphes mycéliennes latérales toute la surface comestible.

4.- Facteurs favorisant la mycotoxinogénèse

4.1.- Facteurs intrinsèques (liés à la souche fongique elle-même)

La nature et la qualité des mycotoxines dépendent des espèces qui les synthétisent. Elles diffèrent selon leur caractère génétique et leur milieu écologique [8].

Au sein d'une même espèce réputée toxigène, toutes les souches n'ont pas cette propriété. La fréquence des souches toxigènes dépend de l'espèce fongique considérée et pour une même espèce, parfois de la région et de la nature du substrat d'origine. Certaines mycotoxines peuvent être élaborées par plusieurs espèces appartenant à des genres différents. Nombreuses souches fongiques peuvent sécréter plusieurs mycotoxines. La présence à un moment donné d'une moisissure toxigène est nécessaire pour qu'il y ait éventuellement production de mycotoxines. L'existence d'une moisissure même toxigène n'implique pas obligatoirement la présence de mycotoxines et l'absence de moisissures n'implique pas obligatoirement la perte de mycotoxines (fig. 4).

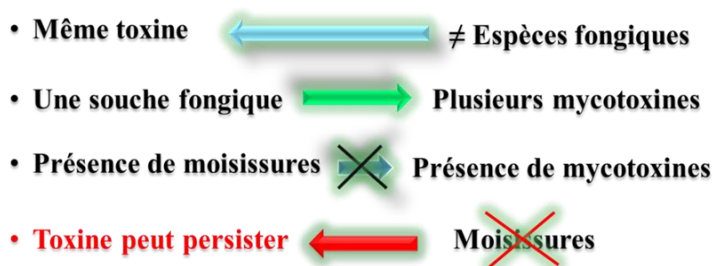


Figure 4.- Mycotoxinogénèse et moisissures

4.2.- Facteurs extrinsèques (ensemble des conditions écologiques)

Ils sont physiques, physico-chimiques et chimiques. Les facteurs qui contribuent au premier chef à la biodétérioration c'est-à-dire multiples modifications biochimiques et organoleptiques d'un écosystème sont la température, le pH, l'humidité et les ravageurs (fig. 5).

Température

Les champignons sont généralement mésophiles. Leur croissance hyphale est optimale entre 20 et 25°C, elle est souvent faible à 5 et 35°C. Les conidies des espèces mésophiles ne germent pas en dessous de 5°C mais restent viables très longtemps, et des températures inférieures à -20°C ne tuent pas les conidies.

Nombreuses moisissures nuisibles notamment *Penicillium expansum*, *P. verrucosum*, *P. viridicatum* sont psychrotrophes. Elles peuvent se développer lentement à des températures inférieures à 4°C. Ces champignons sont fréquemment impliqués dans

l'altération d'aliments conservés au froid. Les carcasses de viandes fraîches stockées trop longtemps en chambre froide sont recouvertes de colonies fongiques polychromes parmi lesquelles *Cladosporium herbarum* est l'espèce prédominante [15].

pH des aliments

Concernant le pH, les champignons sont encore beaucoup plus tolérants que les bactéries alors que ces dernières exigent souvent des pH compris entre 7 et 8. La plupart des champignons se développent normalement à des pH compris entre 3 et 8, leur croissance optimale étant généralement obtenue pour des pH compris entre 5 et 6. En raison de leur acidité ($\text{pH} < 6$) de nombreux aliments tels que les légumes, les fruits et la viande sont beaucoup plus exposés à une altération fongique que bactérienne.

Tension d'oxygène

Sans exception, les moisissures ont besoin d'oxygène pour une croissance normale. Mais pour beaucoup d'entre elles, le développement n'est pas ou peu affecté par des teneurs 10 fois plus faibles (2,1%) que celles de l'atmosphère. *Byssoschlamys fulva* et *B. nivea* peuvent même pousser avec 0,27% d'oxygène. Les denrées conditionnées sous faible tension d'oxygène ne sont donc pas à l'abri des moisissures.

Disponibilité en eau

L'humidité favorise le développement des moisissures. Pour son maintien le mycélium doit trouver de l'eau libre (disponible) pour poursuivre sa croissance. Dans les graines, les moisissures utilisent la vapeur d'eau présente dans les interstices entre les grains dont la concentration est déterminée par l'équilibre entre l'eau libre contenue dans le grain (la teneur en eau du grain) et l'eau présente sous forme de vapeur autour du grain. La concentration de l'eau interstitielle est désignée par l'activité de l'eau (aw). Sans eau libre il ne peut y avoir diffusion des exo-enzymes fongiques dans l'environnement jusqu'au substrat; ensuite, après la dépolymérisation du substrat, il peut y avoir diffusion des molécules simples à l'intérieur de la cellule fongique. Ce paramètre peut varier de 0 (pour des substrats dans lesquels toute l'eau est retenue) à 1 (pour des substrats dont toute l'eau est disponible). Les valeurs caractéristiques de ce facteur permettant le développement des moisissures s'échelonnent de 0,70 à 0,99. Les activités en eau inférieures à 0,60 ne sont pas compatibles avec la croissance fongique mais elles ne tuent pas les conidies. Le chocolat, les épices, les aliments déshydratés (ou peu hydratés), les laits en poudre protégés de la réhydratation sont théoriquement à l'abri d'une altération fongique.

Substrat

La composition qualitative et quantitative du substrat peut influencer l'expression du pouvoir de sécrétion des toxines [16]. En effet un taux élevé de sucres et/ ou de lipides est favorable à la toxinogénèse. En effet, les céréales et les oléagineux, plus riches en sucres et en lipides sont généralement plus favorables à la production de mycotoxines que les substrats à forte teneur en protéines. La production des aflatoxines par *Aspergillus flavus* est favorisée par certains sucres comme le glucose, le mannose, le fructose et le saccharose. Le fer, le zinc et le cuivre ont été testés sur la production d'aflatoxines et d'ochratoxines. Ils favorisent tous la production de ces deux toxines à des concentrations inférieures à 10 mg/L de milieu mais le zinc est celui qui a le plus d'effet sur la croissance et la

production d'aflatoxines. L'effet du fer et du cuivre peut être dû à leur rôle de catalyseurs de la peroxydation des lipides [17].

Les progrès de la chimiotaxonomie ont permis de démontrer que pour une même espèce les profils des substances produites sont différents si on prélève le champignon sur le substrat naturel ou à partir d'une culture en boîte de Petri. L'exemple le plus parlant concerne *Penicillium roqueforti*, incapable de produire une toxine (roquefortine) sur le fromage de Roquefort, alors qu'*in vitro* il est en mesure de sécréter un métabolite très toxique. Cependant, le profil métabolique est différent si on utilise un milieu de culture complexe (naturel) ou défini (chimique) [18].

Facteurs biologiques

Prédateurs

Les insectes et les acariens interviennent indirectement dans la production de mycotoxines en étant des vecteurs de spores de moisissures; ils les font pénétrer dans les zones internes des graines par les blessures qu'ils occasionnent. Ainsi, la contamination de l'arachide, de coton et de maïs par *A. flavus* et/ou les aflatoxines avant la récolte est souvent liée à l'attaque par les insectes. Au cours de la conservation, des grains hébergeant des charançons révèlent une population fongique importante et parfois des mycotoxines [19]. Les oiseaux et les rongeurs agissent de manière similaire sur des réserves de céréales non protégées [20].

Interactions entre micro-organismes

La présence simultanée de micro-organismes (bactéries et champignons) module la production de mycotoxines; il y a compétition entre différents champignons. La production d'aflatoxines par *A. flavus* est inhibée lorsqu'*A. niger* est présent dans le même milieu. La présence de plusieurs espèces fongiques sur la même denrée a généralement un effet inhibiteur sur la production de toxines. Cela s'explique d'une part, par la compétition pour le substrat et d'autre part, par le fait que certaines souches peuvent dégrader la toxine produite.

Facteurs chimiques

L'emploi d'insecticides réduit l'apparition des mycotoxines, soit par action antifongique directe sur le champignon, soit en prévenant les lésions au niveau des graines dues aux insectes et aux acariens. Il convient toutefois d'être prudent dans l'emploi de ces substances. En effet, certaines études ont montré qu'à concentration sub-létale, la production des mycotoxines est favorisée [20]. Des essais *in vivo* sur vignoble montrent l'efficacité des molécules actives, comme le "Switch" (fludioxonil et cyprodinil), contre le développement des genres *Aspergillus* et *Penicillium*. Le "Mikal" (fosétyl-Aluminium et folpet) est le seul antifongique qui soit associé avec des teneurs en ochratoxine A (OTA) les plus faibles dans les moûts et les vins [21]. BOURAS *et al.* (2003) ont montré que le nombre total d'isolats fongiques a augmenté avec l'utilisation de "Mikal" mais ce nombre a diminué avec "Switch", par comparaison au témoin [22]. ¶ De la même manière, le nombre d'isolats ochratoxinogènes a diminué avec "Switch", par comparaison au témoin non traité. ¶ ¶ En revanche, l'utilisation de "Mikal" n'a pas diminué le nombre d'isolats producteurs d'OTA [22].

Des concentrations de 6 à 8 ppm du fongicide systémique tridémorphe favorisent la croissance de *Fusarium sporotrichoides* et diminuent la synthèse de la toxine T-2. En revanche, des concentrations de 30 à 50 ppm inhibent fortement la croissance du champignon et augmentent considérablement la production de la toxine [23].

L'exposition des black *Aspergilli* à certaines concentrations en fongicide constitue un agent de stress pour ces champignons, et en réponse, ils se mettent à produire plus d'OTA. Ainsi, la production de mycotoxines peut protéger les champignons producteurs d'un agent de stress [24]. De la même manière, la citrinine est un agent de protection solaire pour *Penicillium verrucosum* [25]. Il ne faut pas négliger non plus l'intervention d'autres facteurs (climatiques, culturels) pour expliquer l'effet non attendu de ces fongicides.

Il reste tout de même à garder à l'esprit que l'espèce *Aspergillus carbonarius* par exemple est décrite comme étant un champignon agressif [26] qui n'a besoin d'aucun facteur extérieur pour coloniser les baies de raisin saines et pour y produire de l'OTA.

Paramètres de croissance et de toxinogénèse

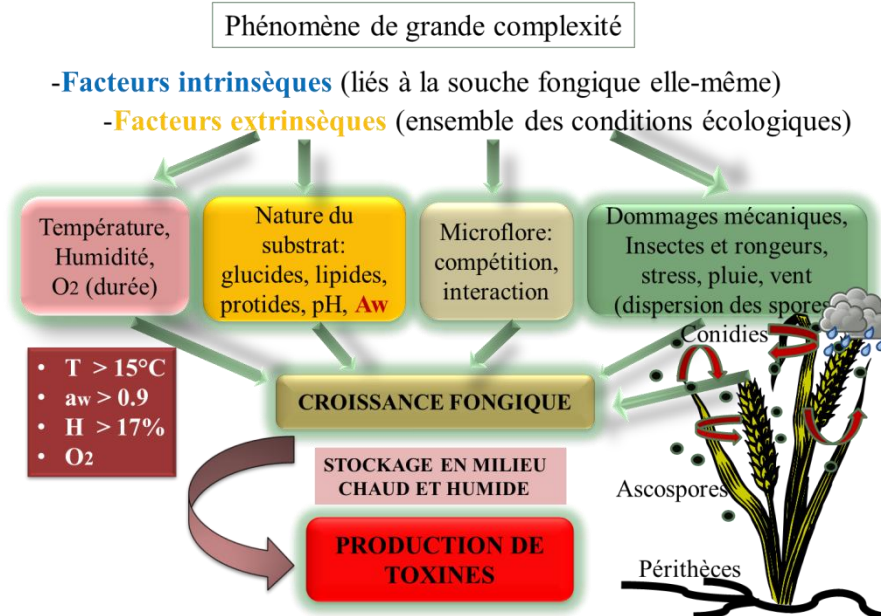


Figure 5.- Les paramètres responsables de la mycotoxinogénèse [27]

5.- Mycotoxines dans la chaîne alimentaire: la biogénèse

Bien souvent les matières premières et les aliments finis subissent des traitements technologiques qui rendent indétectables cette contamination fongique, tout en laissant intact les mycotoxines éventuellement présentes. Le métabolisme secondaire peut être en revanche spécifique d'une espèce, voire d'une souche fongique et de ses caractéristiques génétiques et répond généralement à des signaux issus de l'environnement du champignon [2]. Les mycotoxines ont principalement quatre origines biosynthétiques (selon leur voie de biosynthèse):

- les acides aminés: ergotamine, acide aspergillique, acide cyclopiazonique, etc.
- les polyacétates (polykétides): aflatoxines, citrinine, ochratoxines, patuline, zéaralénone, fumonisine, etc.

- les terpènes: tricothécènes, désoxynivalénol, diacétoxyscirpénol, etc.
- et les acides gras.

6.- Principales mycotoxines recherchées en contrôle alimentaire

L'entrée des mycotoxines dans la chaîne alimentaire de l'homme s'effectue soit par des denrées consommées directement ou indirectement (fig. 6).

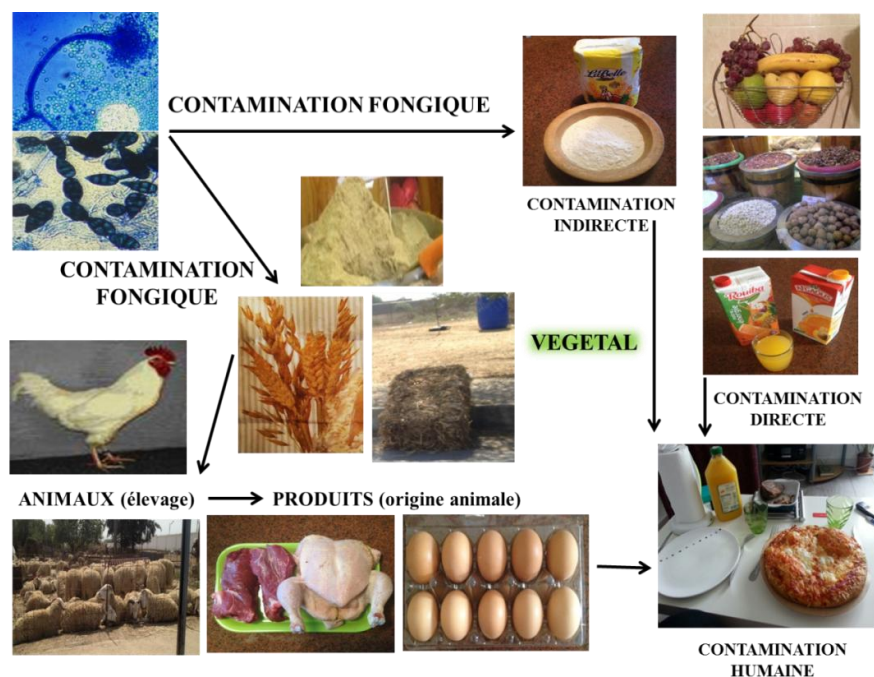


Figure 6.- Les mycotoxines tout au long de la chaîne, depuis le champ jusqu'à l'assiette du consommateur ou la mangeoire

Uniquement six groupes sont les plus surveillés et considérés comme des contaminants majeurs des aliments: l'aflatoxine, l'ochratoxine A, les fumonisines, les tricothécènes, la zéaralénone et la patuline. Les procédés de conservation (stérilisation, pasteurisation, lyophilisation, séchage, salage, congélation, etc.) peuvent agir sur les moisissures mais ne détruisent pas ou très peu la plupart des mycotoxines (fig. 7).

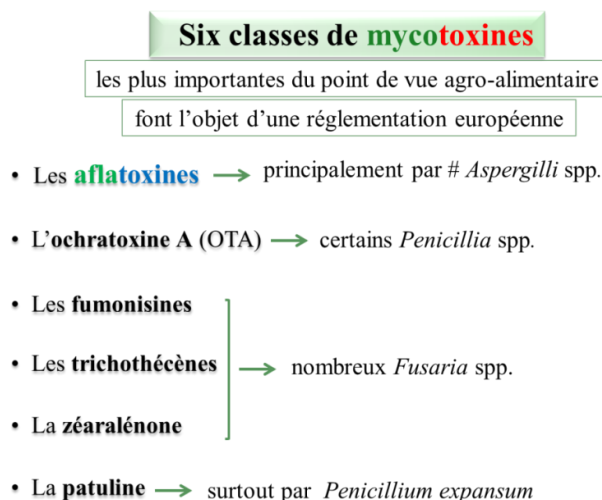


Figure 7.- Les principales mycotoxines incriminées en agro-alimentaire

7.- Détection et quantification des mycotoxines

Dans les aliments "homogènes" comme le lait, les huiles, le beurre, les jus de fruits, les farines, les techniques physico-chimiques d'analyses peuvent facilement détecter des quantités de mycotoxines de l'ordre du ng/g (ppb) et même du 1/10 de ng/g pour les aflatoxines. Pour les grains de céréales et les graines d'oléagineux, l'hétérogénéité de la répartition des toxines au sein d'un lot contaminé pose un problème d'échantillonnage. De ce fait, la fiabilité des analyses et la reproductibilité des résultats imposent de gros échantillons de l'ordre de 1 à 5 kg de matières premières. Après broyage et homogénéisation de l'échantillon 50 g, en général, sont prélevés pour analyse [28].

Comme la plupart des mycotoxines ne sont pas volatiles, la chromatographie en phase gazeuse est souvent d'application difficile. Elle est cependant conseillée pour les trichothécènes qui n'ont pas de fluorescence naturelle et qui posent donc des problèmes en TLC (chromatographie en couche mince) et HPLC (chromatographie liquide à haute performance).

Dans les laboratoires spécialisés, l'HPLC et l'HPLC couplée à la spectrométrie de masse (LC-M) plus sensibles et plus précises que la TLC sont de plus en plus utilisées. Depuis la préparation d'anticorps antimycotoxines obtenus grâce au couplage de la toxine à une molécule antigénique comme le sérum albumine bovine, deux principales méthodes immunochimiques se sont développées: la méthode RIA (*Radio Immuno assay*) utilisatrice d'un marquage radioactif, et la méthode ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*) utilisatrice d'un marquage enzymatique [29].

Aujourd'hui, la production d'anticorps monoclonaux anti-aflatoxines B₁ et M₁, anti-zéaralénone, anti-déoxynivalenol (anti-DON), anti-T₂ toxine et anti-ochratoxine A, garantit la très haute spécificité de ces méthodes [28].

La méthode ELISA, rapide (moins de 30 minutes), bon marché (2,5 à 6% moins chère que les techniques physico-chimiques), spécifique et sensible (détection de taux d'aflatoxines de l'ordre de 0,1-13 ng/g) supplante progressivement la méthode RIA "plus dangereuse". Elle permet d'envisager un dépistage et une quantification systématique et précoce des principales mycotoxines dans les aliments [29].

Les nombreux kits de détection (ensembles de pièces nécessaires pour un usage donné) commercialisés pour l'aflatoxine B₁ et ceux bientôt commercialisables pour l'aflatoxine M₁, le DON, la zéaralénone et la toxine T₂.

8.- Réglementation

Depuis plusieurs années la prise de conscience du risque sanitaire associé à la présence de mycotoxines dans les aliments se généralise. De plus en plus les mycotoxines sont systématiquement recherchées et font l'objet d'une norme. La législation est généralement mise en place pour l'aflatoxine B₁ considérée comme la plus dangereuse des mycotoxines.

Habituellement, la réglementation fixe pour les principales mycotoxines, les concentrations maximales admises en alimentation humaine et animales. En général, les

maxima admissibles sont très différents d'un pays à l'autre. En alimentation humaine les teneurs admissibles d'aflatoxine B₁ sont généralement de 2 µg/kg (2 ppb). La Suisse et l'Autriche ont les tolérances des plus faibles, 1 µg/kg, alors que la République de Chine a les tolérances les plus fortes avec 50 µg/kg.

9.- Lutte contre la présence des mycotoxines dans l'alimentation

La lutte contre la présence des mycotoxines dans l'alimentation passe d'abord par la mise en œuvre de tous les moyens visant à empêcher la colonisation des denrées par les champignons. Le meilleur moyen de prévenir l'installation des moisissures nuisibles sur les denrées est d'empêcher la contamination des produits par les conidies.

Aujourd'hui, l'industrie agro-alimentaire a une ambition raisonnable mais souvent onéreuse; la technologie moderne (filtration, stérilisation de l'air, secteurs en surpression, désinfection des atmosphères et des surfaces, etc.) permet de "produire" des aliments en conditions aseptiques.

Actuellement, en agriculture vouloir empêcher la contamination fongique relève de l'impossible, mais il est essentiel d'éviter une surinfection des graines et des fruits par des contacts avec le sol et du matériel souillé. En plus, ces contacts sont générateurs de blessures qui favoriseront ensuite la pénétration des hyphes dans le végétal.

Lorsque la contamination fongique ne peut être évitée, il est impératif d'inhiber la germination des conidies et le développement des hyphes. De ce point de vue, le séchage mais surtout le stockage des denrées alimentaires constituent souvent des périodes à haut risque.

Des produits d'activité en eau faible, c'est-à-dire inférieurs à 0,70, théoriquement "impropres" au développement fongique ne seront réellement à l'abri des moisissures que si leur activité en eau est en tout point, spécialement en surface, constamment < à 0,70. Ceci revient à dire que lors du stockage, l'humidité atmosphérique relative des locaux doit rester rigoureusement égale à celle du produit stocké et si possible inférieure ou égale à 70%: une augmentation de l'humidité de l'air conduit à une augmentation de l'activité en eau en surface du produit.

En ce qui concerne le froid comme moyen de protection contre les attaques fongiques, seules les congélations à des températures inférieures ou égales à -20°C garantissent un effet fongistatique. Il faut souligner que des températures plus basses par exemple -80°C n'ont pas d'effet stérilisant; la congélation pour les conidies comme pour les virus, les bactéries et les aliments est un procédé de conservation.

Les substances antifongiques lorsque leur utilisation est autorisée, comme c'est le cas pour le traitement des cultures, doivent être choisies en fonction des espèces fongiques à éliminer et appliquées en respectant les doses. En effet, la plupart des antifongiques sont des poisons non seulement de la cellule fongique mais aussi des cellules animales et végétales.

En alimentation humaine, l'utilisation des additifs antifongiques (propionate, sorbate de calcium, natamycine, etc.) n'est autorisée que pour les emballages. Les antifongiques comme le bénomyl, l'éthoxyquine, la diphénylamine et le thiabendazole ne

sont applicables sur les fruits et légumes qu'après récolte.

L'emploi des radiations ionisantes sur des produits emballés donc protégés des recontaminations, l'emploi du phosphore d'hydrogène (PH₃) qui ne laisse aucun résidu, pourraient être des solutions d'avenir.

Lorsqu'une moisissure s'est développée sur une denrée, l'appréciation correcte du risque sanitaire impose une détermination exacte de l'espèce; c'est un travail de spécialiste. Bien que la présence d'une moisissure sur un aliment ne soit pas systématiquement associée à la présence de mycotoxines, les denrées "moisies" doivent être éliminées.

En résumé, afin de limiter le développement des champignons durant le stockage des denrées alimentaires, il faudrait:

- sécher rapidement les produits de récolte après la moisson;
- éviter l'endommagement des grains pendant la récolte, le transport, le battage et le séchage;
- maintenir l'entrepôt au frais et à sec;
- éviter la formation de l'eau de condensation (maintenir la température dans l'entrepôt toujours constante; si possible, ombrager l'entrepôt);
- éviter le développement d'une forte population d'insectes;
- sécher une nouvelle fois si la teneur en eau maximale admise est dépassée.

L'ajout de matières adsorbantes (ex: l'argile) et de charbon actif avec une certaine concentration (1%) réduit efficacement la quantité d'aflatoxines dans le lait [30,31].

Les stocks contaminés peuvent être réorientés vers d'autres utilisations que l'alimentation, ex: les céréales contaminées par des mycotoxines peuvent être utilisées pour la production d'éthanol.

Vers une approche stratégique et globale de lutte contre les mycotoxines: l'application de la méthode HACCP

L'HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*) est une méthode connue et bien établie dans l'agro-alimentaire dont le but est d'assurer la production sans risques des aliments. L'HACCP ayant démontré son efficacité, la Commission Européenne encourage les projets visant à appliquer cette méthode de contrôle au problème des mycotoxines. Elle est en fait un plan logique de tous les contrôles à mettre en œuvre pour prévenir les aléas de sécurité alimentaire. Ce plan est spécifique au risque que l'on cherche à éviter. Il établit des contrôles réguliers et systématiques tout au long de la chaîne de production alimentaire. Il prévoit en outre les actions correctrices à mettre en œuvre si un risque est repéré à l'occasion d'un contrôle ou si un contrôle se révèle défaillant. Il s'agit avant tout d'anticiper le risque.

L'HACCP vise à prévenir trois types de risques: les risques biologiques (la présence de micro-organismes pathogènes), les risques chimiques (la présence dans le produit de résidus de pesticides) et les risques physiques (présence dans le produit de matériau qui ne devrait pas s'y trouver: fragments de verre ou de métal).

Conclusion

De nos jours, les mycotoxines posent un réel problème sanitaire à l'échelle mondiale. Les aflatoxines sont, sans aucun doute, responsables de cancer du foie chez l'homme. Par ailleurs, beaucoup de mycotoxines dont les trichothécènes et la zéaralénone, en raison de leur affinité pour les lipides, pourraient être la cause des effets délétères des graisses animales et de certaines huiles végétales.

En outre, la toxicité des mycotoxines pourrait être aggravée par une exposition concomitante de l'homme et de l'animal à d'autres poisons comme les pesticides modernes (organophosphorés par exemple) qui inhibent de nombreuses enzymes et notamment les enzymes capables de détoxifier certaines mycotoxines [32].

En Algérie, le manque de contrôles sanitaires, le mauvais conditionnement des aliments (lieux de stockage humides, chauds et mal aérés) ainsi que l'absence d'une réglementation stricte augmentent le risque de contamination par ces métabolites. La fréquence de contamination des aliments mis à la disposition du public et la teneur des aflatoxines deviennent une menace sérieuse si:

- d'une part une sensibilisation de la population n'est pas faite sur les méthodes de conservation qui permettent une inhibition de la croissance de ces moisissures.
- et d'autre part si la recherche et le développement ne coordonnent pas des approches stratégiques et globales de lutte contre les mycotoxines et des acteurs pluridisciplinaires (épidémiologistes végétaux, écologues microbiens, médecins, vétérinaires, généticiens, microbiologistes, responsables d'organismes partenaires importateurs ou grands fournisseurs du marché et agriculteurs), pour la mise en route des programmes "Contrôle et Assurance Qualité Alimentaire" dans notre pays.

En effet faute de disposer suffisamment de laboratoires de contrôle homologués, l'Algérie est entièrement tributaire du contrôle effectué dans les pays d'importation. Leurs marchandises souvent contaminées par les mycotoxines doivent être accompagnées de certificats sanitaires spécifiques et tous les lots importés sont l'objet d'un contrôle particulier. La mise aux normes nécessite donc la formation et l'intéressement des importateurs en général peu sensibilisés à la qualité sanitaire et suppose un équipement de contrôle au niveau des ports, un laboratoire de contrôle/certification agréé par des organisations de certification internationales (l'UE), la mise en place d'un plan de contrôle/qualité et l'adoption de textes législatifs et réglementaires permettant son bon fonctionnement. La lutte contre les toxines est complexe; il s'agit d'une profonde étude des pratiques de protection phytosanitaire au champ et au stockage; les pays producteurs doivent donc développer un arsenal de mesures préventives: achat à la qualité, utilisation de bonnes pratiques agricoles et multiplication de variétés résistantes par la génétique qui est une piste prometteuse pour l'avenir.

Références bibliographiques

- [1].- D'Mello J. P. F., Macdonald A. M. C., 1997.- Mycotoxins. *Animal Feed Science and Technology*, 69: 155-166.
- [2].- Yiannikouris A., Jouany J. P., 2002.- Mycotoxins in feeds and their fate in animals: a review, *Anim. Res.*, INRA, EDP Sciences, 51: 81-99.

- [3].- Riba A., Mokrane S., Mathieu F., Lebrihi A., Sabaou N., 2008.- Mycoflora and ochratoxin A producing strains of *Aspergillus* in Algerian wheat. *International Journal of Food Microbiology*, 122: 85-92.
- [4].- Riba A., Bouras N., Mokrane S., Lebrihi A., Sabaou N., 2010.- *Aspergillus* section *Flavi* and aflatoxins in Algerian wheat and derived products. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 2772-2777.
- [5].- Guezlane-Tebibel N., Bouras N., Mokrane S., Benayad T., Mathieu F., 2013.- Aflatoxigenic strains of *Aspergillus* section *Flavi* isolated from marketed peanuts (*Arachis hypogaea*) in Algiers (Algeria). *Annals of Microbiology*, 63: 295-305.
- [6].- Eskola M., 2002.- Study on trichothecenes, zearalenone and ochratoxin A in Finnish cereals: Occurrence and analytical techniques. Academic dissertation, EELA Publications, Helsinki.
- [7].- Bennett J.W., Klich M., 2003.- Mycotoxins. *Clinical Microbiology Review*, 16: 497-516.
- [8].- Belkacem N., 2008.- Les mycotoxines: production et voie de biosynthèse. Master II. Institut national polytechnique de Toulouse. France. 23 pages.
- [9].- Bouras N., Kim Y-M., Strelkov S. E., 2009.- Influence of water activity and temperature on growth and mycotoxin production by isolates of *Pyrenophora tritici-repentis* from wheat. *International Journal of Food Microbiology*, 131: 251-255.
- [10].- Abbott S. P., 2002.- Mycotoxins and indoor molds. *Indoor Environment Connections*, 3: 14-24.
- [11].- Arora D. K., 2004.- Fungal biotechnology in agricultural, food, and environmental applications. *Mycology Series*, vol. 21, Marcel Dekker Inc., New York, 475 pages.
- [12].- Bouras N., Strelkov S. E., 2008.- The anthraquinone catenarin is phytotoxic and produced in leaves and kernels infected by *Pyrenophora tritici-repentis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 72: 87-95.
- [13].- Bouras N., Holtz M. D., Aboukhaddour R., Strelkov.- Influence of nitrogen sources on growth and mycotoxin production by isolates of *Pyrenophora tritici-repentis* from wheat. *The Crop Journal*, Sous Presse, doi: doi:10.1016/j.cj.2016.01.005.
- [14].- Wakuliński W., Kachlicki P., Sobiczewski P., Schollenberger M., Zamorski C. Z., Łotocka B., Šarova J., 2003.- Catenarin production by isolates of *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) *Drechsler* and its antimicrobial activity, *Journal of Phytopathology*, 151: 74-79.
- [15].- Pitt J.I., Hocking A.D., 1985 a.- *Fungi and Food Spoilage*, CSIRO Division of Food Research, Academic Press, Sidney.
- [16].- Reboux G., 2006.- Mycotoxines: effets sur la santé et interactions avec d'autres composants organiques. *Revue Française d'Allergologie*, 46: 208-212.

- [17].- Aziz N. H., El-Fouly M. Z., Abu-Shady M. R. & Moussa L. A. A., 1997. Effect of Gamma radiation on the Survival of Fungal and Actinomycetal Florae contaminating Medicinal Plants. *Appl. Radiat. Isot.*, 48 (1) : 71-76.
- [18].- Bouras N., Strelkov S. E., 2010.- Influence of carbon sources on growth and mycotoxin production by isolates of *Pyrenophora tritici-repentis* from wheat. *Canadian Journal of Microbiology*, 56: 874-884.
- [19].- Murphy P. A., Hendrich S., Landgren C., Bryant C. M., 2006.- Food Mycotoxins: An Update, *Journal of Food Science*, 71: R51–R65.
- [20].- Le Bars J., 1988.- Toxicogenesis as a function of the ecological conditions of the grain: micro-organisms system. *In* "Preservation and storage of grains, seeds and their products". Multon J. L., Lavoisier pub, New York, USA: 347-366.
- [21].- ITV France, 2003.- Les entretiens viti-vinicoles Rhône. Méditerranée, 18-23.
- [22].- Bouras N., Mathieu F., Coppel Y., Strelkov S.E., Lebrihi A., 2007.- Occurrence of naphtho-gamma-pyrones- and ochratoxin A-producing fungi in French grapes and characterization of new naphtho-gamma-pyrone polyketide (aurasperone G) isolated from *Aspergillus niger* C-433. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 8920-8927.
- [23].- Moss M. O., Frank, J. M., 1985.- The Influence on mycotoxin production of interactions between fungi and their environment. *In* *Trychothecenes and other mycotoxins* (ed., Lacey J.), Chichester, John Wiley: 257-268..
- [24].- Jennings, D. H., 1993.- Understanding tolerance to stress: laboratory culture versus environmental actuality. *Mycology Series*, 10 (Stress Tolerance of Fungi). Marcel Dekker, New York: 1-11.
- [25].- Stormer, F. C., Sandven, P., Huitfeldt, H. S., Edward, W., Skogstad, A., 1998.- Does the mycotoxin citrinin function as a sun protectant in conidia from *Penicillium verrucosum*? *Mycopathologia*, 142: 43-47.
- [26].- Battilani P., Giorni P., A. Pietri, 2003.- Epidemiology of toxin producing fungi and ochratoxin A occurrence in grape. *European Journal of Plant Pathology*, 109: 715-722.
- [27].- Galindo S., 2008.- Les mycotoxines. Etat des connaissances, réglementation. Le risque des mycotoxines. CIRAD. Sup Agro. Montpellier. 2-10.
- [28].- Scott P. M., 1989.- The natural occurrence of trichothecenes,. *In* *Trichothecene mycotoxicosis: pathophysiologic effects*, V.R. Beasley (Ed.). CRC Press, Boca Raton, Fla. (in press).
- [29].- Pestka J. J., Steinert B. W., Chu S. F., 1981.- Enzyme-linked immunosorbent assay for detection of ochratoxin A, *Appl. Environ. Microbiol.*, 41, 1472.

- [30].- Galvano F., Galofaro V., Galvano G., 1996.- Occurrence and stability of aflatoxin M₁ in milk and milk products: A Worldwide Review. *Journal of Food Protection*, 59: 1079-1090.
- [31].- Diaz D. E., Hagler W. M., Hopkins B.A., Eve J. A., Whitlow L. W., 1999.- The potential for dietary sequestering agents to reduce the transmission of dietary aflatoxin to milk of dairy cows and to bind aflatoxin *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, 82: 838-839.
- [32].- Schoendal R., White, A.F., 1965.- Aflatoxin and albinism in plants. *Nature (London)*. 205: 57-58.

VALORIZATIONS ENERGY AND AGRONOMIC OF THE INDUSTRIAL BIOMETHANISATION APPLIED TO AVICOLOUS BIOMASS IN TUNISIA

M'SADAK Youssef* and BEN M'BAREK Abir

Department of the Genius of the Horticultural Systems and the Natural Environment

Higher Agronomic Institute of Chott-Mariem, University of Sousse, Tunisia

E-mail: msadak.youssef@yahoo.fr

Abstract. - *This work consists in studying the anaerobic fermentation, applied to the avicolous biomass, established on the level of the industrial digester of Sousse Hammam, Tunisia.*

The present study was interested towards:

- *The qualitative productivity of produced biogas (gas composition, calorific value).*
- *The partial substitution of the forestry compost (FC) by the avicolous methacompost refined in its two states (exits of the decanter and of digester) according to the same ratio of 20%. It is a question of following the germination and the growth of the seedlings of *Acacia cyanophylla* installed on the prepared substrates.*

The synthesis of the principal results is the following one:

- *The value of the energy produced and of the purification of the biogas produced.*
- *The incorporation of the avicolous methacompost has a remarkable positive effect on germination, and consequently, on the growth of the seedlings of *Acacia cyanophylla*.*

Key words: *Biomethanisation industrial avicolous, gas composition, calorific value, methacompost avicolous, substrate of culture, seedlings of *Acacia cyanophylla*.*

VALORISATIONS ÉNERGÉTIQUE ET AGRONOMIQUE DE LA BIOMÉTHANISATION INDUSTRIELLE APPLIQUÉE À LA BIOMASSE AVICOLE EN TUNISIE

Résumé.- *Dans le cadre de ce travail, on a cherché à étudier la fermentation anaérobie, appliquée à la biomasse avicole, établie au niveau du digesteur industriel de Hammam Sousse, Tunisie.*

La présente étude s'est intéressée à deux tâches majeures :

- *La productivité qualitative de biogaz (composition gazeuse, pouvoir calorifique).*
- *La substitution partielle du compost forestier (CF) par le métagompost avicole affiné dans deux états (sorties du décanteur et du digesteur) selon un rapport de 20% pour chacun, afin de suivre la germination et la croissance des jeunes plants installés sur les substrats élaborés.*

Les principaux résultats sont :

- *L'intérêt de l'énergie produite et du pouvoir de purification du biogaz produit.*
- *L'incorporation du métagompost avicole a un effet positivement remarquable sur la germination et sur la croissance des plants d'*Acacia cyanophylla*.*

Mots clés : *Biométhanisation avicole industrielle, composition gazeuse, pouvoir calorifique, métagompost avicole, substrat de culture, plants d'*Acacia cyanophylla*.*

Introduction

One of technologies allowing the treatment of the organic fraction of waste is the biomethanisation which can transform a problem of waste into a source of richnesses [1]. There exists, indeed, several recycling appropriatenesses of organic waste, in particular for the energy production and for the fertilization of agricultural land, so as to reduce the

quantity of buried organic waste and to diversify the sources energy of substitution.

The animal manure is particularly interesting to use when they are produced in significant amounts and regular [2] and especially when they are treated by biomethanisation before use [3; 4].

Alkaline fermentation is, today, the bioenergetic die with the most promising prospects [5; 6]. Its industrial application, after progress of the last years of research, starts to become a reality. Indeed, the techniques available are right now sufficiently powerful to return the systems proposed economically acceptable [7].

The degradation of organic matter (OM) by anaerobic way is recognized more and more like fundamental method of a advanced technology allowing environmental protection and the conservation of the resources [8; 9; 10; 11]. The good performance (depollution, energy potentiality) of this kind of process is largely conditioned by the physicochemical conditions (nature, pH, DM...) of the substrates implemented.

The present study aims primarily the assessment of energy performance of industrial digester (powered by poultry droppings) installed in Hammam Sousse, while limiting themselves to a restricted follow-up of its qualitative productivity of biogas (Composition in Biomethane: CH₄ and Calorific value: CV).

Concerning the digestate (secondary by-product of the biomethanisation), the use particularly of its solid fraction called methacompost, like partial substitute of the Forestry Compost (FC) considered as substrate of reference for the production of the forest seedlings, could constitute an interesting alternative to improve its chemical quality especially, and consequently, the quality of the produced forest seedlings.

This work is directed towards the focusing in the substrates of growth containing mixture of compost and Avicolous Methacompost (AMC), adequate for the production except ground of the forest seedlings. In addition, an indirect evaluation was undertaken, primarily aiming the appreciation of the germination of the seeds and the growth in height and diameter, of the seedlings of *Acacia cyanophylla* installed, on the one hand, on the FC alone in a pure state, and on the other hand, on the FC mixed with the AMC in its two states, namely at the exit of the decanter (AMCA) and at the exit of digester (AMCA') according to the same ratio, at a rate of 20% in each mixture.

1.- Material and methods

1.1.- Experimental device

1.1.1.- Technical presentation of the studied digester

It is a pilot digester with cylindrical form, installed in a poultry farm since the year 2000, of a service output of 300 m³, fed uninterrupted daily by 10 m³ of substrate made up from approximately 1/3 of avicolous biomass and 2/3 of water.

The quantities of droppings available represent the day laborer production of an avicolous breeding out of cages around 20000 layers. The installation is designed to treat 4 tons of fresh dejections daily and to produce 200 m³ biogas/ day which can be transformed

into 300 kWh electric of which 5 to 10% only are currently consumed by owner [11] to feed the generators and to satisfy thus the needs for the farm and the station in electrical energy.

Besides the energy objective, the unit of biomethanisation has an environmental objective which consists in reducing the pollution generated by the droppings.

1.1.2.- Circuits of the avicolous droppings

In the digester, the produced digested droppings cross three different basins (fig. 1): a first basin receiving the substrate digested for a weak residence time (called basin of the digested droppings) before remaining in the second basin called decanter or mud tank. Starting from this last, muds of the elutriated droppings will be dried and transformed into methacompost. As for water supernatant (Juice of process) the mud tank, it passes in the third basin to be used for scraping of the fresh droppings of the hen houses.

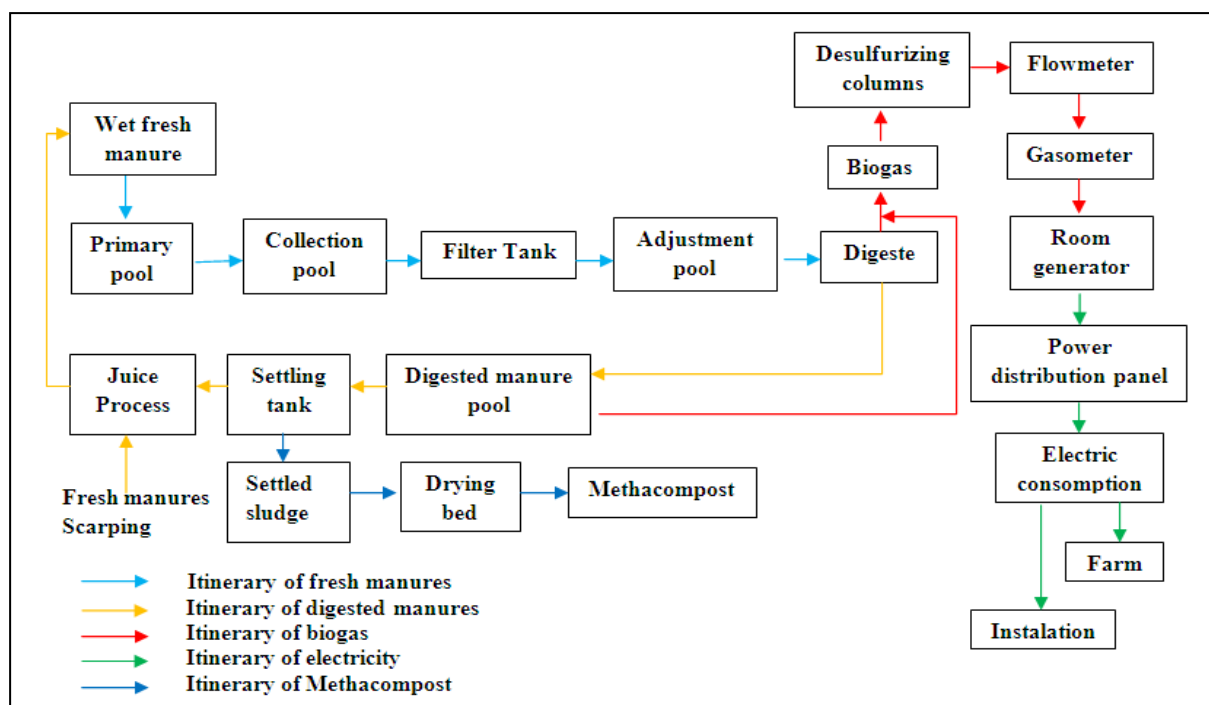


Figure 1. - Diagram of the different circuits of the industrial poultry Biomethanisation installation

1.2.- Qualitative follow-up of the gas productivity

The qualitative analyzes of biogas was effected in the test laboratories of the Tunisian Company of Industries of Refining (TCIR) of Bizerte.

The evaluation of the gas productivity imposes the quantitative and qualitative follow-up of biogas produced on the level of the industrial digester. Following the dysfunction of the flowmeter installed, the quantitative follow-up could not be carried out and we are limited only to the qualitative follow-up which related to biogas taken, once flammable by determining of its gas composition and its calorific value.

1.2.1. - Composition in gas elements

The quality of biogas is evaluated primarily by the measurement of % methane (CH_4) which it contains. Indeed, a biogas is as much better than its % CH_4 is high. But, it also rests on the determination of % CO_2 , % H_2S and % H_2 . In opposition to CH_4 , more the % of these elements are reduced, more the quality of biogas produced is better.

1.2.2. - Calorific value

The calorific value of a fuel is the quantity of heat released by the complete combustion of 1 Normal m^3 of dry gas (quantity of gas matter which 1 m^3 under the normal conditions of temperature and pressure occupies: 0°C under 1 Atmosphere) in the air with a constant absolute pressure.

It is a question of evaluating the lower calorific value (LCV) and the higher calorific value (HCV) expressed in (kcal/Nm^3). The LCV is calculated when the water produced by this combustion remains with the vapor state and which are linked by expression (1) following:

$$\text{HCV} = \text{LCV} + \text{heat of vaporization} \quad (1)$$

According MONZAMBE (2002), the calorific value of biogas is proportional to its content of CH_4 . It varies between 5000 and 8500 kcal/Nm^3 [12].

The water formed during combustion is brought back in the liquid state, the other products being with the gas state. Thus, the latent heat of vaporization is that necessary to transform 1kg water into vapor.

1.3.- Possibilities of agronomic valorization except ground of the avicolous méthacompost

1.3.1.- Vegetable material

A leafy forest species with rapid growth, *Acacia cyanophylla*, was used to study the vegetable answer with respect to various substrates of growth tested. The seeds of this species were provided by the Head Office of Forests (HOF), and were collected starting from shrubs located in the area of Enfidha, Sousse (Tunisia).

1.3.2. - Substrates of culture

The made substrates, object of this study, are obtained following the mixture of pure compost of vegetable origin with a methacompost of animal origin.

The green biomass, in the form of branches of *Acacia cyanophylla*, was used to produce a compost with the characteristics necessary for the breeding of forest seedlings in modern seedbed [13; 14; 15]. The compost of produced *Acacia* constituted the basic matrix in the preparation of the substrates of culture tested.

The pure substrates are the following:

- Forestry Compost, (FC) produced in the modern forest seedbed of Chott-Mariem, Sousse.

It is resulting from the branches of *Acacia cyanophylla* crushed successively by a simple knife crusher and a simple hammer crusher equipped with a grid of calibration of mesh 30 mm.

- Avicolous Methacompost (AMC), solid residue resulting from a unit of industrial biomethanisation in Hammam Sousse, in its two states, namely at the exit of decanter (AMCA) and at the exit of digester (AMCA') according to the same ratio of mixture, at a rate of 20%.

The evaluated substrates are 3:

SA: Standard substrate FC (pilot)

SB: Mix 80% FC + 20% AMCA

SC: Mix 80% FC + 20% AMCA'

The two made mixtures appeared the best, following the direct evaluation of the physicochemical properties of various mixtures made starting from three pure components considered.

1.3.3.- Agronomic follow-ups

1.3.3.1. - Test of germination on leguminous plants

The aim of the biotest is to evaluate the maturity of the methacompost, to envisage the possible existence of some elements phytotoxic, while putting in consideration the photosensitivity of the seeds of Plant-tests [16]. For the appreciation of the maturity of the FC, we used two leguminous plants: the bean and the chick-pea. The bean translates the phytotoxicity by a yellowing of the sheets and a depressed growth, even null. Pea-Chiche is selected because of its prompt response.

This biotest studies of the germination and of the growth during 28 days [17; 18] of the plant-tests cultivated out of containers filled of the FC produced with the seedbed. For each specie of plant, we used 4 containers (15 cavities x 4 containers x 2 species = 120 plant-tests). The biotest touched only the FC, since the AMC studied on the outlet side of the digester or decanter is already ripe. The measured parameters are the duration of germination and the percentage of germination.

1.3.3.2. - Evaluation of the behavior of the seedlings of *Acacia*

To appreciate the vegetative behavior of the seedlings considered, we were satisfied to follow the evolution of 4 morphological parameters hereafter.

- Percentage of germination of the seeds of *Acacia*: Measurements of germination were taken one week after sowing, while ensuring counting cumulated every 4 days.
- Increase in height in seedlings: The follow-up of the evolution of the air part of the seedlings was led starting from the measurements in cm (with 15 days more or less regular intervals) since the collet to the apical bud using a digital slide caliper.
- Increase in diameter in seedlings: The measurements in mm were taken at the same time as those of the increase in height and with the same material.

It should be noted that, for each container, we chose 5 seedlings (5 seedlings / container, 1 seedling/3 cavities) to by chance take measurements in height and diameter.

- Ratio of robustness of the seedlings: It is equal to the ratio Height /Diameter (H/D), expressed in cm/mm.

The experimental device implemented calls upon a plan in complete random blocks (CRB) with a studied factor (3 substrates) and a controlled factor (3 blocks). They are 18 containers distributed as follows: 2 containers x 3 substrates x 3 blocks.

2. - Results and discussion

2.1. - Establishment of the assessments of purification

The biogas produced by the industrial digester undergoes purification by calling upon a desulphurization with the iron hematite. In this respect, the follow-up was carried out before and after purification to appreciate the interest of this treatment. The evaluation of the performance of the conditioning carried out is interpreted starting from the results of analysis of the composition of biogas and its calorific value.

2.1.1. - Effect of purification on the composition of produced biogas

Table 1 illustrates the variation of the gas composition of the product before and after purification. Purification consists in eliminating not only the elements traces like the steam, the hydrogen sulfide, the halogenous compounds, but also the carbonic gas, in order to enrich the concentration of methane.

According to the results obtained, % CH₄ largely increased by 15% after purification, whereas % CO₂ and % H₂S, on the contrary, decreased the first from almost 5% and the second about 10%. The biogas is of as much better than its % CH₄ is high and than the other components are reduced as much as possible.

Table I.- Effect of purification on the composition of produced biogas

Composition (%)	CH ₄	CO ₂	H ₂ S
Before purification	59.68	30.00	10.28
After purification	74.54	25.45	00.01

The results obtained are indices of the good performance of the process of purification and the great importance of the treatment of biogas, since it ensures a more reduction in polluting elements (CO₂ and H₂S) as well as an intensification in concentration of CH₄.

3.1.2.- Effect of purification on the calorific value

The results corresponding to the LCV and HCV of the biogas produced before and after purification are reported in table II.

Table II.- Variation of the CV of biogas before and after purification

	LCV (kcal/Nm ³)	HCV (kcal/Nm ³)
Before purification	5110	5684
After purification	6389	7106

After purification, there is a clear improvement of the calorific value. We can say that industrial biogas produces present valid energy potentialities before and after purification. The energy valorization of biogas can be a relevant source of incomes to amortize the initial investment [19] since biogas is converted into practically all useful shapes of energy [20; 21]. It makes it possible the farm to acquire a fuel autonomy for the production of heat and, if the installation comprises an production unit of electricity, to reduce the costs of its purchase and to possibly dispatch the surpluses on the network [22; 23]. However, it is advisable to more improve the output of purification of biogas to reach the theoretical maximum equal to 8500 kcal/Nm³ [12].

The use of the anaerobic digestion applied to biomass animal as a process of remediation and of production of energy has reasonable strengths [24].

2.2. - Results of the agronomic follow-up

2.2.1. - Biotest of germination

Table III. - Results of the biotest of germination

Plants-test	Period of germination (days)	% of germination
Chick-pea	8	88
Bean	12	85

A follow-up of the germination of the chick-pea and bean seeds sown at the same time in the pure forestry compost to be tested, was carried out during 28 days. The results of follow-up are posted in table III.

It is noted that the biotest carried out gave a high germination higher than 80% for bean like for chick-pea. In the same way, it is noticed that the two leguminous plants show a better growth of the air part. Therefore, the FC, product with the seedbed can be considered ripe. The good germination indicates that the compost does not contain phenolic substances which can block the germination of the seedlings [25].

The compost can be employed for the production of seedlings, with, as favors compared to the peat, to produce plants more resistant to pathogenic [26]. The potential use of the composts is promising, but remains strongly dependant on their qualitative aspect.

2.2.2. - Follow-up of germination of the seeds of Acacia

Figure 2 illustrates the evolution of the percentage of germination of the seedlings of Acacia according to the substrate in the course of time. The cumulated percentages of germination correspond to the averages of two containers per substrate. We can distinguish 3 phases:

- A phase of latency, necessary to the appearance of the first germinations which is prolonged four days for the various substrates. During this phase, the rate of germination remains weak. The duration of this phase is variable according to the nature of substrate. The SC presents the highest % of about 30% towards the end of this phase.
- An appreciably linear phase, corresponding to a fast increase in the rate of germination which evolves proportionally with the number of days. The increase is about 50% for the three substrates tested.

- A stage representing the final percentage of germination.

It appears that the rate of germination of substrate SC evolves more quickly than the other substrates. However, the slowest evolution of the rate of germination is observed on the level of substrate SA. The substrate SB has an intermediate behavior.

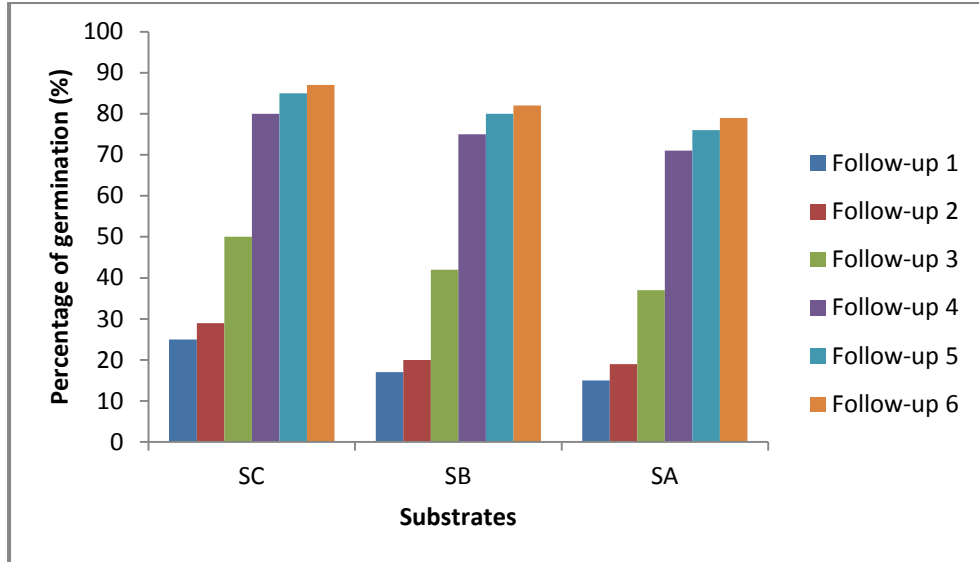


Figure 2. - Variation of the kinetics of germination of seeds of Acacia

2.2.3. - Increase in height of the seedlings of Acacia

Figure 3 illustrates the evolution height of the seedlings of Acacia. The results are the averages of measurements in height at a rate of 10 seedlings/substrate x 3 blocks = 30 seedlings/substrate.

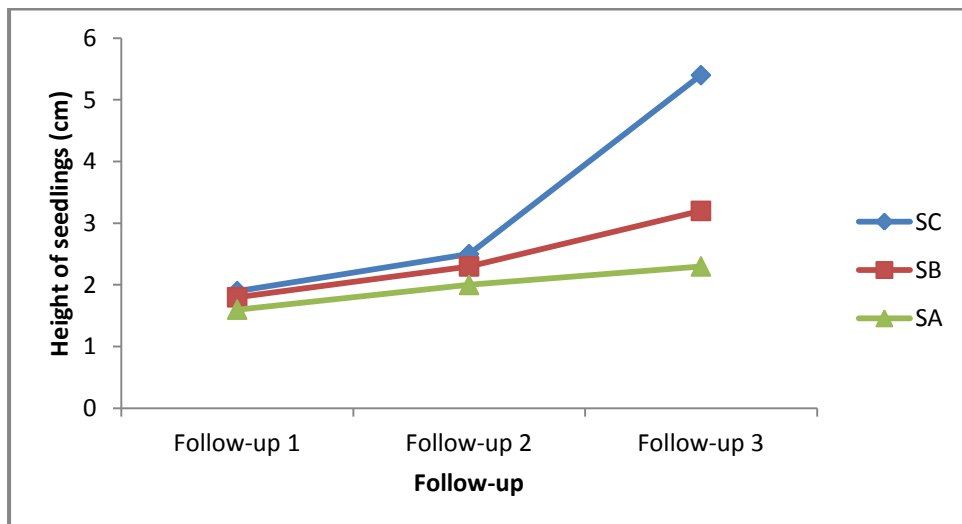


Figure 3.- Variation of the average height of the seedlings of Acacia

According LAMHAMEDI and coll. (1997) and LAMHAMEDI and coll. (2006), the height constitutes a good indicator of photosynthetic level and surface of perspiration which are narrowly correlated with the number of the sheets [13; 15]. It seems to predict

the growth in height of the seedlings.

The evolution height of the seedlings of *Acacia* according to the number of days after sowing, watches that the answer of these seedlings with respect to the various substrates is not the same one. The seedlings are sensitive during the first stages of growth to the nature and the composition of the substrates. This sensitivity is generally in keeping with the physicochemical properties of each substrate, in particular its physical quality.

It is noted that the seedlings installed on the FC alone present in the beginning a delay of growth compared to those installed on the two made mixtures, probably due to a bad contact of seed with the coarse surrounding particles, or to the low richness of the FC in fertilizing elements.

2.2.4.- Increase in diameter of the seedlings of *Acacia*

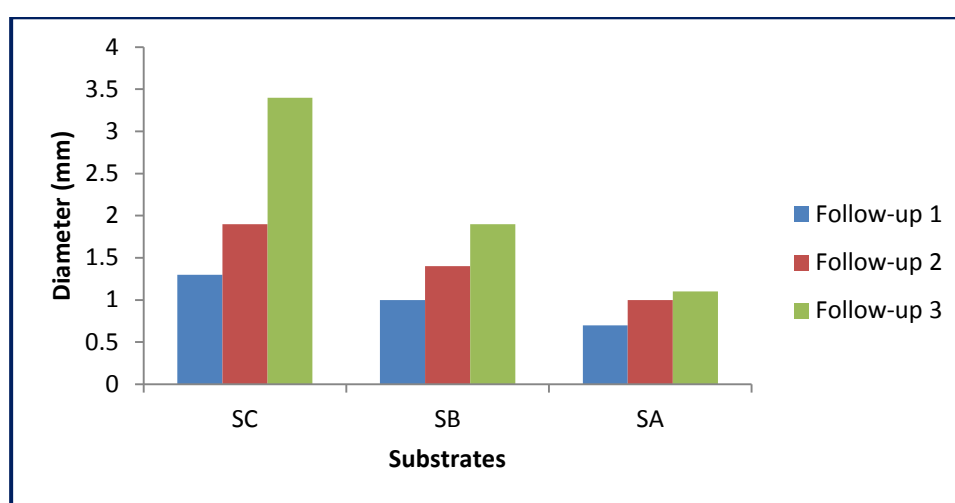


Figure 4.- Variation of the average diameter of seedlings of *Acacia*

According to LAMHAMEDI and coll. (1997) and LAMHAMEDI and coll. (2006), the seedlings having a large diameter generally have a well developed side roots [13, 15]. The diameter in the collet is the best parameter of prediction of survival. The evolution of the diameter of the seedlings of *Acacia* is illustrated on figure 4 hereafter. This evolution corresponds to the average of 30 specific measures to the diameter for each substrate.

The substrate SC presents the most considerable diameter growth of about 3.4 mm. As for the height, the substrate SB gives median values, whereas the FC comes in last position with largely lower values.

2.2.5.- Ratio of robustness

The results relative to this parameter are represented on figure 5. The goal of this control is to reach a format of ideal height, diameter and ratio of robustness of seedling. These standards quality are relating not only to morphology but also to the physiology of the seedlings.

According to the standards quoted by [13], the ratio of robustness (H/D) should be lower than 7. So the results are in conformity with the standards. It should be noted that

this report cannot be a criterion of characterization of the substrates of growth considering the seedlings of *Acacia* did not reach along the period of follow-up a advanced developmental stage. Such a result should be raised with prudence.

This study joins several other research to show the importance of the use of forestry compost as standard substrate for the production of seedlings in nurseries, particularly forestry nurseries, and thus constitutes an alternative to the soil use especially not standardized (integration within the framework of the national strategy of Tunisia in matters of environmental protection) and of imports of peat (significantly reduced dependence of Tunisia vis-à-vis the producer countries peat substrates). In fact, several techniques should be mastered by the nursery to produce a quality compost. The size adjustment of forestry compost by various mesh of screening using various techniques (single or dual) and methods (sieving of undersize or refusal) is proved interesting [27].

According M'SADAK and BEN M'BAREK (2015), the mixture (80% Peat + 10% Avicolous Methacompost + 10% Forestry Compost) seems to be the best substrate to advocate to produce quality vegetable seedlings, while limiting peat imports [28].

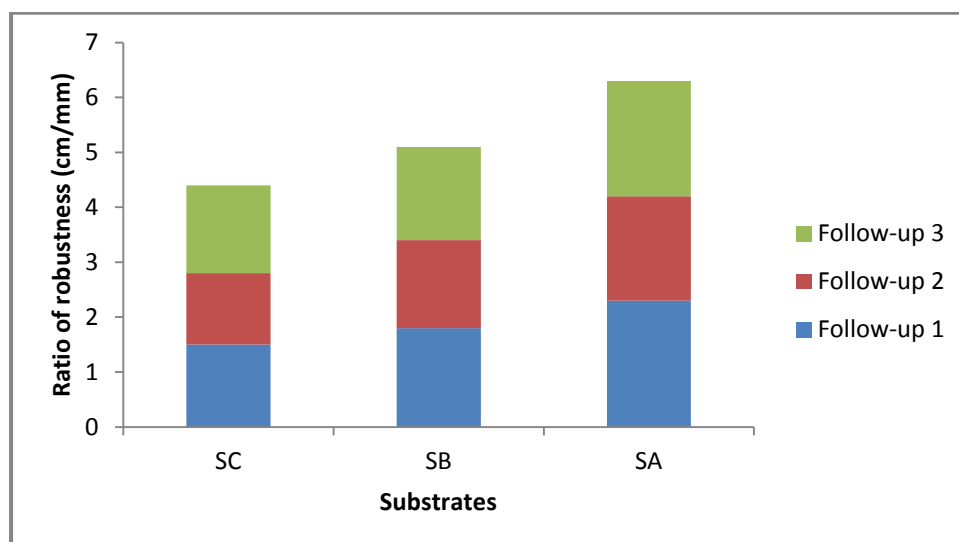


Figure 5.- Variation of the ratio of robustness of seedlings of *Acacia*

Conclusion

The energy follow-ups, led in the level of the industrial digester of Hammam Sousse, made it possible to justify the energy potentialities of the biogas produced starting from the animal manure and particularly starting from the fresh avicolous biomass.

This observation is all the more justified by analyzing the results of the follow-up of the energy parameters. The biogas undergoing a stage of purification which makes it possible more respectively to improve % methane and the LCV while passing from 60 to 75 % and from 5110 to 6389 kcal/Nm³.

The agronomic use of the residues of the biomethanisation is integrated well in the current trend towards the agrobiologic practices, taking into account the important reduction of the polluting load of the dejections after biological treatment. However, the installation needs some modifications in order to improve its effectiveness as

environmental and energy performances more regards, for example the installation of a heating system or in order to improve the financial interest (profitability) of the project by developing the produced quantities of digestates. In this respect, the composting of the vegetable biomass and the biomethanisation of the animal biomass constitute an alternative face to the use of the forest or agricultural compost and the massive imports of the peat.

The study of partial substitution of the forestry compost (substrate of reference) by the avicolous methacompost in the formation of the substrates of growth of the forest seedlings makes it possible to draw the principal results hereafter.

- The appreciation of the maturity of the forestry compost produced with the seedbed on the leguminous plants (chick-pea and bean) proved a good state of maturation of this compost.
- There exists a light increase in the rate of germination of the seeds of *Acacia cyanophylla* sown on substrate containing mixture of forestry compost and avicolous methacompost. The forestry compost alone shows a weaker rate of germination and rather distant from those obtained for the case of the made mixtures.
- The growth in height and diameter of the seedlings of *Acacia* were significantly influenced by the type of the methacompost incorporated. The mixture containing the AMCA' showed a clear superiority as regards evolution of the seedlings in height and in diameter, on the other hand, the ratios of robustness are overall lower than that of the seedlings cultivated on the forestry compost.

References

- [1].- Saidi A. et Abada B., 2007.- La biométhanisation : une solution pour un développement durable, *Revue des Énergies Renouvelables* : CER'07 Oujda, 31-35.
- [2].- Tou I., Igoud S. et Touzi A., 2001.- Production de Biométhane à Partir des Déjections Animales, *Revue des Énergies Renouvelables* : Production et Valorisation-Biomasse, 103-108.
- [3].- Verrier D., Morfaux J.N., Albagnac G. and Touzel J.P., 1982.- The french programme on methane fermentation, *Biomass*, 2, 17-28.
- [4].- Macias-Corral M., Samani Z., Hanson A., Smith G., Funk P., Yu H. and Longworth J., 2008.- Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure, *Bioresource Technology*, 99, 8288-8293.
- [5].- Schievano A., Pognani M., D'Imporzano G. and Adani F., 2008.- Predicting anaerobic biogasification potential of ingestates and digestates of a full-scale biogas plant using chemical and biological parameters, *Bioresource Technology*, 99, 8112-8117.
- [6].- Holm-Nielsen J.B., Seadi T. and Oleskowicz-Popiel P., 2009.- The future of anaerobic digestion and biogas utilization, *Bioresource Technology*, 100, 5478-5484.
- [7].- Moletta R., 1989.- Contrôle et conduite des digesteurs anaérobies, *Revue des Sciences de l'Eau*, 2, 265-293.
- [8].- Brondeau P., De La Farge B. et Héduit M., 1982.- Un nouveau procédé de

fermentation méthanique en continu pour les lisiers : Production d'énergie, dépollution et désodorisation, Génie Rural, Janvier-Février, 1-2, 5-10.

- [9].- Angelidaki I. and Ellegaard L., 2003.- Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 109, 95-105.
- [10].- Westerman P. and Bicudo J., 2005.- Management considerations for organic waste use in agriculture, *Bioresource Technology*, 96, 215-221.
- [11].- ALCOR et AXENNE, 2003.- Étude stratégique pour le développement des énergies renouvelables en Tunisie-Bilan des réalisations, Rapport final de l'Agence Nationale des Énergies Renouvelables, 148-157.
- [12].- Monzambe M., 2002.- La problématique de la biométhanisation en République Démocratique du Congo, Université du Québec, 38 p.
- [13].- Lamhamedi MS., Fortinn J.A., Ammari Y., Ben Jalloun S., Poirier M., Fecteau B., Bougacha A. et Godin L., 1997.- Évaluation des composts, des substrats et de la qualité des plants élevés en conteneurs, Exécution des travaux d'aménagement de trois pépinières pilotes en Tunisie, Pampev Internationale, Direction Générale des Forêts, Tunisie (éds), 121 p.
- [14].- Ammari Y., Lamhamedi M.S., Akrimi N. et Zine El Abidine A., 2003.- Compostage de la biomasse forestière et son utilisation comme substrat de croissance pour la production de plants en pépinières forestières modernes, *Revue de l'I.N.A.T.*, 99-119.
- [15].- Lamhamedi M.S., Fecteau B., Godin L., Gingras CH., El Aini R., Gader GH. et Zarrouk M.A., 2006.- Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie, Projet ACIDI E 4936-K061229. Pampev Internationale, Direction Générale des Forêts, Tunisie, 114 p.
- [16].- Bernal M.P., Albuquerque J.A. and Moral R., 2009.- Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment, *Bioresource Technology* 100, 5444-5453.
- [17].- Juste C., Solda P. et Dureau P., 1985.- Test agronomique simple destiné à juger rapidement de la phytotoxicité éventuelle et du degré de maturité d'un compost d'ordures ménagères. Chapitre d'ouvrage édité - BMA: Utilisation agricole des déchets. Résultats de dix années de recherches. Comité "Sols et Déchets" 1973-1983, Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets (ANRED), Nantes, France, 4 p.
- [18].- Goyal S., Dhull S.K. and Kapoor K.K., 2005.- Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity, *Bioresource Technology*, 96, 1584-1591.
- [19].- Trigui A., 2008.- Étude en vue de l'élaboration d'un plan d'action pour l'utilisation énergétique des sous produits de l'oliveraie en Tunisie, PNUD-Tunisie/ANME, 33, 88 p.

- [20].- Pahl O., Firth A., Mac-Leod I. and Baird J., 2008.- Anaerobic co-digestion of mechanically biologically treated municipal waste with primary sewage sludge: A feasibility study, *Bioresource Technology*, 99, 3354-3364.
- [21].- Charles W., Walker L. and Cord-Ruwisch R., 2009.- Effect of pre-aeration and inoculum on the start-up of batch thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste, *Bioresource Technology*, 100, 2329-2335.
- [22].- Karellas S., Boukis I. and Kontopoulos G., 2010.- Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1273-1282.
- [23].- Poeschl M., Ward Sh. and Owende Ph., 2010.- Prospects for expanded utilization of biogas in Germany, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (7), 1782-1797.
- [24].- M'Sadak Y. et Ghariani I., 2014.- Intérêts environnemental et énergétique de la biométhanisation de déjections animales, *Actes Rencontres Recherche Ruminants*, 21, p. 46.
- [25].- Sullivan D.M. and Miller R.O., 2001.-Compost quality attributes, measurements, and variability. Lewis Publishers, New York, USA, 95-120.
- [26].- Hoitink H.A.J., Stone A.G. and Han D.Y., 1997.- Suppression of plant diseases by composts, *HortScience*, 32 (2), 184-187.
- [27].- M'Sadak Y., Hamdi W. et Zaalani Ch., 2013.- Production et croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisat de compost dans une pépinière hors sol (Tunisie), *Revue Agriculture de Sétif*, 6, 29-34.
- [28].- M'Sadak Y. et Ben M'Barek A., 2015.- Valorization agricultural of a solid digestate avicolous resulting from the industrial biomethanisation in Tunisia, *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 7 (3), 298-321.

ESPACES VERTS, PHYTOREMEDIATION ET BIOSURVEILLANCE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE EN ALGERIE

GHERIB Abdelfattah¹, BOUFENDI Moufida², TEMIME Asma² et BEDOUH Yazid¹

⁽¹⁾Division Biotechnologies et Environnement,

⁽²⁾Division Biotechnologies et santé

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

E-mail: gheribfettah@gmail.com

Résumé. - L'objectif du présent travail est le recueil des données statistiques et scientifiques sur les espaces verts et les applications de la phytoremédiation ainsi que la biosurveillance de la pollution atmosphérique en Algérie, suite aux données fournies par le Ministère de l'Environnement (MATE), les Directions de l'Environnement des Wilayas (DEW) et le Centre National de Développement des Ressources Biologiques (CNRDB). Les résultats obtenus montrent que le ratio national de la superficie des espaces verts estimé à 0.7m²/hab., est très faible et inférieur à la norme internationale fixée à 10 m²/hab., en plus, 47.52% des espaces verts sont à l'état moyen à dégradé. Concernant la typologie des espaces verts, il est recensé 48% parcs urbains et périurbains, 19% alignements routiers, 2% forêts urbains, etc. Les espèces dominantes sont Acacia 14%, Palmier 11%, Eucalyptus 10%, Laurier 9%, etc.. En général, les plantes qui constituent les espaces verts restent tributaires de l'aspect esthétique; ornemental; loisirs, et qui ne répond pas aux caractéristiques écologiques de chaque région et aux besoins de dépollution de l'environnement.

Mots clés: Espaces verts, phytoremédiation, biosurveillance, pollution atmosphérique, Algérie.

GREEN SPACES, PHYTOREMEDIATION AND BIOMONITORING OF ATMOSPHERIC POLLUTION IN ALGERIA

Abstract. - The aims of this work is the collection of statistic and scientific data about green spaces and the applications of phytoremediation and biomonitoring of atmospheric pollution in Algeria, following the data provided by the Ministry of Environment (MATE), Environmental Directions (DEW) and National Center of Biological Resources Development (CNRDB). The results showed that the national ratio of the area of green spaces estimated at 0.7m²/hab. is very low and below than the international standards set at 10 m²/hab. As well as, 47.52% of green spaces are at average to degraded state. Regarding the typology, were have found 48% urban and suburban parks, road alignments 19%, 2% urban forests, etc. Into dominance of species we have found: Acacia 14%, Palm 11% Eucalyptus 10%, Laurel 9%, etc.. In general, the constitution of green spaces on plants remains dependent on the aesthetic, ornamental, and entertainment aspect, and does not meet the ecological characteristics of each region and environmental remediation needs.

Key words: Green spaces, phytoremediation, biomonitoring, atmospheric pollution, Algeria.

Introduction

Ces dernières années, l'Algérie a connu un développement aussi bien sur le plan urbain qu'industriel. Ce dernier s'est répercuté négativement sur la qualité de l'environnement. L'urbanisation croissante, l'industrialisation et la surpopulation, sont les principales causes de la dégradation de l'environnement et de la pollution [1]. Dans la plupart des villes algériennes, les principales sources de pollution atmosphérique sont directement liées à la densité du trafic automobile, en croissance constante avec des

véhicules utilisant le plus souvent des carburants non conformes aux règles édictées en matière de protection de l'environnement. Cette pollution affecte la plupart des grandes agglomérations (Alger, Oran, Constantine et Annaba). Selon le Ministère de l'Environnement (2010), le secteur des transports occupe le premier rang en termes d'émissions des polluants atmosphériques avec 51%, suivi de l'industrie avec 47,25%. Les polluants libérés dans l'atmosphère ont des effets néfastes et ont été reconnus comme étant à l'origine de maladies respiratoires chroniques et quelquefois sévères [2, 3,4].

Avec l'apparition de la notion de développement durable, le domaine de l'environnement est devenu un thème émergent de l'actualité politique [5]. En revanche, le besoin de nouvelles techniques, économiquement compétitives et pouvant préserver les caractéristiques des écosystèmes s'est fait sentir [6, 7]. Les biotechnologies comprennent toute utilisation de plantes vivantes pour résoudre des problèmes environnementaux, que ce soit pour épurer l'eau et l'air, contrôler l'érosion, restaurer des sites dégradés, capter les gaz à effet de serre ou réduire la chaleur et la vitesse du vent [8]. Ces biotechnologies; regroupées sous les termes phytoremédiation et biosurveillance; font appel à des espèces végétales pour aboutir à la restauration des milieux pollués [6, 7]. Le besoin de l'espace vert n'est plus à démontrer en milieu urbain; il ne relève pas seulement d'enjeux environnementaux et esthétiques, mais aussi le lieu d'expériences fondatrices et d'ouverture sociale [9]. Ils contribuent significativement à l'amélioration du cadre de vie, la diminution de la pollution atmosphérique et la protection de la santé humaine [10]. Malheureusement, la plupart des villes Algériennes se caractérise par un paysage dégradé dont la verdure est presque nulle [9].

L'objectif de ce travail est le recueil des données statistiques et scientifiques sur les espaces verts et les applications de la phytoremédiation et de la biosurveillance de la pollution atmosphérique en Algérie, ainsi qu'un screening des espèces végétales constituant les espaces verts, et utilisées dans la phytoremédiation et la biosurveillance de l'environnement à fin de valoriser les ressources biologiques nationales.

1.- Méthodologie de travail

La méthodologie de travail consiste à effectuer plusieurs sorties sur le terrain, visant les responsables des organismes concernés par la gestion des espaces verts, et la mise en œuvre des stratégies de phytoremédiation dans le domaine de l'environnement en Algérie, en l'occurrence, le Ministère de l'environnement (MATE), les Directions de l'Environnement des Wilayas (DEW) et le Centre National de Développement des Ressources Biologiques (CNDRB), chargé de la protection de l'environnement, la sauvegarde de la biodiversité et la valorisation des ressources biologiques dans le cadre du développement durable, durant la période 2014-2015.

Un questionnaire particulier a été mis en place, remplis par les organismes concernés, renfermant: présentation de l'organisme; données scientifiques et statistiques sur la mise en œuvre des stratégies de phytoremédiation et de biosurveillance; les contraintes qui empêchent l'application de ces stratégies; et en fin, propositions pour promouvoir et vulgariser l'application de ces stratégies. Outre, des investigations sont effectuées sur le terrain, des entretiens avec les responsables et les acteurs du domaine de l'environnement, des recherches bibliographiques et webgraphiques ont été effectuées. Il a été collecté et sélectionné des données à partir des articles de presse, des documents écrits, des fiches techniques, des rapport officiels et des documents iconographiques ou

statistiques réalisées par des organismes concernés et/ou au niveau du ministère (textes et directives).

2.- Résultats et discussion

2.1.- Statistiques sur espaces verts

En Algérie, les espaces verts sont définis comme étant des espaces de détente et de loisirs dans des zones urbaines et qui comportent des massifs fleuris ou des arbres, dont l'intérêt est le délasserment, l'esthétique et l'ornementation [11]. L'intérêt des espaces verts dans la biosurveillance et la dépollution de l'environnement urbain est très connu, néanmoins il n'est pas pris au sérieux par rapport à d'autres pays ou d'autres villes dans le monde qui ont adopté des stratégies de protection de l'environnement grâce aux espaces verts. Néanmoins, les termes phytoremédiation et biosurveillance n'ont jamais figuré ni dans les textes législatifs, ni les programmes de recherche, ni les programmes d'action du MATE ou DEW.

Après la collecte des données scientifiques et statistiques concernant les espaces verts en Algérie, les résultats obtenus ont été classés selon plusieurs critères: superficie, état de préservation, typologie, constitution en plantes, etc., d'autres paramètres comme le ratio ($m^2/hab.$) et le pourcentage ont été calculés et représentés dans le (tab. I) et les (fig. 1, 2, 3, 4 et 5).

Tableau I: Statistiques sur les espaces verts en Algérie

Etat de préservation	Superficie totale (m^2) espace verts	Population totale (habitant)	Ratio ($m^2/hab.$)	Pourcentage (%)
Bon	260 102,28	1158543	0.22	4.61 %
Moyen	2417425,56	1550816	1.55	42.89 %
Moyen à dégradé	2 678 226,98	2 810 117,00	0.95	47.52 %
Mauvais	279771,09	3358537	0.08	4.94 %
Total	5 635 525,91	8 878 013,00	0.7	100 %

L'observation du (tab. I) a permis de constater que la mise en œuvre des stratégies de phytoremédiation et de biosurveillance en Algérie, dont le but est l'amélioration du cadre de vie, la création d'un microclimat et la dépollution de l'air dans le milieu urbain à travers le rôle assuré par espaces verts reste très limitée. La superficie consacrée actuellement aux espaces verts est relativement très faible ($5\,635\,525,91\,m^2$), dont 47.52% de la superficie totale est d'état moyen a dégradé, alors que, seulement 4.61% soit en bon état de préservation. Le ratio national de la superficie des espaces verts par rapport à la population est très faible et ne représente que $0.7\,m^2$ par habitant. En revanche, la norme internationale est fixée à $10\,m^2/hab.$ [11]. La wilaya d'Ain Defla occupe la première place avec un ratio de $1.70\,m^2/hab.$, suivi par la wilaya de Ghardaïa avec un ratio de $1.19\,m^2/hab.$ Cependant, la dernière place est occupée par la wilaya de Tipaza avec un ratio de $0.006\,m^2/hab.$ (fig. 1).

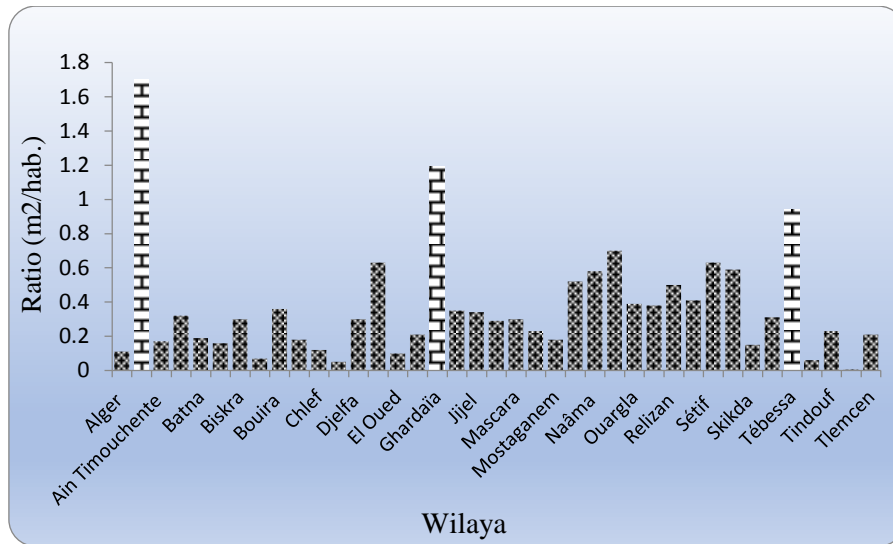


Figure 1.- Ratio de la superficie des espaces verts par rapport à la population de quelques wilayas d’Algérie

Cependant, des villes dans le monde montrent des ratios élevés et supérieurs à la norme internationale fixée à 10 m²/hab. [12]. Les grandes wilayas d’Algérie à vocation industrielle et qui connaissent des problèmes de pollution atmosphérique présentent des ratios très faibles: Alger (0.11 m²/hab.), Oran (0.32 m²/hab.), Annaba (0.32 m²/hab.), Constantine (0.05 m²/hab.) (fig. 3).

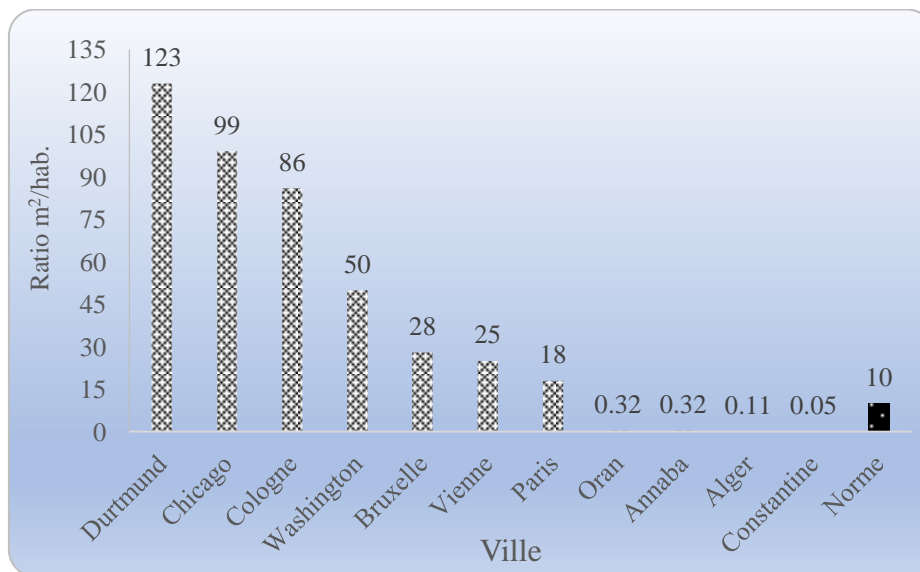


Figure 2.- Ratio des espaces verts dans quelques villes du monde

Comme la pollution est un phénomène diffus à l’échelle locale, régionale et même continentale, le MATE a installé à travers son observatoire national de l’environnement et de développement durable (ONEDD) des réseaux de surveillance et de contrôle de la qualité de l’air, constitués par des stations regroupant des analyseurs d’indication de la qualité de l’air à travers le réseau SAMA SAFIA. Les mesures effectuées au niveau de ces stations sises notamment à quatre grandes wilayas (Alger, Skikda, Annaba et Oran) concernent les oxydes d’azote, les hydrocarbures totaux, le monoxyde de carbone, les

poussières en suspension, ainsi que les paramètres météorologiques (direction et force du vent, température et humidité). Néanmoins, ce dispositif n'est actuellement fonctionnel que dans certaines villes d'Algérie, vu le coût d'installation assez onéreux et la nécessité de faire des relevés en continu très contraignants et la nécessité des moyens lourds (appareillages de détection, personnels qualifiés) pour la mise en place.

La biosurveillance paraît alors comme une méthode alternative aux méthodes physicochimiques. Elle est à la fois un outil simple, rapide et économique, qui facilite la multiplication des points de surveillance. Elle permet aussi de définir la nature et la répartition spatio-temporelle des polluants présents dans l'air et le sol ainsi que leur danger pour les êtres vivants [4]. L'étude de MAIZI *et al.* (2012), portée sur l'utilisation des lichens *Xanthoria parietina* et *Funaria hygrometrica* comme bioindicateurs de la pollution par le SO₂, dans la région de Annaba, a montré que la sensibilité et le pouvoir accumulateur de ces deux bioindicateurs permet une meilleure caractérisation de la pollution de l'air dans cette région [13]. Le jumelage des deux méthodes: capteurs physicochimiques et bioindicateurs a donné des corrélations significatives entre les paramètres mesurés et le dosage de SO₂, ce qui prouve la fiabilité et l'utilité des espèces utilisées. Néanmoins, Selon notre enquête, en dépit de multiples recherches scientifiques menées sur l'utilité des différentes espèces végétales, le recours aux stratégies de phytoremédiation et de biosurveillance basées sur l'utilisation des plantes comme bioindicateurs et biomarqueurs de la pollution atmosphérique et leur utilisations pour l'amélioration de du cadre de vie, et la réduction des nuisances sonores et olfactives restent très limités, vu la superficie réduite des espaces verts, ainsi que l'état de préservation de ces espaces et sa composante en plantes.

2.1.- Typologie des espaces verts

L'observation de la figure 4 représentant la typologie des espaces verts en Algérie, a permis de constater une dominance des jardins publics (48%); suivi par les alignements situés en zone urbaine (19%) et les forêts urbaines (2%). En revanche, les jardins particuliers et les alignements situés en zone non urbaine (ZNU) présentent un pourcentage équivalent à 0%.

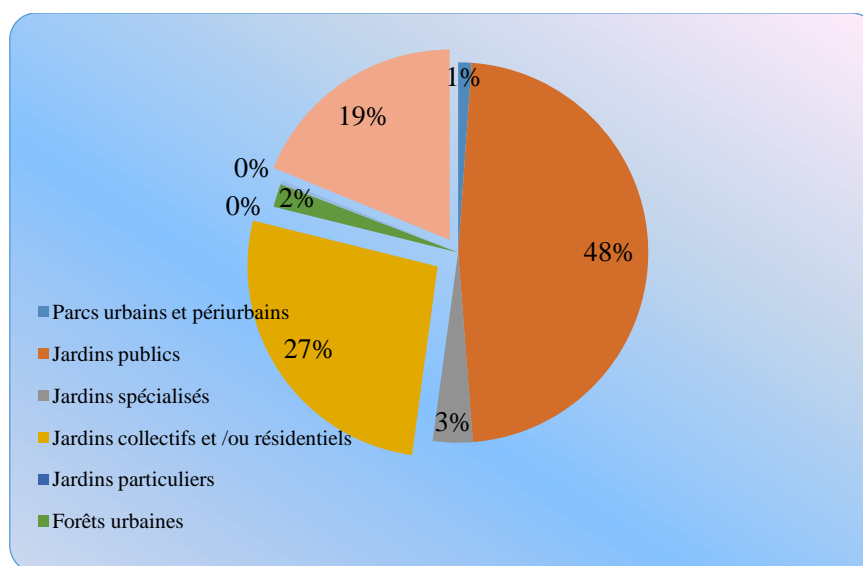


Figure 3.- Typologie des espaces verts en Algérie

La forêt urbaine de Chicago (actuellement magasins d'environ 716 000 tonnes de carbone d'une valeur de 14,8 millions de Dollars) retire environ 25 200 tonnes de carbone par an (équivalent de 521 000 Dollars par an) et environ 888 tonnes de pollution de l'air par an (6,4 millions de Dollars par an). En Chine, la moyenne annuelle de la pollution atmosphérique éliminée est de l'ordre de 10.4 g/m² du couvert forestier. Hors de Pékin, où la pollution atmosphérique est relativement élevée, la moyenne est de 9,3 g/m² [10]. Selon NOWAK (2006), dans les zones urbaines, avec un couvert arboré de 100% (à savoir, forêt contiguë) les améliorations à court terme de la qualité de l'air attribuée à l'élimination de la pollution par 1 hectare d'arbres sont très élevées : (14,9%) SO₂, (14,8%) O₃, (13,6%) PM₁₀, (8,3%) NO₂ et (0,05%) de CO. Aux États-Unis, les forêts urbaines sont estimées pour éliminer environ 711000 tonnes de la pollution de l'air par an [14].

Selon TROTTIER (2008) et NERENBERG (2005), les barrières sonores vivantes, les murs végétaux, les haies brise-vent et les toitures vertes végétalisées peuvent former des structures à la fois esthétiques et écologiques pouvant atténuer le bruit occasionné par la circulation routière, réduire les odeurs et favoriser la pollinisation, via les différentes espèces de plantes qui ombragent les murs, réduisent le réchauffement et atténuent la vitesse du vent, effet de refroidissant, etc [15, 16]. Néanmoins, selon la présente enquête, il ressort que lesdites structures ne figurent pas dans la liste des différentes structures des espaces verts en Algérie.

2.3.- Composition des espaces verts

L'observation de la figure 5 montre une certaine homogénéité dans la composition des espaces verts en Algérie. Une répartition anarchique des espèces a été observée, ni les caractéristiques écologiques de la région, ni l'état des lieux (pollution urbaine) sont respectées. La composition des espaces verts en Algérie est dominée par les plantations d'arbres (Acacia, Palmier, Eucalyptus, Pin, etc.), tributaire de l'aspect ornemental et esthétique. Cependant, leurs applications dans la phytoremédiation dans le milieu urbain restent ponctuelles et encore limitées pour répondre à l'ensemble des besoins.

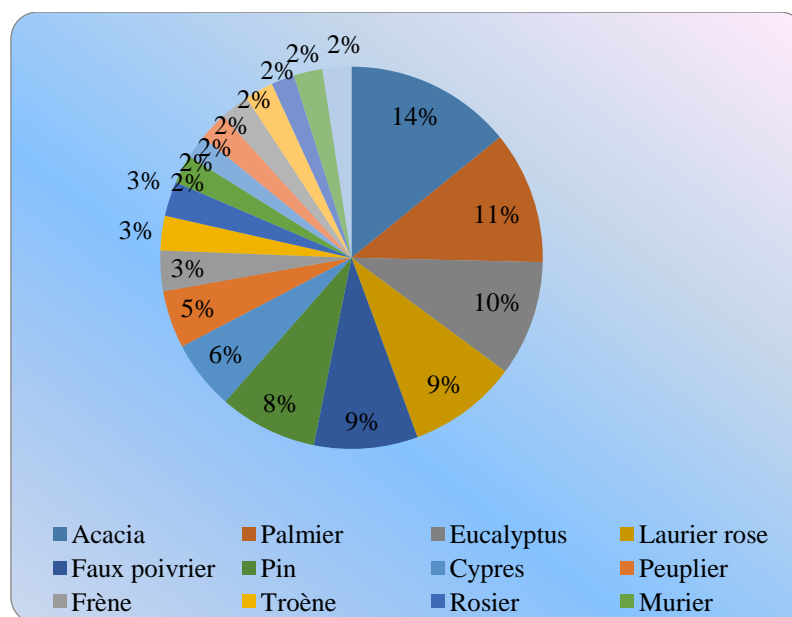


Figure 5.- Composition des espaces verts en Algérie

N.B: Les espèces qui présentent un pourcentage inférieur à 2%, en l'occurrence: Robinier, Troène, Erable, Lantana, Cognassier, Grande Margarita, Ricin, Cactus, Tilleul, Canna, Lilas, Vigne, Blota, Géranium, Jasmin, Genévrier, Mertha, Araucaria, Mille, Poromelanta, Amandier, Saule, Romarin, Lantana, Olivier, Orme, Hibiscus, Saule, Propsis, Arbousier, Bougainvillier, etc., ne sont pas représentées.

Selon l'enquête, l'application des stratégies de phytoremédiation en Algérie est confrontée à plusieurs contraintes:

- Non maîtrise des techniques de phytoremédiation par le personnel impliqué dans le domaine de l'environnement;
- Non valorisation des études scientifiques sur les intérêts des ressources biologiques nationales et leur implication dans le domaine;
- Manque de données scientifiques et statistiques sur la pollution atmosphérique: sources de pollution, nature de pollution, concentrations des polluants, etc. vu le coût d'installation assez onéreux des capteurs physico-chimique et la négligence des biotechnologies de biosurveillance et de phytoremédiation;
- Dégradation des espaces verts et diminution de la superficie par rapport à l'espace bâtis.

Conclusion

La présente étude a permis d'acquérir des informations importantes sur les espaces verts, les applications de la phytoremédiation et de la biosurveillance de la pollution atmosphérique en Algérie, ainsi que les espèces utilisées, les contraintes d'application, et les propositions pour améliorer la situation. En effet, d'après les résultats obtenus, on peut conclure que l'application de la phytoremédiation et la biosurveillance de la pollution atmosphérique à travers l'utilisation des espaces verts connaît un grand retard, restant méconnues chez la majorité des acteurs du domaine et ignorées par la politique du MATE et DEW, où il est remarqué que le terme phytoremédiation et/ou biosurveillance n'ont jamais figuré dans les textes législatifs ou les programmes de recherche. En outre, le ratio national de la superficie des espaces verts estimé à 0.7 m²/hab., est très faible par rapport à normes internationales fixées à 10 m²/hab. . En plus, 47.52% des espaces verts est d'état moyen à dégradé. Concernant la typologie, on a recensé 48% parcs urbains et périurbains, 19% alignements routiers, 2% forêts urbains, etc. Les espèces dominantes sont Acacia 14%, Palmier 11%, Eucalyptus 10%, Laurier 9%, etc.. En général, les plantes qui constituent les espaces verts restent tributaires de l'aspect esthétique; ornemental; loisirs, et qui ne répond pas aux caractéristiques écologiques de chaque région et aux besoins de dépollution de l'environnement.

Références bibliographiques

- [1].- Singh D., Gupta R., Tiwari A., 2011.- Phytoremédiation of lead from wastewater using aquatic plants. *International Journal of Biomedical Research*, 124 2(1), 1–11.
- [2].- I.N.S.P., 2007.- Bilan des données de pollution par les poussières (PM₁₀) au niveau d'Alger de 2001 à 2006. Institut National de Santé Publique, Unité Santé-Environnement, Alger, 27 p.
- [3].- Rahal F., Benharat N., Rahal D D., Baba Hamed F Z., 2009.- Influence du trafic routier sur la pollution atmosphérique dans la ville d'Oran. Colloque international

- Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie: 153-156.
- [4].- Maatoug M. H., Hammou M. A. I. T., Sarmoum M., 2011.- Intérêt de la biosurveillance végétale de la pollution atmosphérique pour les pays en émergence. *Pollution atmosphérique*, numéro spécial: 71–76.
- [5].- Benhassine T. N., 2010.- La pratique de la récréation dans les espaces verts interurbains à Constantine, pour une stratégie verte dans un urbanisme de santé et de bien-être. Thèse de doctorat Es-science en urbanisme, Université Mentouri de Constantine, 150 P.
- [6].- Cunningham S D., Berti W R., Huang J W., 1995.- Phytoremédiation of contaminated soils. *Trends Biotechnology*, 13: 393-397.
- [7].- Pilon-Smits E., 2005. Phytoremédiation. *Annual review of plant biology*, 56: 15-39.
- [8].- Philippe A., Debiais N., Gerber F., Lachat B., 2008.- Le génie végétal. La documentation française, Paris, 43 p.
- [9].- Lahouel H., 2011.- L'espace vert urbain entre l'imaginaire et la réalité : Cas de Batna (Algérie). Mémoire de magister en architecture, Université de Batna, Algérie, 211p.
- [10].- Usda Forest Service, 2010.- Assessing urban forest effects and values, Philadelphia's urban forest. Resource bulletin NRS-37, Forest service, Northern research station, 1-23.
- [11].- J.O.R.A., 2007.- Loi n° 2007-06 du 25 Rabie Ethani 1428 correspondant au 13 mai 2007, relative à la gestion, à la protection et au développement des espaces verts, Journal Officiel de la République Algérienne.
- [12].- Benhassine T. N., 1999.- La pratique des squares à Constantine. Mémoire de magister en urbanisme, Université Mentouri, Constantine, 124 p.
- [13].- Maizi N., Alioua A., Tahar A., 2012.- Jumelage des bio-indicateurs et d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air pour la détection de la pollution par le SO₂ dans la région de Annaba (Algérie). *Biotechnology agronomy society and environnement*, 16: 149-58.
- [14].- Nowak D J., 2006.- Institutionalizing urban forestry as a biotechnology to improve environmental quality. *Urban forestry and urban greening*, 5: 93-100.
- [15].- Trottier A., 2008.- Toitures végétales: implantation de toits verts en milieu institutionnel. Etude de cas: UQAM. Montréal: Grip-UQAM/Verdis-toit, Centre d'écologie urbaine de Montréal, 80 p.
- [16].- Nerenberg J., 2005.- Projet pilote de toit vert. Centre d'écologie urbaine, Montréal, 60 p.

**COMPARATIVE STUDY OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY AND
PHENOLS AND FLAVONOIDS CONTENTS OF THE ETHYL
ACETATE EXTRACTS FROM TWO SAHARAN CHENOPODACEA:
Haloxylon scoparium AND *Traganum nudatum***

ALLAOUI Messaouda^{1,2}, CHERITI Abdelkrim^{3*}, CHEBOUAT Elyacout¹,
DADAMOUSA Belkhir^{1,4} and GHERRAF Nouredine⁵

⁽¹⁾*Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides
Université de Ouargla, Algérie*

⁽²⁾*Process Engineering Laboratory, Université of Bechar, Algeria*

⁽³⁾*Phytochemistry and Organic Synthesis Laboratory, University of Bechar, Algeria*

⁽⁴⁾*University of Ghardai, Ghardai, Algeria*

⁽⁵⁾*Process Engineering Department, University of Oum Elbouaghi, Algeria*

Email: Karimcheriti@yahoo.com

Abstract.- *Haloxylon scoparium and Traganum nudatum are two medicinal plants widely used in Algerian traditional medicine. In the present work, a comparative study was conducted on the Antioxydant evaluation and the quantification of total phenols and flavonoids contents (TPC and TFC) in the ethyl acetate extracts from the two species. The quantitative estimation showed that the extracts are rich in these compounds. Evaluation of antioxidant activity performed by DPPH free radical trapping, indicated that the extracts present a good antioxidant efficiency. The result obtained showed that the highest antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content were exhibited by the extract of ethyl acetate of Haloxylon scoparium compared to the Traganum nudatum ethyl acetate extract.*

Key words: *Haloxylon scoparium, Traganum nudatum, antioxidant activity, phenolic compounds, flavonoids.*

**ETUDE COMPARATIVE DE L'ACTIVITE ANTIOXYDANTE ET DU TAUX DES
PHENOLS ET DES FLAVONOÏDES DES EXTRAITS D'ACETATE D'ETHYLE
DE DEUX CHENOPODIACEAE DU SAHARA:
Haloxylon scoparium AND *Traganum nudatum***

Résumé.- *Haloxylon scoparium et Traganum nudatum deux plantes médicinales, largement utilisée en médecine traditionnelle algérienne. Dans le présent travail, il est présenté une étude comparative sur l'activité antioxydante et la quantification des phénols et des flavonoïdes totaux dans les extraits acétate d'éthyle des deux plantes. L'estimation quantitative a montré que les extraits sont riches en ces composés. L'évaluation du pouvoir antioxydant réalisée par le piégeage du radical libre DPPH a indiqué que les extraits ont montré une bonne efficacité antioxydante. Les résultats obtenus montrent que par l'extrait d'acétate d'éthyle de Haloxylon scoparium présente une plus forte activité antioxydante, et des taux élevés en composés phénoliques et en flavonoïdes comparé à l'extrait d'acétate d'éthyle de Traganum nudatum.*

Mots clés: *Haloxylon scoparium, Traganum nudatum, activité antioxydante, composés phénoliques, flavonoïdes.*

Introduction

An antioxidant is a molecule that inhibits the oxidation of other molecules. Oxidation reactions can produce free radicals. In turn, these radicals can start chain reactions. Generation of free radicals or reactive oxygen species (ROS) during metabolism and other activities beyond the antioxidant capacity of a biological system gives rise to oxidative stress. Oxidative stress plays a role in heart diseases, neurodegenerative diseases, cancer and in the aging process. Antioxidants are vital substances which possess the ability to protect the body from damage caused by free radical induced oxidative stress [1,2,3,4].

Natural antioxidants or phytochemical antioxidants are the secondary metabolites of plants. Carotenoids, flavonoids, cinnamic acids, benzoic acids, folic acid, ascorbic acid, tocopherols, tocotrienols etc [5].

Several methods are used to evaluate, in vitro and in vivo antioxidant activity by trapping different radicals such as ROO peroxides by the methods ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) and TRAP (Total Radical-Trapping Antioxidant Parameter); ferric ions by the FRAP method (Ferric ion Reducing Antioxidant Parameter); or the radical ABTS[•] (ammonium salt of the acid 2,2'-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) and the method using free radical DPPH[•] (diphenyl-picrylhydrazyl) [6].

The objectives of the present study were compared the antioxidant activity, total phenolic content and total flavonoid content of the ethyl acetate extracts from two chenopodiceae : *Haloxylon scoparium* and *Traganum nudatum*

Haloxylon scoparium known locally as 'Remth' is used in local folk medicine to cure stomachache, scorpion bites, wounds infertility and bone pain. In Tunisia and Morocco it is used to treat eye disorders. Aqueous extracts of this plant have also been reported to show anti-cancer, antiplasmodial and larvicidal activity. Infusion and powder infusion of aerial part of *H. scoparium* are sometimes used for their antidiabetic effects [7,8,9,10].

Traganum nudatum known locally as 'Damran' is used in traditional medicine to cure some diseases such as Diarrhea, wounds, rheumatism, dermatosis , and others [11,12].

1.- Materials and Methods

1.1.- Preparation of Extract

The aerial parts of *H. scoparium* were collected from Ghardaia (Barienne region) in November 2012. The aerial parts of *T. nudatum* were collected from Touggourt (gamaa region) in April 2013. The plants were identified by Pr. Abdelmadjid Chehma from Ouargla University and voucher specimens (MA4 and MA5), were deposited at the Chemistry Department, University of Ouargla. The plant materials were dried under shade and then ground and stored in closed container away from light and moisture.

The extracts were prepared by soaking 500 g of the plant powder in a solution of EtOH/H₂O [70/30] for 24H. The procedure was repeated three times and the filtrates were combined before being evaporated under reduced pressure. The resulting extracts were diluted with distilled water and left for a whole night. The filtrates were then subjected to

extraction by various solvents with increasing polarity (petroleum ether, dichloromethane, ethyl acetate, and butanol). The organic phases were separated and evaporated.

1.2.- Determination of total Phenolic

Total phenolic compound contents were determined by the Folin-Ciocalteu method (EBRAHIMZADED *et al.*, 2008a, b; NABAVI *et al.*, 2008). The extract samples (0.1 ml of different dilutions) were mixed with Folin Ciocalteu reagent (1.5 ml, 1:10 diluted with distilled water) for 5 min and aqueous Na₂CO₃ (1.5 ml, 6%) were then added. The mixture was allowed to stand for 90 min and the phenols were determined by colorimetry at 725 nm. The standard curve was prepared (0.03-0.3 mg/ ml) solutions of gallic acid in methanol. The total content of phenolic compounds in the extract in gallic acid equivalents (GAE) was calculated by the following formula:

$$T = \frac{C.V}{M}$$

Where, T = total content of phenolic compounds, milligram per gram extract, in GAE; C = the concentration of gallic acid established from the calibration curve, milligram per milliliter; V = the volume of extract, milliliter; M = the weight of extract, Gram [1,4,13,14,15,16].

1.3.- Determination of total Flavonoids

Estimation of the total flavonoids in the plant extracts was carried out using the method of ORDONEZ *et al.*. To 1.5 ml of sample, 1.5 ml of 2% AlCl₃ methanol solution was added. After one hour at room temperature, the absorbance was measured at 420 nm. A yellow color indicated the presence of flavonoids. Extract samples were evaluated at a final concentration of 0.1 mg/ml. Total flavonoid content was calculated as quercetin (mg/g) using the following equation based on the calibration curve: $y = 30,493x + 0,0914$, $R^2 = 0,999$, where x was the absorbance and was the quercetin equivalent (mg/g) [17,18,19,20].

1.4.- DPPH radical scavenging activity method:

Quantitative measurement of radical scavenging properties was carried out in a universal bottle. A solution of 0.4 mM DPPH in methanol was prepared and 1.5 ml of this solution was mixed with 1.5 ml of extract in methanol containing 0.05 mg of extract. The reaction mixture was vortexed thoroughly and left in the dark at room temperature for 30 min.. Different known antioxidants, Ascorbic acid was used as standard in (0.04-0.4 mg/ml) solution, and butylated hydroxytoluene (BHT, Sigma) were used for comparison or as a positive control. All samples were diluted in solution tampon TRIS-HCl (100mM, Ph = 7,4). Discoloration was measured at 517 nm after incubation for 30 min. Measurements were taken at least in triplicate. DPPH radical's concentration was calculated using the following equation:

$$\text{Percentage (\%)} \text{ of DPPH radical scavenging} = \left(1 - \frac{A_s}{A_c}\right) \times 100$$

Where; AC =absorbance of control and AS =absorbance of sample solution, IC₅₀ value is the concentration of the sample required to scavenge 50% DPPH free radical

[21,22,23,24,25].

1.5.- Reducing power assay

The reducing power of different extracts or fractions were measured according the method used by Hinneburg *et al.* (2006). One milliliter of extracts or fractions with different concentrations was mixed with 2.5 ml of phosphate buffer (200 mM; pH 6.6) and 2.5ml of potassium ferricyanide 1% and incubated at 50°C for 20 min. The mixture was added with 2.5 ml of 10% TCA and centrifuged at 3000 rpm for 10 min. A-2.5 ml of supernatant was mixed with 2.5 ml of distilled water and 0.5 ml of FeCl₃ (0.1%) and the absorbance was measured spectrophotometrically at 700 nm. Increase in absorbance of the reaction mixture was interpreted as increase in reducing activity of the extract and the results were compared with ascorbic acid which was used as a positive control. The percentage of reduction of the sample as compared to standard (ascorbic acid) was calculated using the formula:

$$\text{Percentage (\%)} \text{ of reduction power} = \left[1 - \left(1 - \frac{A_s}{A_c} \right) \right] \times 100$$

AC = absorbance of standard at maximum concentration tested and AS = absorbance of sample [4,26,27,28,29].

2.-Results and discussion

2.1.- Determination of total phenolic contents

Total phenol compounds, as determined by folin Ciocalteu method, are reported as gallic acid equivalents by reference to standard curve ($y = 4,0914x + 0,0719$, $R^2 = 0,995$). The total phenolic contents were higher in ethyl acetate of *Haloxylon scoparium* than of ethyl acetate extract of *Traganum nudatum* that is in table I.

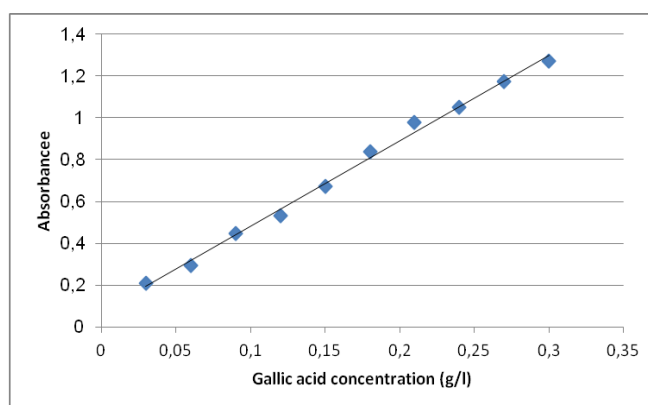


Figure 1.- Calibration curve of standard gallic acid for determination of total phenolics

The total flavonoid content was expressed as quercetin equivalents (RE) in milligram per gram dry material of extracts and fractions. The calibration curve of quercetin to determine flavonoid content was shown in figure 2 ($y = 30,493x + 0,0914$, $R^2 = 0,999$). Total flavonoid content of ethyl acetate extracts was compiled in table I. The result showed that ethyl acetate of *Haloxylon scoparium* had the highest flavonoid content compared than that of ethyl acetate of *Traganum nudatum*.

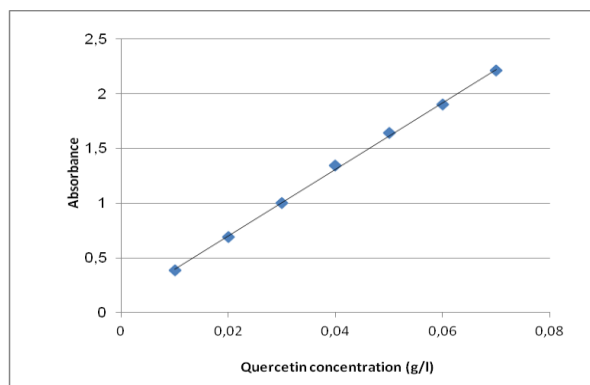
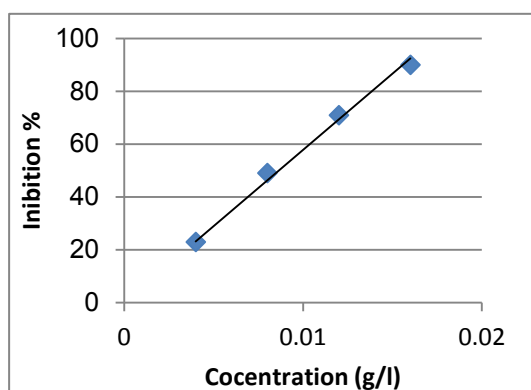
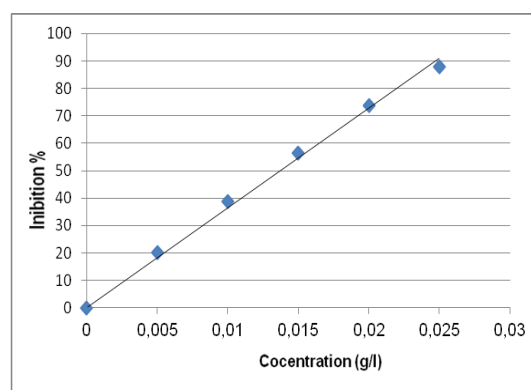


Figure 2.- Calibration curve of standard Quercetin for determination of total flavonoid content

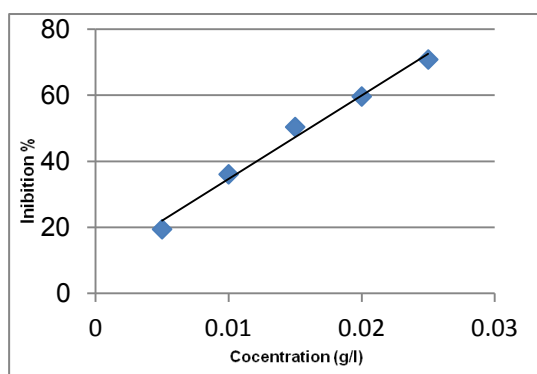
The 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) method was used to evaluate the free radical scavenging ability of ethyl acetate from two extracts. The percent inhibition of the DPPH radical as a function of the antioxidant concentrations is shown in figure 3.



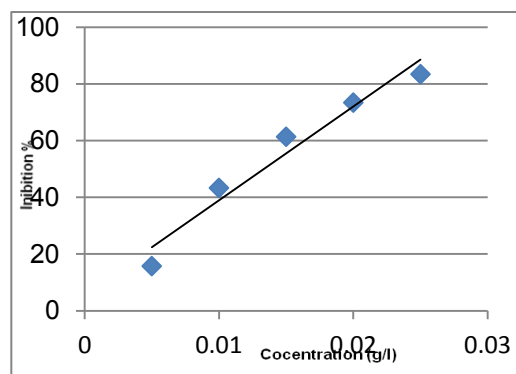
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 3.- (a) Antioxidant activity of DPPH, (b) Antioxidant activity of BHT (c) Antioxidant activity of Ethyl Acetate of *Haloxylon scoparium* and (d) Antioxidant activity of Ethyl Acetate of *Traganum nudatum*

The parameter used to measure the radical scavenging activity of extracts evaluated is IC₅₀ value, defined as the concentration of antioxidant required for 50% scavenging of DPPH radicals in this specified time period. The smaller IC₅₀ value explained the higher antioxidant activity of the plant extract (MAISUTHISAKU *et al.*, 2007). The IC₅₀ value of extracts was shown in table I. It is found that of ethyl acetate extract of *Haloxylon scoparium* revealed the higher activity compared than that of ethyl acetate extract of *Traganum nudatum*

Table I .- Radical scavenging activity and total phenol and flavonoids contents in Ethyl Acetate of *Haloxylon scoparium* and in Ethyl Acetate of *Traganum nudatum*

(* mg gallic acid equivalent/g of extract powder, ** mg quercetin equivalent/g of extract powder, ***mg/ ml. The IC50 values for ascorbic acid and BHA were 0.00864 and 0.01372 mg /ml respectively

Sample	Phenol content *	Flavonoids content **	DPPH IC50***(mg/ml)
Ethyl Acetate of <i>Haloxylon scoparium</i>	397.7426	82.8355	0.01102
Ethyl Acetate of <i>Traganum nudatum</i>	311.051	44.5284	0.01315

2.2.- Reducing power assay

The reducing power (RP) of the extracts and ethyl acetate fractions was determined by direct electron donation in the reduction of ferri cyanide [Fe(CN)₆]⁻³ to ferro cyanide [Fe(CN)₆]⁻⁴. The product was visualized by addition of free Fe⁺³ ions after the reduction reaction, by forming the intense Prussian blue color complex, (Fe⁺³)₄[Fe⁺² (CN)₆]⁻³, and quantified by absorbance measurement at 700 nm (RIBERIO *et al.*, 2008). The reductive capabilities of the two extracts compared to ascorbic acid shows in figure 4.

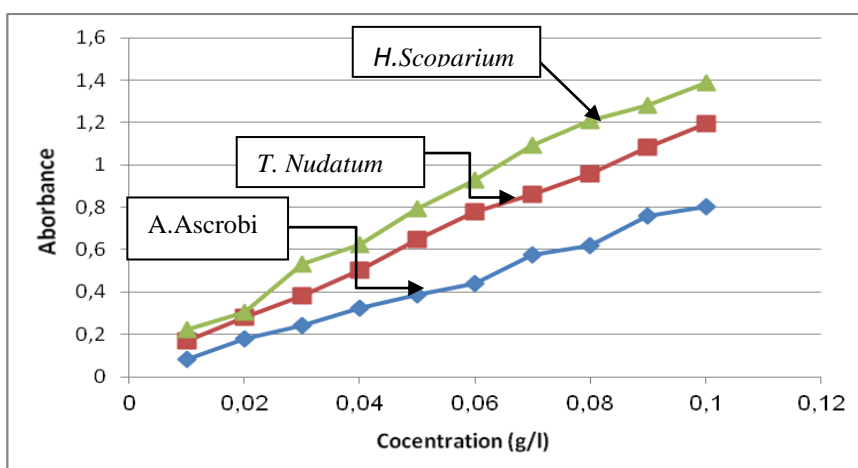


Figure 4.- Curve of reducing power assay

The Curves described in figure 4 show Increased absorbance with the increased concentration of extracts as standard antioxidants, The extract could reduce the most Fe⁺³ ions, which had a lesser reductive activity than the standard of ascorbic acid. Increased

absorbance of the reaction indicated increased reducing power.

The reducing power of ethyl acetate extracts was expressed as mg ascorbic acid equivalent per gram extract and its results were shown in table II. So the reducing power of ethyl acetate extract of *Haloxylon scoparium* revealed more than of ethyl acetate extract of *Traganum nudatum*, which was in agreement with the total phenolics content and total flavonoid content.

Table II.- The reducing power of ethyl acetate extract of *Haloxylon scoparium* and of *Traganum nudatum*

Sample	Reducing power (μg ascorbic acid equivalent per gram extract)
Ethyl Acetate of <i>Haloxylon scoparium</i>	172.1525
Ethyl Acetate of <i>Traganum nudatum</i>	140.2585

Conclusion

The results of this study showed that a higher antioxidant activity, total phenolic content and total flavonoid content were exhibited by the ethyl acetate extract of *Haloxylon scoparium*. The phytochemical study aiming to separate the active principles and to elucidate the mechanism of action of this extract is the subject of ongoing investigation in our group.

References

- [1].- Patil S. M., Kadam V. J. and Ghosh R., 2009.- In Vitro Antioxidant Activity of Methanolic Extract of Stem Bark of *Gmelina Arborea Roxb.* (Verbenaceae), International Journal of PharmTech Research, 1(4):1480-1484
- [2] .- Vinay R. P., Prakash R. P. and Sushil S. K., 2010.- Antioxidant Activity of Some Selected Medicinal Plants in Western Region of India, Advances in Biological Research, 4 (1): 23-26
- [3].- Kai M., Klaus H. V., Sebastian L., Ralf H., Andreas R. and Ulf-Peter H., 2007.- Determination of DPPH Radical Oxidation Caused by Methanolic Extracts of Some Microalgal Species by Linear Regression Analysis of Spectrophotometric Measurements Sensors, 2080-2095.
- [4].- Rohman A., Riyanto S., Yuniarti N., Saputra W. R., Utami R. and Mulatsih W., 2010.- Antioxidant Activity, Total Phenolic, and Total Flavaonoid of Extracts and Fractions of Red Fruit (*Pandanus conoideus Lam*), International Food Research Journal, 17: 97-106.
- [5].- Praveen K. , Ramamoorth Y., Aawang B., 2007.-, Antioxidant Activity, Total Phenolic and Flavonoid Content of *Morinda Citrifolia* Fruit Extracts from Various. Extraction Processes; Journal of Engineering Science and Technology , 2(1): 70-80.

- [6].- Cristina P., Ilonka S., Bartek T., 2009.- Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*, 4: 25-39.
- [7] .- Boukef M. K., 1987.-, *Les Plantes dans la Médecine Traditionnelle Tunisienne*. ACCT AARIS: 82-83.
- [8].- Bellakhdar J., 1997.- *La Pharmacopée Marocaine Traditionnelle*. Ibis Press, Paris, 250p.
- [9].- Ben Salah H., Jarraya R., Martin M. T., Veitch N. C., Grayer R. J., Simmonds M. S. J. and Damak M., 2002.- Flavonol Triglycosides from the Leaves of *Hammda scoparia* (*POMEL*). *Chem. Pharm. Bull.*, 50(9): 1268-1270.
- [10].- Bnouham M., Mekhfi H., Legssyer A., Ziyat A., 2002.-Ethnopharmacology Forum Medicinal plants used in the treatment of diabetes in Morocco. *J Diabetes and Metabolism*, 10 :33-50.
- [11].- Chehma. A. M., 2006.- *Catalogue des Plantes Spontanées du Sahara Septentrional Algérien*. Dar Elhouda Ain M'lila, Algérie, 140p.
- [12] .- Ould Elhadj M. D., Hadj-Mahammed M., Zabeirou H., 2003.- Place des Plantes Spontanées dans la Médecine Traditionnelle de la Région d'Ouargla (Sahara Septentrional Est). *Courrier du Savoie*, 3: 47-51.
- [13].- Amezouar F., Badri W., Hsaine M., Bourhim N. and Fougrach H., 2012.- Chemical Composition, Antioxidant and Antibacterial Activities of Leaves Essential Oil and Ethanolic Extract of Moroccan *Warionia saharae Benth. & Coss*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 02 (05): 212-217.
- [14].- God'swill N. A., Kayode O. O., Adewale A. O. and Olabisi A-S, 2010.- Comparative Antioxidant, Phytochemical and Proximate Analysis of Aqueous and Methanolic Extracts of *Vernonia amygdalina* and *Talinum triangulare* Pakistan. *Journal of Nutrition*, 9 (3):259-264.
- [15].- Choong C. T., Van-Den T., Roger F. McFeeters, Roger L. T., Kenneth V. P., Craig Yencho G., 2007.- Antioxidant activities, phenolic and b-carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours, *Food Chemistry*, 103 :829–838.
- [16].- Kriengsak T., Unaroj B., Kevin C., Cisneros-Zevallos L., David H. B. K. T., Unaroj B., Kevin C, Luis C-Z, David H. B., 2006.- Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19 : 669–675.
- [17].- Benahmed-Bouhafoun A., Djied S., Kaid-Harche M., 2013.- Phytochemical Composition and in Vitro Antioxidant Activity of *Chamaerops Humilis L.* Extracts, *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5, (3): 741-744.

- [18].- Bouchouka E. M., Djilani A., Bekkouche A., 2012.- Antibacterial and Antioxidant Activities of Three Endemic Plants from Algerian Sahara. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* , 11(1) : 61-65.
- [19]- Saikia L. R. and S. Upadhyaya, 2011.- Antioxidant Activity, Phenol and Flavonoid Content of some Less Known Medicinal Plants of Assam. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 2(2):383-388.
- [20].- Adeolu A. A., Florence O J; Anthony J A. and Patrick J M; 2008.- Antioxidant activities and phenolic contents of the methanol extracts of the stems of *Acokanthera oppositifolia* and *Adenia gummifera*. *BMC Complementary and Alternative Medicine* , 1-7.
- [21].- Nonita P. Peteros and Mylene M. Uy, 2010.- Antioxidant and cytotoxic activities and phytochemical screening of four Philippine medicinal plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(5): 407-414.
- [22].- Farhana A. R., Laizuman N., Mahmuda H., Monirul Islam Md., 2009.- *European Antibacterial, Cytotoxic and Antioxidant Activity of Crude Extract of Marsilea Quadrifolia*. *Journal of Scientific Research*, 33 (1):123-129
- [23].- Zuraini Z., Rais A., Yoga Latha L., Sasidharan S., Xavier R., 2008.- Antioxidant Activity of *Coleus Blumei*, *Orthosiphon Stamineus*, *Ocimum basilicum* and *Mentha arvensis* from Lamiaceae Family. *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 2 (1): 93-95.
- [24].- Rafael C. Dutra, Magda N. Leite and Nádia R. Barbosa, 2008.- Quantification of Phenolic Constituents and Antioxidant Activity of *Pterodon emarginatus* Vogel Seeds, *International Journal of Molecular Sciences* 9: 606-614.
- [25].- Yalla Reddy K., Saravana Kumar A., Mohana Lakshmi S., Surendar A., 2010.- Antioxidant Properties of Methanolic Extract of *Oxalis Corniculata*, *International Journal of Phytopharmacology*, 1: 43-46.
- [26] .- Quang-Vinh N. and Jong-Bang E., 2011.- , Antioxidant activity of solvent extracts from Vietnamese medicinal plants, *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(13): 2798-2811
- [27] .- Jing-Chung C., Jan-Ying Y., Pei-Chun C. and Cheng-Kuang H., 2007.- Phenolic content and DPPH radical scavenging activity of yam-containing surimi gels influenced by salt and heating, J. C. Chen et al. / *Asian Journal of Health and Information Sciences*, 2:1-11.
- [28] .- Badmus R., Jelili A., Odunola, Oyeronke A., Obuotor, Efere M. and Oyedapo, Oyeboade O., 2010.- Phytochemicals and in vitro antioxidant potentials of defatted methanolic extract of *Holarrhena floribunda* leaves, *African Journal of Biotechnology*, 9(3) :340-346.
- [29] .- Saeedeh A. D., Asna U. U. , 2007.- Antioxidant properties of various solvent of mulberry (*Morus indica L.*) leaves. *Food Chemistry*, 102:1233–1240.

EVALUATION DE L'ACTIVITÉ ANTI-INFLAMMATOIRE D'EXTRAITS AQUEUX DE FEUILLES *Limoniastrum feei* (PLUMBAGINACEA)

RAHMANI Smahia¹, BELBOUKHARI Nasser¹, SEKKOUM Khaled¹, CHERITI Abdelkrim²

⁽¹⁾ *Laboratoire des Molécules Bioactives et Séparation Chirale (LMBSC)*
Université de Bechar, Béchchar, Algérie

⁽²⁾ *Laboratoire de Phytochimie et Synthèse Organique (LPSO)*
Université de Bechar, Béchchar, Algérie

E-mail: belboukhari.nasser@yahoo.com

Résumé.- L'objectif du travail était d'étudier l'effet anti-inflammatoire de l'extrait aqueux des feuilles de *Limoniastrum feei* afin de valoriser son utilisation en médecine traditionnelle. La dose de 25mg /kg de l'extrait aqueux des feuilles réduit significativement l'œdème de la patte de la souris induit par le formol par une diminution de l'inflammation par rapport au diclofénac, de (85% et 95%) respectivement.

Mots clés: *Limoniastrum feei*, anti-inflammatoire, œdème

EVALUATE THE ANTI INFLAMMATORY OF THE OF THE AQUEOUS EXTRACT FROM LEAVES OF *Limoniastrum feei* (PLUMBAGINACEA)

Abstract.- The objective of the study was to evaluate the anti-inflammatory of the aqueous extract of the leaves of *Limoniastrum feei* in order to enhance its use in traditional medicine. The dose of 25mg / kg of the aqueous leaves extract significantly reduced the paw edema of mouse induced by formalin in a reduction of inflammation relative to diclofenac, of (85% and 95%) respectively.

Key words: *Limoniastrum feei*, anti- inflammatoir, edema

Introduction

L'inflammation est une réaction de défense de l'organisme à diverses agressions qui peuvent être d'origine physique, chimique, biologique (réponse immunitaire) ou infectieuse. Le traitement actuel de l'inflammation fait appel aux anti-inflammatoires stéroïdiens (glucocorticoïdes) et non stéroïdiens comme l'aspirine. Ces molécules bien qu'étant efficaces présentent le plus souvent des effets indésirables qui peuvent gêner leur utilisation au long cours [1].

En Algérie la phytothérapie est utilisée depuis toujours dans le secteur de la médecine traditionnelle. Aujourd'hui les plantes jouent encore un rôle très important dans les traditions thérapeutiques et la vie des habitants, mais les règles de leur utilisation manquent parfois de rigueur et ne tiennent pas compte des nouvelles exigences de la thérapeutique moderne. Ces dernières années, beaucoup de recherches se sont orientés vers la valorisation de la médecine traditionnelle en vue de

vérifier la sûreté et l'efficacité des plantes utilisées et d'établir des règles scientifiques pour l'usage de ces plantes. Dans ce contexte s'inscrit le présent travail de recherche dont l'objectif essentiel consiste à vérifier l'activité anti-inflammatoire de l'extrait aqueux des feuilles de *L. feei*.

L. feei appartient à la famille des Plumbaginacées. Il s'agit d'une espèce dite saharo-arabique stricte, qui croît dans tout le Sahara septentrional algérien et marocain [2].

Différentes parties de *L. feei* sont employées en médecine populaire en raison de ses multiples effets thérapeutiques. Il est principalement utilisé contre les infections respiratoires et intestinales, les douleurs gastriques. Elle est aussi utilisée comme antibactérien [3].

Pour étudier l'activité de la plante après une inflammation aigue, un œdème local provoqué par le formol dans la patte de souris [4].

1.- Matériels et méthodes

1.1.- Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de feuilles de *L. feei* dont l'identification a été réalisée au Laboratoire de Phytochimie et Synthèse Organique de l'Université Tahri Mohammed de Béchar. L'extrait aqueux est préparé par extraction soxhlet 25 grammes de poudre dans 150 ml d'eau distillée pendant 6 heures. Après la décantation le surnageant est filtré et le filtrat est évaporé sous vide dans un évaporateur rotatif (Buchi) . Le filtrat a été lyophilisé au lyophilisateur type (Christ Alpha 1-2 LD plus) . Le rendement de l'extrait aqueux est de 45,4 % . Cet extrait sera rendu soluble dans l'eau physiologique .

1.2.- Matériel animal

Les expériences ont été réalisées chez des souris de souche Swiss albinos, de poids compris entre 25g et 43 g. Les souris ont été réparties au hasard en 3 lots homogènes de 3 souris.

1.3.- Réactifs

Solution de formol à 1% dans du sérum physiologique, extraits aqueux de feuilles de *L. feei*, acide 2-[2-(2,6-dichlorophenyl) amnophényl] éthanoïque (diclofenac), comme anti-inflammatoire de référence.

1.4.- Appareillage

Pléthysmomètre (LE 7500 pléthysmomètre, Barcelona SPAIN) pour mesurer le volume de la patte de souris.

1.5.- Protocole expérimentale

1.5.1.- Evaluation de l'activité anti-inflammatoire

L'œdème est provoqué par l'injection dans l'aponévrose de la plante du pied d'une solution de formol à 1% [5]. Selon laquelle l'inflammation est induite par injection de formole au niveau de la voûte plantaire de la patte droite du souris. L'œdème causé par cet agent phlogogène sera traduit en volume et mesuré par le Pléthysmomètre ce qui permet de suivre l'évolution du processus inflammatoire. Pour chaque essai de l'activité anti-inflammatoire, trois lots de trois souris ont été utilisés. Ces souris ont été mises à jeun, 17 heures avant l'essai.

- Lot témoin : Les souris de ce lot reçoivent la solution véhicule (eau physiologique) par voie intra-péritonéale (ip), 30 mn avant l'injection de formole (25 ml/kg; 1%) dans la voûte plantaire de la patte droite du souris.

- Lot référence : Les souris de ce lot ont été traités par voie (ip) avec un anti-inflammatoire utilisé en thérapeutique, 30 mn avant l'injection de la formole. L'administration de l'anti-inflammatoire se fait à raison de 25mg/kg .

- Lot essai : L'extrait à tester est administré aux souris par voie (ip) à raison de 25 mg/kg ; 30 mn avant l'injection de formol.

Le suivi de l'évolution de l'œdème se fait par mesure des deux pattes : une patte traitée P(t) et une patte non traitée P(nt), et ceci à 0. 30, 60, 120, 180 mn après injection du formol.

L'activité anti-inflammatoire des produits testés et son évolution ont été estimées par la détermination des pourcentages moyens d'inhibition de l'œdème, calculés suivant la formule.

$$\% \text{ d'inhibition} = \frac{(V_t - V_0)_{\text{témoin}} - (V_t - V_0)_{\text{traité}}}{(V_t - V_0)_{\text{témoin}}} \times 100$$

- V_0 représente le volume de la patte à $t=0$ (avant injection du formol),
- V_t représente le volume de la patte à un temps t quelconque.

1.6.- Analyse statistique

Les résultats ont été analysés par le test t de Student. Les valeurs de $p < 0,05$ a été considérées comme significatives.

2.- Résultats et discussion

2.3.3.- Activité anti-inflammatoire

Criblage de l'activité antiœdémateuse

L'étude a été conçue pour évaluer l'activité anti-inflammatoire des feuilles de la plante *L. feei*, Les expériences ont été réalisées sur le modèle de l'œdème de la patte de souris induit par le formol à 1%. Il est

testé sur ce modèle les extraits aqueux, à la dose de 25 mg/kg en administration par intra-péritonéale. Les résultats obtenus ont été comparés à ceux d'un médicament le diclofénac qui est un anti-inflammatoires non stéroïdiens et à ceux du contrôle physiologique. Après l'injection de l'eau physiologique, le formol entraîne une augmentation significative du volume de la patte de souris de $0,11\pm 0,005$ de $0,13\pm 0,01$ et de $0,136\pm 0,01$ et de $0,14\pm 0,02$ respectivement à 30 mn, 60 mn et 120 mn et 180mn.

L'injection de diclofénac à la dose de 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ par voie i-p prévient de façon significative l'augmentation du volume de la patte de souris. Elle est de $0,09\pm 0,02\%$, de $0,08\pm 0,01\%$ et de $0,076\pm 0,005$ et $0,073\pm 0,005$ à 1 et 3 h après l'injection du formol. En ce qui concerne les extraits aqueux, ont été faits pour empêcher l'augmentation du volume de la patte de souris. Elle est de $0,09\pm 0,011$, de $0,07\pm 0,010$, et de $0,06\pm 0,01$, pendant à 1.30 et 3 h après l'injection de formol. Ces résultats sont significativement différents de ceux du contrôle physiologique. (fig. 1).

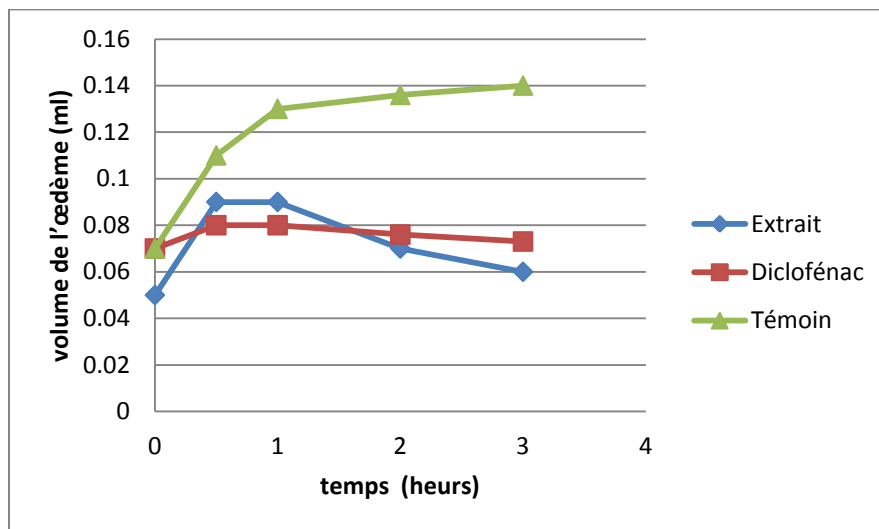


Figure 1.- Evolution de l'œdème ($m \pm E.T$) en présence d'un prétraitement par voie intra-péritonéale, après l'injection de le formol (0,025 ml; 1%), Chaque point représente une moyenne de 3 souris

L'évaluation du pourcentage d'inhibition montre que l'extrait aqueux de *L. feei* possède une activité anti-inflammatoire. A la deuxième heure l'extrait aqueux à la dose de 25 mg/kg montre respectivement un pourcentage d'inhibition de $20\pm 0,007\%$, et de $33.33\pm 0,01\%$, et $69\pm 0,03\%$ et de $85\pm 0,04\%$. Cette inhibition de l'œdème a été moins efficace que ceux obtenus avec diclofénac au cours de la même période (fig. 2). En dépit de cela, nous pouvons dire que L'extrait aqueux de feuilles de *L. feei*, présente une activité anti-inflammatoire.

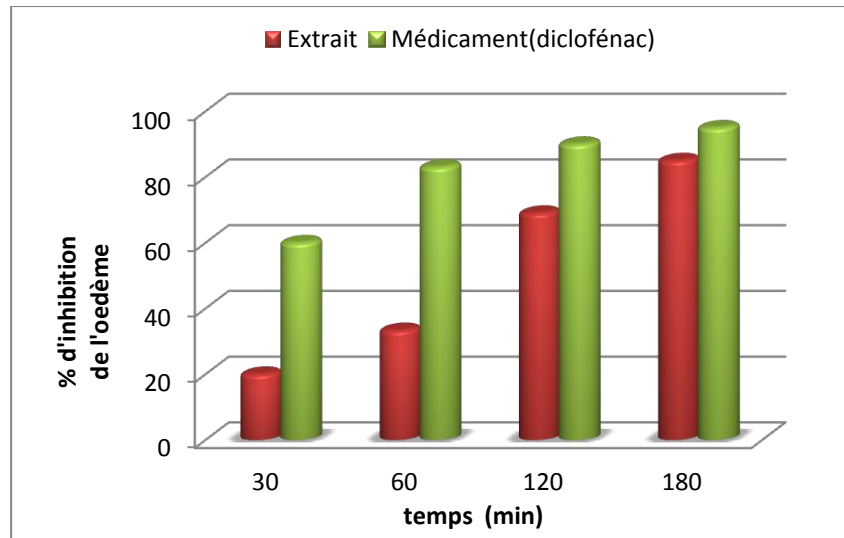


Figure 2.- Pourcentage moyen d'inhibition de l'œdème des pattes droites des souris, induit après les traitements lors du test de l'activité antiœdémateuse de l'extrait aqueux des feuilles de *L-fee*

Les études phytochimiques ont permis de caractériser dans les feuilles de *L. feei* des tanins; des stérols; des terpenoïdes ; des flavonoïdes; des saponines et une absence des alcaloïdes [6]. Les organes de *L. feei* sont riches en substances polyphénoliques [7].

Les résultats obtenus à l'issue des tests antiinflammatoires montrent que les extraits aqueux des feuilles de *L. feei*, réduisent de façon appréciable l'œdème induit par le formol. L'inhibition de l'œdème de l'extrait aqueux de la plante est comparable, à celle de diclofénac. La richesse de l'extrait aqueux de la plante en différents constituants chimiques peut justifier cette activité.

Dans les conditions expérimentales le formole a provoqué l'œdème dont le volume est maximal au bout de trois heures [8, 10]. Le formole provoque l'inflammation locale lorsqu'il est injecté dans l'aponévrose de la plante du pied [5, 11 ,12] tout comme la carragénine [13,14]. La cause de cette réaction inflammatoire est la lésion tissulaire. Cette lésion tissulaire induit la synthèse de l'histamine, des prostaglandines, des leucotriènes [15], du PAF (facteur d'activation plaquettaire), des cytokines, du NO (monoxyde d'azote) et du TNF (facteur de nécrose tumorale) [16]. Les effets d'extraits aqueux de *L. feei* sur l'œdème s'expliqueraient par l'inhibition de la synthèse des substances pro-inflammatoires.

Conclusion

L'effet anti-inflammatoire d'extraits aqueux de *L. feei* a été évalué dans le présent travail. Les résultats obtenus montrent que l'extrait aqueux possède une activité antiinflammatoire. En effet, lors du test d'inhibition du développement de l'œdème de la patte induit par le formol chez la souris permet de conclure que l'extrait aqueux des feuilles de *L. feei* possède un effet anti-inflammatoire significativement à celui de diclofénac. L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire de l'extrait de *L. feei* montre que cette plante possède un pouvoir pharmacologique, ce qui supporte son usage traditionnel pour le soulagement de diverses affections inflammatoires.

Références bibliographiques

- [1].- Gaziano J. M., Gibson C. M., 2006.- Potential for drug-drug interactions in patients taking analgesics for mild-to-moderate pain and low-dose aspirin for cardioprotection. *Am J Cardiol*, 97 : 23-9.
- [2].- Ozenda., 2004.- Flore et végétation du Sahara. Ed. CNRS, Paris, 624 p.
- [3].- Belboukhari N., Cheriti A., 2005.-Antimicrobial Activity of Aerial Part Crude Extracts from *Limoniastrum feei* . *Asian J. Plant Sci*, 4(5):496-498
- [4].- Winter C. A., Risley E. A., Nuss G. W., 1962.- Carrageenin-induced oedema in hind paw of the rats as an assay of anti-inflammatory drug. *Proc Soc Exp Biol Med* , 111: 544–547
- [5].- Sen T.; Nag C. A. K., 1991.- Antiinflammatory evaluation of *Pluchea indica* root extract. *J. of Ethnopharmacology*, 33: 135-141.
- [6].- Rahmani S., Ziane L., Belboukhari N., Cheriti A., 2012. -The Saharan medicinal plant *Limoniastrum feei*: Ethnomedical survey and preliminary phytochemical screening of antibacterial extracts. *PhytoChem & BioSub Journal*, 6(2): 83-87.
- [7].- Rahmani S., Belboukhari N., Cheriti A., Bourmita Y., Ould El Hadj M. D., 2013.- Glucoside flavonoids from the antimicrobial extract of the Saharan medicinal plant *Limoniastrum feei*. *Biochemistry An Indian Journal*, 7 (4): 137-140.
- [8].- Singla A. K.; Pathak k.,1990.- Topical antiinflammatory effects of *Euphorbia prostrata* on carrageenan-induced footpad oedema in mice . *Journal. of Ethnopharmacology*, 29: 291-294.
- [9].- Ivanovska N.; Philipov S.; Istatkova R., 1997.- Evaluation of anti-inflammatory activity of plants used in Bulgarian folk medicine . *Fitoterapia*, LXVIII (5): 417-422.
- [10].-Viana C. F. G.; Aragao A. G. M.; Ribeiro R. A.; Magalhaes J. F. G.; Yale M . R., 1998.- Effectsof *Ageratum conyzoides* in nociception and inflammation response induced by zymosan . *Fitoterapia*, LXIX (4): 349-354.
- [11].- Singh S.; Bani S.; Singh S. B.; Gupta B. D.; Banerjee S. K.; Singh B.,1997.- Antinflammatory activity of *lupeol*. *Fitoterapia*, LXVIII (1): 9-16.
- [12].- Suzuki T.; Kishimoto Y.; Misawa M., 1996.- Formalin-and carrageenan-induced inflammation attenuates place preferences produced by morphine, methamphetamine and cocaine. *Life Science*, 59: 1667-1674.
- [13].- Bhatt K. R.; Mehta R. K.; Shrivastana P. N., 1977.- A simple method of recording anti-inflammatory effects on rat paw oedema .*Indian I. of Physiology and Pharmacology*, 21: 399-400.

- [14].- Ossipov M. H.; Kovelowski C. J.; Porreca F., 1995.-The increase in morphine antinoceptive potency produced by carrageenan-induced hindpaw inflammation is blocked by nalttrindole, a selective delta-opioid antagonist . *Neuroscience Letter*, 184: 173-176.
- [15].- Ammon H. P. T.; Safayhi H.; Mack T.;Sabieraj J., 1993.- Mechanism of antiinflammatory actions of curcumin and bowellic acids. *Ethnopharmacology*, 38:113-119.
- [16].- Clarke J. M.; Sabrena M. B.; Edward C.; Jo Rae W.,1996.- Surfactant protein A protects growing cells and reduces TNF-alpha activity from LPS-stimulated macrophages. *American Journal of Physiology*, 271:310-319.

SUR LA NATURE ET L'ORIGINE DE LA CROÛTE GYPSEUSE DITE «DEB DEB» DANS LES PALMERAIES DE L'OUEST DES ZIBAN

ABDESSELAM Salah^{*(1)} et TIMECHBACHE Mohamed Lakhdar⁽²⁾

⁽¹⁾Université Batna 1, Département des Sciences Agronomiques, ISVSA,
Laboratoire d'Amélioration des Productions Agricoles
et Protection des Ecosystèmes en Zones Arides LAPAPEZA.

⁽²⁾ITDAS Ain Benoui, Biskra

E-mail: aksalah2001@yahoo.fr

Résumé.- Dans la zone Ouest des Ziban, une formation genre de carapace que l'usage local lui consacre le nom de deb deb s'est développée. Les travaux qui ont signalé sa présence ont toujours montré une confusion envers sa composition. Après avoir passé en revue les travaux qui ont trait à cette formation, il est démontré que cette dernière est une croûte gypseuse de nappe qui s'est développée dans des sédiments formés de limon calcaire et de sable quartzeux. Ces derniers subissent un envahissement par le gypse, suite à l'évaporation de la nappe phréatique saturée en cet élément, se traduisant par une désintégration et une dilution du matériau d'accueil.

Mots clés : Ziban, deb deb, croûte gypseuse, nature, origine.

ABOUT THE NATURE AND ORIGIN OF GYPSUM CRUST SO-CALLED «DEB DEB» IN THE WESTERN OASES OF ZIBAN.

Abstract.- In the western area of Ziban, a hardpan crust called locally deb deb was developed. The works, who reported this crust, always showed confusion to its composition. After having reviewed the archive data relating to this formation, we show that it is a crust gypsum deposits at water table level. It was developed in sediment containing calcareous silt and quartz sand that are invaded by the gypsum, following evaporation of the water table, resulting in disintegration and dilution of the primary material.

Key words: Ziban, deb deb, gypsum crust, nature, origin.

Introduction

Les sols gypseux sont largement répandus dans les zones arides et semi arides du monde où la pluviométrie est inférieure à 400 mm et présentant une source de gypse. Ils occupent environ 7966.3 km² en Algérie ce qui représentent environ 12.2% des sols gypseux du monde [1]. Dans les zones arides et désertiques, le gypse s'individualise sous forme généralisée comme croûte et encroûtement. La croûte gypseuse a été décrite pour la première fois au Sahara en 1868 par PICCARD [2]. En Algérie, les sols présentant des accumulations gypseuses, ont été rapportés par plusieurs auteurs [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]. Dans l'Ouest des Ziban, lorsqu'on traverse les palmeraies du Zab-Dhahri tout au long de l'axe Ain Benoui, El-Hadjeb, Bouchegroun, Lichana, Tolga, on rencontre, souvent, une formation genre de carapace que l'usage local lui consacre le nom de deb deb. Les auteurs géologues et hydrogéologues qui ont signalé sa présence [23, 24, 25, 2, 3] ont montré toujours une confusion envers sa composition. Les auteurs pédologues qui ont travaillé dans cette région se réfèrent le plus souvent à la carte géologique de Biskra [26] qui décrit cette formation comme une croûte calcaréo-gypseuse

où notent tout simplement croûte gypso-calcaire ou parfois gypseuse [16, 27, 28, 29, 30].

Ce travail a pour objectif de passer en revue les travaux ayant trait avec cette formation d'une part et d'essayer d'enlever cette ambiguïté en vue de clarifier la nature de cette formation dite «deb deb» qu'on retrouve pratiquement dans tous les sols des Oasis de l'Ouest des Ziban.

1.- Présentation de la région d'étude

La zone d'étude est localisée à l'ouest de Biskra. Elle englobe les palmeraies de Tolga, Lichana, Bouchegroune et El Hadjeb (fig. 1). Du point de vue géomorphologique, la zone d'étude est un glacis encrouté formant le toit d'une nappe phréatique.

Le climat est caractérisé par une pluviosité annuelle très faible et très irrégulière, des températures moyennes assez élevées et une sécheresse estivale très prononcée et longue, une grande luminosité, une évaporation intense et des vents violents et desséchants. Tous ces facteurs déterminent une forte aridité.

2.- Matériel et méthodes

Le matériel d'étude consiste en une croûte genre de carapace que l'usage local lui consacre le nom de deb deb. La zone d'étude apparaît comme un glacis présentant une pente relativement importante, où la dénivellation peut avoisiner quelques dizaines de mètres. La présence d'une multitude de trous de plantation de palmiers sur le terrain avait facilité la localisation du deb deb dans la région.

La méthode adoptée consiste d'une part à la consultation de la documentation ancienne et récente se rapportant à l'étude de cette formation et d'autre part à l'observation des fosses pédologiques sur le terrain et à l'analyse de la croûte dite deb deb. L'échantillonnage de la croûte gypseuse «deb deb» s'est fait sur toute l'étendue de cette formation avec cinq fosses en amont et trois en aval (fig. 1).

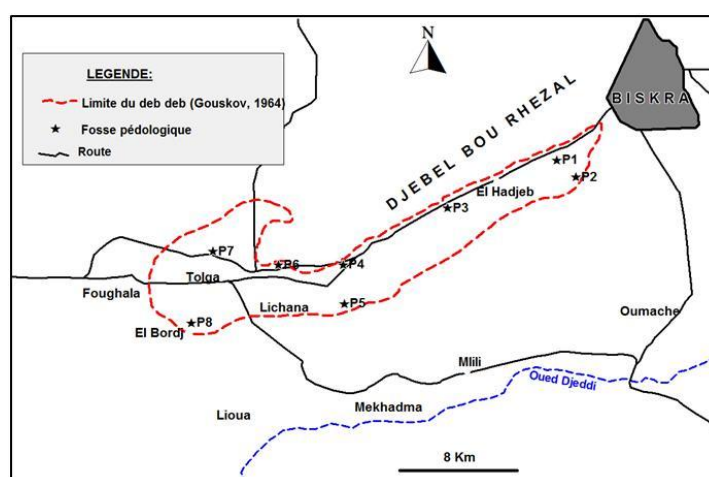


Figure 1.- Limite du «deb deb» et localisation des fosses pédologiques

Il a été remarqué que dans la partie aval la nappe phréatique est parfois active ; morphologiquement, dans cette partie deux zones dans le deb deb se distinguent par la

couleur : la partie supérieure et la partie inférieure. Des déterminations des différents sels (calcaire, gypse, sels solubles) ont été effectuées, le calcaire par le Calcimètre Bernard, le gypse par gravimétrie [31], la conductivité électrique sur extrait de pâte saturée [32], le pH_{eau} sur une suspension 1:2.5.

3.- Résultats et discussion

3.1.- Utilisation du terme «deb deb» dans la littérature

C'est un terme local qui désigne généralement une accumulation dure.

En Algérie, GUEY (1939), en étudiant le limes Romain dans la région de Biskra, avait écrit «la tranchée romaine avait été taillée en pleine épaisseur de ce calcaire gypseux que les indigènes appellent deb deb, parce qu'il résonne sous les sabots du cheval» [33]. MUSSET (1933) note, en décrivant les sols du Sahara: qu'il existe des formations superficielles ou fossiles en profondeur comme la croûte calcaire rocheuse (deb deb ou tafza) qu'il faut briser à la pioche ou à l'explosif avant de cultiver [34]. DURAND (1953) définit l'encroûtement gypseux au chott Echergui comme formation dite «deb deb» [3]. PIEDALLU (1934) note que le deb deb est une croûte gypseuse du Sahara, dans les Ziban, l'Oued Righ et dans le Souf, qu'il faut enlever à grands renforts de pioches, de masses et de coins ou à l'explosif agricole pour permettre les plantations de palmiers [35].

En Tunisie, BUREAU et ROEDERER (1960) définissent le «deb deb» comme «un encroûtement gypseux cristallisé se formant par concentration au sein d'une solution chargée en sulfate de calcium» [36]. De même, COQUE (1964) note aussi que le terme «deb deb» est une croûte gypseuse [37]. Dans le sud Tunisien, POUGET (1968), en étudiant les croûtes et encroûtements gypseux liés à l'évaporation d'une nappe phréatique salée à faible profondeur, fait remarquer que pour ces formations les termes de «Terch» ou «Deb deb» sont utilisés par l'usage local [38].

3.2.- Travaux ayant signalé la formation étudiée dans la zone d'étude

Plusieurs auteurs avaient signalé le deb deb de la zone d'étude. Selon ANONYME (1937) «c'est un sol spécial appelé «deb deb» sorte de croûte gypso-calcaire, dépôt chimique plus ou moins superficiel, plus ou moins épais, formant le toit d'une nappe phréatique» [23]. Pour SAMSOEN (1941), le deb deb est composé par l'accumulation de sels contenus dans l'eau. C'est une croûte due à la concentration par évaporation de sels de l'eau, son épaisseur moyen est de 2 mètres» [24]. FLAUDRIN (1952) note que le sol est formé par une croûte d'évaporation calcaire ou gypseuse «deb deb» trop épaisse [25].

Cependant, c'est à GOUSKOV (1964), que se rapporte la plupart des travaux réalisés dans cette région. Sur la carte géologique du même auteur, le deb deb est bien individualisé par des contours nets. Il note dans la notice explicative de cette carte que la formation dite «deb deb» peut être rapportée au Quaternaire moyen mais dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours [26]. Le «deb deb» représente une formation calcaréo-gypseuse atteignant jusqu'à deux mètres d'épaisseur. Il est localisé tout autour de l'oasis de Tolga et des Oasis limitrophes. Au sud de Tolga, Bouchegroun, Lichana et jusqu'à la ferme d'Etat de l'Ain Ben Noui, le «deb deb» repose sur un dépôt sablo-argileux atteignant parfois 50 m d'épaisseur. Le terme «calcaréo-gypseuse» a été par la suite employé abusivement par la plupart des chercheurs ayant travaillé dans cette région.

DURAND (1953, 1959) avait établi une carte schématisant l'emplacement et l'étendue des gisements des divers types de croûtes (calcaires, gypseuses et salines). L'auteur, en étudiant les croûtes, avait décrit un profil au environ de Ain Benoui à la limite de l'emplacement du deb deb. Il a classé cette formation parmi les encroûtements calcaires en indiquant que sa composition est mixte «calcaréo-gypseux». Selon le même auteur, le profil décrit ici est celui d'un encroûtement mixte calcaire, gypseux et salin [3, 2]. Seul l'encroûtement calcaire s'est développé suffisamment pour consolider l'horizon dans lequel il a pris naissance. Par ailleurs, le deb deb a été incorrectement rapportée sur la carte des croûtes en Algérie comme étant un encroûtement calcaire (fig. 2).

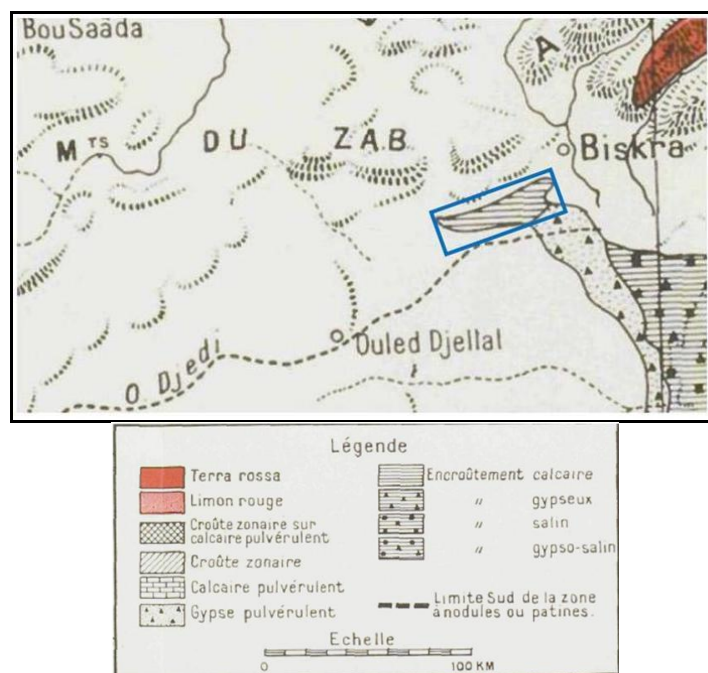


Figure 2.- Extrait de la carte des croûtes en Algérie [2]
(Site d'étude encadré en bleu)

3.3.- Nature de la formation dite deb deb de la zone d'étude

Morphologiquement, la croûte est très puissante, elle épouse toute la forme du glaciais, son épaisseur varie de 70 à 194 cm (tab. I). Elle ne présente pas de structure fragmentaire. Elle est compacte à très compacte. Sa consistance est variable selon son état d'humidité et sa réaction à l'HCl. Morphologiquement sur le terrain, la forme des cristallisations de gypse dans la croûte est indépendante du matériau originel. En effet, quelle que soit la texture du matériau parental (fin ou grossier), les individualisations du gypse dans le deb deb se manifestent sous forme microcristalline.

Le deb deb est une croûte gypseuse (la teneur moyenne du gypse est de 69%). Il est non calcaire (la teneur moyenne du calcaire est de 4%), il peut dans certaines circonstances être salé. Au niveau de la croûte gypseuse, le gypse se présente sous forme de microcristaux. Les teneurs sont remarquablement stables dans toute la zone de son extension. Les pourcentages sont très élevés et sont compris entre 61,2 et 74,4% (fig. 3 et tab. I).

Tableau I.- Analyse des sels dans la croûte gypseuse de nappe dite «deb deb»
 (a: niveau supérieur du deb deb dans la zone où la nappe est toujours active,
 b: niveau inférieur du deb deb dans la zone où la nappe est toujours active)

N° Echantillon	Profil	Profondeur du deb deb depuis la surface (cm)	Epaisseur du deb deb (cm)	pH	CaCO ₃ (%)	Gypse (%)	CE dS/m
1	P1	30	170	7,9	6,4	74,4	4
2	P2a	48	47	7,8	2,2	65,03	3,39
3	P2b	/	147	7,9	1,3	61,23	3,29
4	P3	35	70	7,52	8,4	71,99	2,89
5	P4	15	165	7,71	7,5	67,96	7,88
6	P5a	5	80	8,1	0,8	69,96	50,2
7	P5b	/	100	7,55	6	72,48	5,65
8	P6	20	70	7,55	3,6	66,77	3,09
9	P7	15	77	8	2,6	67,71	45,4
10	P8a	24	93	7,9	3,5	65,99	3,63
11	P8b	/	100	7,8	6,1	72,84	3,57

Dans la partie amont du glacis, cette croûte est surmontée par une couche de sable gypseux de 15 à 35 cm d'épaisseur (tab. I). Cependant, dans les parties aval, là où la nappe phréatique est toujours en activité, plusieurs couches salées, de 24 à 48 cm d'épaisseur, se sont développées sur cette croûte. On peut trouver aussi une couche très mince et excessivement salée en surface avec la présence d'une végétation halophyte dense. Parfois les couches de surface ont été décapées suite aux travaux d'aménagement.

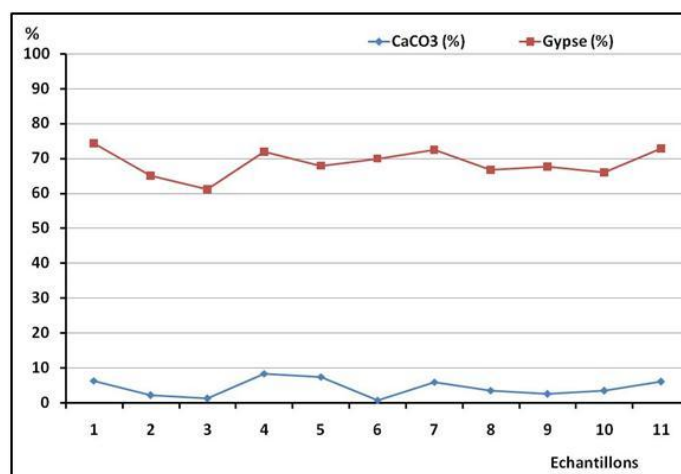


Figure 3.- Répartition du gypse et du calcaire dans le deb deb

3.4.- Origine du gypse dans la zone d'étude

Le gypse est absent des affleurements qui se localisent dans la région. L'eau des nappes et des sources constitue le principal agent de transport de sulfate de calcium, par contact direct avec les couches évaporitiques ou avec des couches renfermant ce minéral. Par conséquent, l'origine du gypse dans cette région est essentiellement hydrogéologique.

Cette situation est comparable à ce qui a été observé dans le Sud Tunisien [38].

La zone d'étude se localise en plein aire d'artésianisme de la nappe des calcaires de l'Eocène inférieur [39]. Ceci avait provoqué la formation d'une nappe phréatique dont l'alimentation est liée aux émergences artésiennes, qui apparaissent directement des affleurements du calcaire de l'Eocène, ou encore, filtraient à travers la couverture Plio-Quaternaire. La présence de sources, dans cette région, atteste l'existence de ces émergences artésiennes responsables de la salure et de l'humidité permanente que l'on y trouve.

Au début du 19^{ème} siècle, avant l'apparition des forages, des sources importantes et multiples existaient à Bouchegroun, Tolga, Megloub.... Quatre-vingts sources actives, alimentant les oasis de cette zone, ont pu être dénombrées en 1900 [40]. Ainsi, la création d'Oasis dans cette région a été liée à l'existence de ces sources d'émergence remarquables par leur débit important et à faible fluctuation [23].

Les eaux de la nappe des calcaires sont sulfatés calciques et ceux de la nappe phréatique sont sulfatés mixtes [15, 41]. En traversant la couverture Plio-Quaternaire, les eaux de la nappe des calcaires de l'Eocène inférieur (forages et sources) alimentent la nappe phréatique qui, sous l'effet du climat très évaporant, se concentrent davantage et dépose le gypse dans le sol. Cet état de fait indique que ces formations sont des croûtes gypseuses de nappe comparable à ce qui a été décrit dans les zones arides [38, 42].

3.5.- Formation des accumulations gypseuses de nappe dans la région aride

Ce type d'accumulation se produit par un processus qui intervient par mouvement «per ascensum» qui peut jouer pour trois raisons [42]:

- Une ETP>P la plus grande partie de l'année,
- Un niveau de la nappe proche de la surface,
- Plus généralement, une nappe saturée ou proche de la saturation vis-à-vis du gypse.

Toutes ses conditions se trouvent réunies dans la zone d'étude. De même, la réalité de ce mode de formation est suggérée par la présence de rose de sable à la base du profil [38, 42] ce qui a été vérifié sur le terrain.

HALITIM (1988) constate, pour la formation de croûte gypseuse de nappe, un envahissement de l'accumulation calcaire par le gypse se traduisant par une désintégration et une dilution du niveau calcaire. L'auteur a expliqué par plusieurs approches le processus par lequel le gypse envahit les matériaux pédologiques [42]. Le mécanisme de gypsification se caractérise par les faits suivants:

- les cristaux de gypse semblent repousser, fragmenter et diluer le fond matriciel calcitique.
- l'encroûtement gypseux coïncide avec une forte diminution de la teneur en quartz sans qu'il y ait apparition de figure de dissolution sur les cristaux de quartz. Par conséquent, le processus mis en œuvre lors de l'accumulation gypseuse serait une action mécanique de dilution de matériau d'accueil.

La formation de la croûte gypseuse dite «deb deb» dans la région d'étude rentre en conformité avec les hypothèses avancées par cet auteur. Cependant, dans ce cas le matériau d'accueil n'est pas une croûte calcaire mais des sédiments constitués essentiellement de quartz et de limon calcaire. Ces derniers, soumis à l'effet de la nappe phréatique sursaturée

en gypse, subit un envahissement par le gypse ce qui a provoqué, avec le temps, la formation du deb deb qui est une croûte gypseuse de nappe [41].

Conclusion

Dans l'Ouest des Ziban, on rencontre souvent une croûte que l'usage local lui consacre le nom de deb deb. Les auteurs géologues, hydrogéologues et même pédologues qui ont signalé sa présence ont toujours montré une confusion envers sa composition. Cette croûte est formée dans des sédiments composés de quartz et de limon calcaire, sa teneur en gypse est de l'ordre de 70%. Le gypse provient de la nappe phréatique qui est alimentée par des émergences artésiennes provenant de la nappe des calcaires sous jacente. Sous l'effet du climat très évaporant, les eaux de la nappe phréatique se concentrent d'avantage et le gypse se dépose dans le sol ce qui a provoqué la formation de cette croûte gypseuse de nappe dont l'âge se rapporte au Quaternaire moyen.

Références bibliographiques

- [1].- FAO., 1990.- Management of gypsiferous soils. Soil Bulletin n.62, Rome, 81 p.
- [2].- Durand J. H., 1959.- Les sols rouges et les croûtes en Algérie. S.E.S., Alger, 182 p
- [3].- Durand J. H., 1953.- Etude géologique, hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. S.E.S., Alger, 209 p
- [4].- Durand J. H., 1949.- Formation de la croûte gypseuse du Souf (Sahara). Compte rendu sommaire des sciences de la société géologique de France, 13: 303-305
- [5].- Belair P., 1954.- Sur l'origine des dépôts de sulfate de calcium actuels et anciens. Ac. des Sci.: 1059-1061
- [6].- Durand J. H., 1963.- Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie, formation et âge. Bull. Soc. Géol. Fr. (7) V: 959-968
- [7].- Dutil P., 1971.- Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse d'état, Fac. Sci. Univ. de Strasbourg, 346 p
- [8].- SOGREA.H., 1971.- Etude pédoclimatique des palmeraies de l'Oued R'hir en vue de leur mise en valeur.
- [9].- Kulke H., 1974.- Zur geologie und mineralogie der kalk-und gipskrusten Algeriens. Geologische Rundschau, 63: 970-998
- [10].- Boyadgiev T. G., 1974.- Contribution to the knowledge of gypsiferous soils. AGON/SF/SYR/67/522. FAO, Rome.
- [11].- Dekkiche B., 1976.- Sur quelques sols à accumulation de gypse dans le Hodna. Sém. Sciences du sol, connaissance des sols du Maghreb 21-26 Avril, Ann. I.N.A., Alger, vol. VI, n° 1: 139-148
- [12].- Horta, J. C. De O.S., 1980.- Calcrete, gypcrete and soil classification in Algeria. Engineering Geology, 15: 15-52.

- [13].- Pouget M., 1980.- Les relation sol-végétation dans les steppes Sud Algéroises. Trav. et Doc. ORSTOM, 116, 555 p
- [14].- Halitim A., 1985.- Contribution à l'étude des sols arides (Hautes Plaines Steppique de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse Univ. de Rennes, 384 p
- [15].- Abdesselam S., 1998.- Contribution à l'étude des sols gypseux au Nord-Est du Sahara Algérien. Caractérisation et genèse. Cas des Oasis de Tolga (région des Ziban). Mém. Magister INA El-Harrach, 147 p.
- [16].- Bensaïd R., 1999.- Les sols à accumulations gypso-calcaires dans la région de Ain Benoui (Biskra). Ann. I.N.A., vol. 20, n°1 et 2: 1-8
- [17].- Hamdi Aïssa B., 2001.- Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et variabilité spatiale. Thèse doc. INA Paris-Grignon, 308 p.
- [18].- Bernou S., 1997.- Contribution à la création d'une banque de données pédologique des sols gypseux de l'Algérie du Nord. Mém. Ing. I.N.A., El-Harrach, 49 p
- [19].- Berkal I., 2006.- Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. De la base de données à la valorisation des paramètres pédologiques. Mém. Mag. INA El Harrach, 221 p.
- [20].- Ouamer-Ali K., 2009.- Contribution a l'étude des sols gypseux d'Algérie. Valorisation d'une banque de données et détermination des profils références. Mém. Mag. INA El Harrach, 151 p.
- [21].- Rahmouni A., et Djili K., 2012.- Morphologie et propriétés des gypsisols Références du Hodna (Géochimie, eau et environnement). 2^{ème} colloque international sur la géologie du sahara-Ressources minérales, en hydrocarbures et en eau. 3-5 Dec. Université de Ouargla. Proceeding, vol. 1 géologie fondamentale: 182-188.
- [22].- Youcef F., Hamdi Aïssa B., Bouhadja M., et Lamini Kh., 2014.- Sur l'origine des croûtes gypseuses du Sahara septentrional algérien: cas de la région de Ouargla. Algerian Journal of Arid Environment. Vol. 4, n° 2 : 41-49.
- [23].- Anonyme., 1937.- Notice explicative des cartes géologiques au 500.000^e Constantine-Nord Constantine-Sud. Bull. Ser. Carte Géol. de l'Algérie. 176 p .
- [24].- Samsoen M., 1941.- Les eaux souterraines dans les territoires du Sud. Bull. Serv. Carte Géol. de l'Algerie, 3^{ème} Série, Géologie Appliquée, 6^e fascicule, 164 p .
- [25].- Flandrin J., 1952.- Les chaines atlasiques et la bordure Nord du Sahara. Aperçu d'ensemble. Monographies régionales 1^e Série, Algérie n°14, 81 p.
- [26].- Gousskov N., 1964.- Notice explicative de la carte géologique de Biskra au 1/200000. Publ. Service géol., Algérie, 13 p

- [27].- Rouahna H., 2007.- Relation entre les nappes et la salinité dans les sols gypseux de la région de Ain Ben Noui-biskra. Thèse Mag. Université de Batna, 83 p.
- [28].- Hiouani F., 2007.- Influence de la teneur en gypse et de la taille de ses grains sur la capacité de rétention en eau sur les sols de la zone de Ain Benoui –Biskra. Mém. Mag. Université de Batna, 136 p.
- [29].- Tir Ch., 2007.- Genèse des sols à accumulation gypso-calcaire et saline, dans la région de Ain Ben Noui (Biskra). Thèse Mag. INA, El Harrach, 105 p.
- [30].- Mostephaoui T., et Bensaid R., 2014.- Caractérisation des sols gypseux dans les zones arides par télédétection. Cas du sous-bassin versant d'oued djedi-biskra. *Lebanese Science Journal*, vol. 15, n°1: 99-115
- [31].- Coutinet S., 1965.- Méthodes d'analyse utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. *Agronomie Tropicale*, 12 : 1242-1253.
- [32].- USSLS., 1954.- Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA handbook n°60, 160 p.
- [33].- Guey J., 1939.- Note sur le limes romain de Numidie et le Sahara au IV^e siècle. *Mélanges d'archéologie et d'histoire*, T. 56: 178-248.
- [34].- Musset R., 1933.- Les ressources végétales du Sahara In: *Annales de Géographie*. 1933, T. 42, n°240: 651-655.
- [35].- Piédallu A., 1934.- Le Dattier, l'Engrais, l'Explosif. In: *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*. 12^e année, bulletin n°127: 188-195.
- [36].- Bureau P., et Roederer P., 1961.- Contribution à l'étude des sols gypseux de la partie Sud du Golf de Gabes. *Bull. Ass. Fr. Etude sols n° spécial* : 150-176
- [37].- Coque R., 1964.- A propos des croûtes gypseuses de la Tunisie méridionale In: *Annales de Géographie*. 1964, T. 73, n°395 : 82-86.
- [38].- Pouget M., 1968.- Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappe dans le Sud Tunisien. *Cah. ORSTOM Sér. Pédol.*, 6: 309-365.
- [39].- Mauget G., 1967.- Etude de la nappe de Tolga. Etude S.E.S n° 25.25/DH.1, G.R.H.A., Constantine, 40 p
- [40].- Nesson C., 1978.- L'évolution des ressources hydrauliques dans les Oasis du bas Sahara Algérien. In *recherches sur l'Algérie*. Ed. C.N.R.S., Paris: 7-99
- [41].- Abdesselam S., 2013.- Les formations gypseuses au nord ouest des Ziban. 3^{ième} journées sur l'agriculture et l'environnement en régions arides, 8-9 octobre, Université de Biskra.
- [42].- Halitim A., 1988.- Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U., Alger. 384 p.

COMPORTEMENTS PHYSIQUE ET HYDRIQUE DES SUBSTRATS DE CULTURE DESTINÉS AUX PÉPINIÈRES FORESTIÈRES MODERNES (SAHEL TUNISIEN)

M'SADAK Y.* , EL AMRI A., MAJDOUB R. et EL GHORBALI L.

Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel

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

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

Résumé.- *En Tunisie, le compost des déchets sylvicoles est largement utilisé en conteneurs, pour gérer les conditions optimales de croissance des plants forestiers dans les pépinières hors sol, en vue de produire régulièrement des plants de qualité et en quantité suffisante. La présente étude se propose l'évaluation des qualités physique et hydrique d'un certain nombre de substrats de culture à base de compost issu du broyat d'Acacia, considéré comme substrat actuel de référence pour la production en conteneurs des plants forestiers. A cet égard, une série de simples criblages mécaniques vibrant et rotatif selon diverses mailles, a été entreprise dans deux pépinières forestières modernes du Sahel Tunisien; celle de Chott Mariem et de Bembla II. L'analyse physique des composts sylvicoles bruts et des tamisats produits est relative à la masse volumique apparente sèche ainsi qu'aux porosités (totale, d'aération et de rétention). L'analyse hydrique a concerné notamment la courbe de désorption en eau et le temps de réhumectation de chaque substrat. Les principaux résultats obtenus ont dévoilé que les substrats testés sont particulièrement aérés, mais à faible disponibilité en eau. Pour des substrats présentant des particules grossières, la pénétration de l'eau est assez courte par rapport aux substrats à texture fine. Les substrats issus du criblage rotatif ont un temps de réhumectation plus faible que les substrats issus du criblage vibrant. Par ailleurs, plus la maille du crible est grande, plus le temps de réhumectation est faible. Le compost sylvicole produit à Chott Mariem est incontestable sur le plan porosités totale et d'aération dans les conditions expérimentales considérées, tout en répondant à la norme de rétention d'eau, à l'état brut et également à l'état criblé (quelque soient la nature et la maille de criblage) alors que celui de Bembla II n'est pas conforme et son criblage se justifie pleinement. Par ailleurs, son criblage rotatif, quelque soit la maille utilisée, n'a pas bien amélioré la porosité de rétention. Pour la masse volumique apparente sèche, cette dernière n'a pas présenté d'handicap quant à l'utilisation des substrats testés en conteneurs.*

Mots clés: *Pépinières forestières modernes, Compost sylvicole, Criblage, Comportement physique, Caractérisation hydrique.*

PHYSICAL AND HYDRAULIC BEHAVIOURS OF CULTIVATION SUBSTRATE INTENDED FOR MODERN FOREST NURSERIES (TUNISIAN SAHEL)

Abstract.- *In Tunisia, the composted forestry waste is extensively used in containers, to manage the optimal conditions for plants growth aboveground in nurseries, in order to produce quality plants regularly and in sufficient quantity. This study aims to assess the physical and hydraulic characteristics of a number of cultivation substrates based on forestry compost derived from Acacia braking, considered as the current substrate for the production of forestry plants in containers. In this respect, a series of simple mechanical vibrating and rotating screening under various meshes was undertaken in two modern forest nurseries in the Tunisian Sahel; one is in Chott Mariem and the other in Bembla II. The physical analysis of untreated and screened composts has concerned the dry bulk density and the porosities (total, aeration and retention). The hydraulic analysis has involved the pF curve and the time of rewetting of each substrate. The main obtained results showed that the tested substrates are particularly aerated, but with low water availability. For the substrates with coarse particles, the water penetration is relatively short compared to the fine-textured substrates. The Substrates derived from the rotating sieving have shown a rewetting time lower than that of the substrates derived from the vibrating sieving. Furthermore, greater the sieve mesh is, lower is the rewetting time. The forestry compost*

produced in Chott Mariem is undeniable, regarding the total porosity and aeration under the experimental conditions, and has satisfied the standard water retention in the raw and screened states (regardless of the nature and the mesh screening), however the compost of Bembla II was not consistent and its screening is entirely justified. In addition, its rotating screening, whatever the used mesh, did not much improve the porosity retention. For the dry bulk density, the latter has no handicap for the use of tested substrates in containers.

Key words: *Modern forest nurseries, Forestry compost, Screening, Physical behavior, Hydraulic characterization.*

Introduction

La préservation des ressources naturelles et le respect de l'environnement sont des préoccupations mondiales grandissantes. Le reboisement est adopté comme une pratique de protection du milieu naturel contre la dégradation, de restauration du couvert végétal, de lutte contre l'érosion et d'amélioration de la production ligneuse et sylvopastorale. Toutefois, des études d'évaluation des périmètres reboisés ont montré que le taux de réussite du reboisement (survie et croissance des plants en site) est imputable en grande partie à la qualité des plants forestiers qui est liée essentiellement aux conditions de leur élevage dans les pépinières forestières.

Le développement optimal des plants de qualité ainsi que leur taux de survie dépendent des caractéristiques essentielles des substrats constituant le support d'ancrage et de prospection des racines des plants, dans lequel ils doivent trouver en quantités suffisantes, les ressources nutritionnelles (eau, nutriments, éléments minéraux) nécessaires à leur croissance et à leur développement. Ces propriétés sont d'ordre physique (porosité d'aération, teneur en eau, mouillabilité), chimique (pH, salinité, Capacité d'Échange Cationique, teneurs en éléments minéraux tels l'azote, le phosphore et le potassium) et biologique.

Outre les propriétés agronomiques, le choix des matériaux constitutifs des substrats de culture repose sur les conditions locales et les disponibilités régionales, ainsi que le coût de revient qui tient compte du prix des matières premières, des processus de fabrication, et du transport. Les matériaux pouvant servir comme milieu de culture peuvent être organiques tels les tourbes, les fibres de coco, les écorces compostées, les fibres de bois, les composts des déchets verts, ou minéraux comme les perlites, les laines minérales, etc. Le compostage est de plus en plus admis dans une vision de production des composts affectés à la confection des substrats de croissance. Ces derniers sont employés pour produire en hors sol des plants tant horticoles que forestiers [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Le compost sylvicole produit, généralement à base de broyat de branches d'Acacia, a un rôle de support, mais pas d'apport en éléments minéraux essentiels à la croissance des plants. Généralement, ce substrat n'est pas riche en éléments nutritifs et ne peut pas assurer les besoins lors des différentes phases de croissance des plants [8]. Pour retirer les matériaux non compostés et avoir une bonne texture, le criblage du compost s'avère nécessaire après maturation afin d'avoir un substrat qui possède de bonnes caractéristiques physico-chimiques (capacité de rétention en eau, capacité d'échange cationique, etc.) [8, 9, 10]. Le compost issu de la biomasse sylvicole à l'état brut ou criblé est couramment utilisé en Tunisie comme base de substrat pour la production des plants forestiers en conteneurs. Ce substrat doit posséder une grande rétention en eau et en nutriments ainsi qu'une bonne

aération, afin de favoriser le stockage de l'eau et des nutriments, le transport de l'eau du substrat vers les racines pour satisfaire leurs besoins ainsi que le transport efficace des gaz à travers sa matrice, dans le but d'évacuer les gaz métaboliques et d'alimenter les racines en oxygène. Ainsi, les principaux objectifs assignés à cette étude sont la caractérisation des substrats de culture en conteneurs, à base de compost d'Acacia, issus des simples criblages mécaniques vibrant et rotatif selon diverses mailles, quant à leurs propriétés physiques et hydriques et la comparaison des différents substrats sélectionnés, à titre expérimental, dans deux pépinières forestières modernes du Sahel Tunisien.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Description des sites d'étude

L'étude a porté sur des substrats provenant des deux pépinières forestières modernes; à savoir: PFM de Chott Mariem (gouvernorat de Sousse) et PFM de Bembla II (gouvernorat de Monastir) situées dans la Tunisie littorale sous étage bioclimatique semi-aride supérieur. Les températures maximales de l'air sont de 32 et 27°C et minimales de 7,9 et -2°C, de façon respective. Les vents dans les deux régions sont faibles à modérés, mais peuvent être violents, exceptionnellement. La PFM de Chott Mariem ayant une superficie de 1,5 ha dont l'aire de culture occupe 7956 m² (102 m x 78 m) assurant une production annuelle d'un million de plants forestiers en conteneurs. Quant à la PFM Bembla II de superficie 3,4 ha, sa capacité de production annuelle est de 520 000 plants forestiers produits dans une aire de 3200 m² (80 m x 40 m). Pour les deux PFM, 80% de la production est à destination forêts et parcours, 10% pour les entrées des villes et 10% pour les brises vents. Les deux PFM sont munies d'un dispositif d'ombrage, en vue d'assurer un milieu physique convenable pour la croissance des plants, soient le chauffage pendant l'hiver et l'ombrage pendant l'été.

1.2.- Composition des substrats de culture

Pour les deux pépinières, les substrats de culture sont principalement composés par le broyat des branches fraîches d'Acacia cyanophylla composté (compost sylvicole). La PFM de Chott Mariem s'approvisionne en branches d'Acacia de la région d'Enfidha (site Chgarnia); la région la plus productrice en cette matière et celle de Bembla II de la région de Bembla (site Garâat Oued El Maleh) et de la région de Monastir (site Falaise). Les branches sont obtenues généralement après rabattage de l'arbuste d'Acacia tous les trois ans. La méthode de broyage adoptée à la PFM de Chott Mariem est la technique du double broyage. Le premier est à couteaux produisant des copeaux de bois (broyat) grossier et le deuxième est à marteaux permettant de réduire le broyat en débris plus fins. La technique adoptée à la PFM de Bembla II est du simple broyage à marteaux, et le compost sylvicole produit subit, généralement, un broyage ultérieur d'affinage. Le broyat obtenu, mis en andain sur une aire bétonnée et étalé par couches d'environ 20 cm d'épaisseur, supporte deux traitements; soient l'humidification et l'adjonction de la matière azotée pour accélérer la multiplication des micro-organismes, et vraisemblablement le processus de dégradation aérobie. Pour chaque m³ de broyat, 1 à 1,5 kg de nitrate d'ammonium (NH₄NO₃) dilué dans 20 l d'eau sont ajoutés lors de la confection. Il en est de même lors du premier retournement des andains.

1.3.- Traitements des composts sylvicoles

Les composts sylvicoles produits nécessitent généralement des traitements d'affinage par broyage et/ou criblage en vue d'optimiser leur granulométrie après maturation. Les substrats de culture produits mis à l'essai dans la présente étude sont au nombre de neuf, dont trois substrats de la PFM Bembla II et six de la PFM Chott Mariem (tab. I).

Tableau I.- Substrats de culture produits mis à l'essai

[*: Substrat de référence (témoin)]

Traitement	Pépinière	
	Bembla II	Chott Mariem
Compost Brut (*)	S ₁	S ₄
Criblage Rotatif	S ₂ (M ₆)	S ₅ (M ₆)
	S ₃ (M ₁₀)	S ₆ (M ₁₀)
Criblage Vibrant		S ₇ (M ₆)
		S ₈ (M ₈)
		S ₉ (M ₁₂)

Il s'agit de substrats bruts (deux) et d'une série de substrats provenant de simples criblages mécaniques vibrant (trois) et rotatif (quatre) à mailles carrées M₆, M₈, M₁₀ et M₁₂ de dimensions respectives 6x6, 8x8, 10x10 et 12x12 mm.

1.4.- Évaluation des propriétés physiques et hydriques des substrats

1.4.1.- Caractéristiques physiques et hydriques considérées

Tableau II.- Expressions et normes d'appréciation des paramètres d'étude

Paramètres	Expressions	Normes d'appréciation
MVA (g/cm ³)	$(M_s - M_v) / V$	0,08 <- < 0,40
PT (%)	$(VA/VT) \times 100$	≥ 50
PA (%)	$(VR/VT) \times 100$	≥ 20
PR (%)	PT - PA	≥ 30
□ _v (%)	$((MpF - M_v - M_s) / V) \times 100$	-
Pt (%)	95,83 - 32,43 x MVA	≥ 88
□ _{air} (%)	Pt - □ _{eau}	≥ 20
DE (%)	$(pF1 - pF2) \times 100$	≥ 25

MVA = Masse volumique apparente; PT (%) = Porosité Totale ; PA (%) = Porosité d'Aération ; PR (%) = Porosité de Rétention; □_v (%) = Teneur en eau volumique; Pt (%) = Porosité totale (selon la formule de Gras); □_{air} (%) = Teneur en air; DE (%) = Disponibilité en eau; M_s = Masse de l'échantillon sec (g); M_v = Masse de la capsule vide (g); V = Volume de la capsule (100 cc); VA = Volume d'eau versé; VR = Volume d'eau recueilli; VT = Volume d'eau total; MpF = Masse de l'échantillon pour chaque pF; □_{eau} (%) = Teneur en eau; pF = Potentiel hydrique.

Les composts sylvicoles bruts ainsi que les tamisats qui en sont issus ont fait chacun l'objet, d'une part, d'analyses physiques relatives à la masse volumique apparente (MVA) sèche ainsi qu'aux porosités totale PT (occupée par les fluides), d'aération PA

(macroporosité), et de rétention PR (microporosité), et d'autre part, de caractérisations hydriques relatives au potentiel de l'eau (courbe de désorption en eau), à la disponibilité en eau DE et au temps de réhumectation TR (mouillabilité). Les tests sur les neuf substrats considérés ont été réalisés à raison de trois répétitions pour un total de 27 tests élémentaires et la moyenne des trois répétitions est retenue. Le tableau II récapitule les paramètres physiques et hydriques mis à l'étude, leurs expressions et les normes d'appréciation rapportées, entre autres, par MOREL *et al.* (2000) [11].

1.4.2.- Masse volumique apparente sèche

La masse volumique apparente (MVA) sèche représentant la masse de l'unité de volume à l'état sec a été déterminée après la mise des échantillons dans l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures [12].

1.4.3.- Porosités

Les porosités totales, d'aération et de rétention ont été évaluées moyennant le test standard de porosité. Il consiste à i) remplir le conteneur avec de l'eau après obstruction de ses trous de drainage, et mesurer le volume d'eau versé (VT) dans ses trois cavités; ii) vider les cavités de l'eau et les remplir avec du substrat sec; iii) verser un volume (VA) de l'eau pour amener les substrats à saturation; et iv) libérer les trous de drainage et mesurer le volume d'eau recueilli (VR) pendant 5 à 10 mn.

1.4.4.- Courbes de désorption en eau

Le potentiel matriciel ou hydrique (pF) pour différents taux d'humidité traduit la force avec laquelle le substrat retient l'eau face au potentiel racinaire d'extraction des plants. Ce dernier a été déterminé au laboratoire des Systèmes de Productions Oléicole et Fruitière de l'Institut de l'Olivier (Station de Soussse) à l'aide de la table à succion type bac de sable pour des valeurs remarquables du pF à savoir: 0; 0,4; 1; 1,7 et 2. En vue d'établir la courbe de désorption de chaque substrat étudié, les substrats sont soumis tout d'abord sous une pression d'eau jusqu'à la saturation. Ensuite, chaque substrat est soumis à une succion correspondante à un pF donné, et la teneur en eau volumique ($\square v$) correspondante est également déterminée (tab. II). D'autres caractéristiques des substrats ont été déterminés à partir de leurs courbes de désorption à savoir les teneurs en eau et en air à pF1 (capacité en bac) ainsi que la disponibilité en eau (DE). La porosité totale a été évaluée indirectement à partir de la masse volumique apparente par application de la formule de Gras [13]. La teneur en air ($\square air$) a été estimée en soustrayant de la valeur de la porosité totale (Ptdéterminée par la formule de Gras), la teneur en eau déduite à partir de la courbe de désorption en eau du substrat (tab. II). La disponibilité en eau est représentée par la quantité d'eau libérée par le substrat entre les potentiels hydriques pF₁ et pF₂ [14].

1.4.5.- Mouillabilité

Outre la capacité de rétention en eau et les porosités supports de culture, la mouillabilité constitue une caractéristique physique et hydrique d'un substrat donné. La mouillabilité est exprimée par le temps de réhumectation (TR), et elle est déterminée pour les neuf substrats étudiés moyennant la technique de mesure du temps de pénétration d'une goutte d'eau (Water Drop Penetration Time). Pour chaque substrat testé, la mesure du TR a été effectuée sur neuf cavités (3 répétitions x 3 cavités) et c'est la moyenne qui a

été retenue.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Caractérisation physique des substrats

2.1.1.- Évaluation de la masse volumique apparente

La MVA reflète le degré de compaction du substrat et affecte fortement ses propriétés physiques critiques notamment sa teneur en air et sa conductivité hydraulique saturée. La figure 1 présente la variation de la masse volumique apparente sèche obtenue pour l'ensemble des substrats étudiés. A l'exception du substrat S5, issu du criblage rotatif à la Maille M6, la totalité des substrats respectent les normes de la MVA ($0,08 < MVA < 0,4 \text{ g/cm}^3$) et constituent ainsi des milieux favorables à l'étalement et l'ancrage des racines dans les conteneurs sans contrainte majeure quant à leur emploi pour l'élevage des plants [15]. La plus faible MVA (0,008) est présentée par le substrat criblé S5 (M6). Par contre, la MVA la plus élevée (0,16) est observée pour le S9, à cause de son degré de compaction relativement élevé.

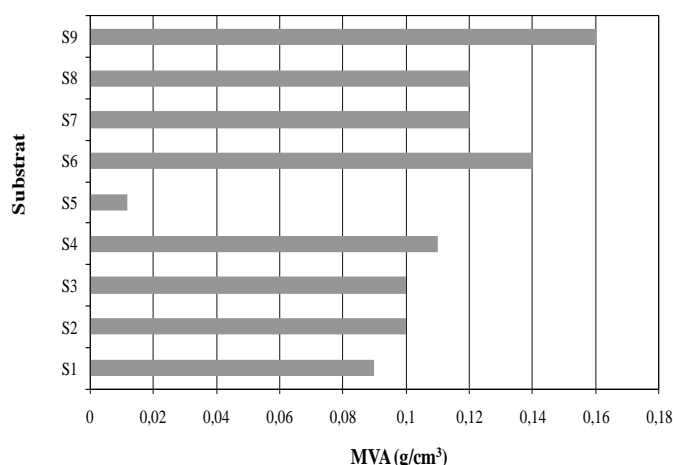


Figure 1.- Masse volumique apparente des substrats étudiés

2.1.2.- Évaluation des porosités

Les porosités totales, d'aération et de rétention des substrats bruts et criblés des deux PFM sont illustrées sur les figures 2, 3 et 4. La figure 2 révèle que les substrats bruts et ceux issus du criblage rotatif (PFM Bembla II) répondent à la norme pour la porosité totale ($PT \geq 50\%$) sans toutefois respecter la norme pour la porosité de rétention ($PR \geq 30\%$). De plus, ces résultats dévoilent que le compost criblé de Bembla II montre une porosité d'aération qui dépasse largement la norme ($PA \geq 20\%$) étant donné qu'il contient des particules grossières. Ceci lui attribue une caractéristique drainante qui, non seulement laisse une faible quantité d'eau retenue à la disposition des racines, mais également favorise le drainage rapide et le lessivage des éléments minéraux.

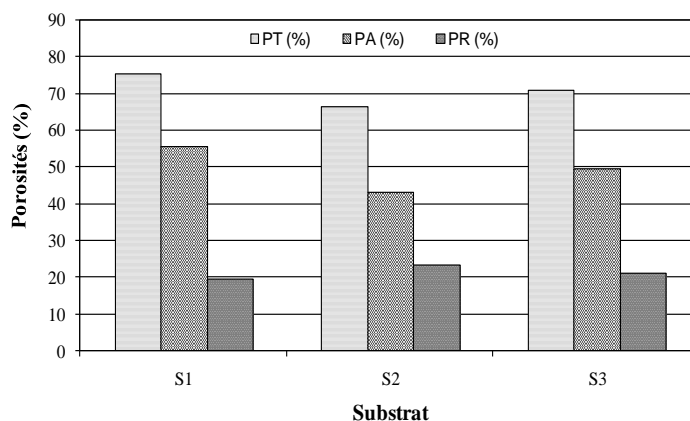


Figure 2.- Porosité des substrats issus du criblage rotatif (PFM Bembla II)
[S₁: Substrat de référence (témoin)]

La figure 3 révèle que les substrats issus du criblage rotatif (PFM Chott Mariem) répondent aux normes pour la porosité totale avec une porosité de rétention adéquate ($PR \geq 30\%$). Cependant, la porosité d'aération est élevée. La porosité d'aération du substrat S₆ est plus élevée que celle du substrat S₅, étant donné la taille de ses particules. En effet, plus la taille des particules est grande, plus l'aération est élevée.

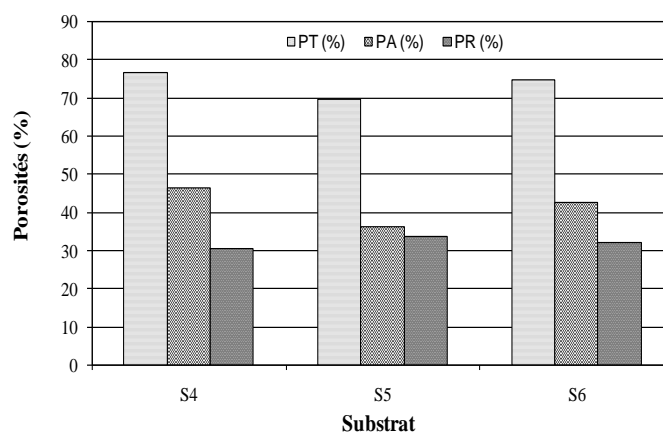


Figure 3.- Porosité des substrats issus du criblage rotatif (PFM Chott Mariem)
[S₄: Substrat de référence (témoin)]

La figure 4 dévoile que le substrat brut (S₄) et les substrats issus du criblage vibrant (PFM Chott Mariem) (S₇, S₈ et S₉) répondent tous aux normes pour la porosité totale avec une légère augmentation pour le compost sylvicole brut S₄. Plus la taille des particules augmente, plus la porosité d'aération augmente et la rétention en eau diminue.

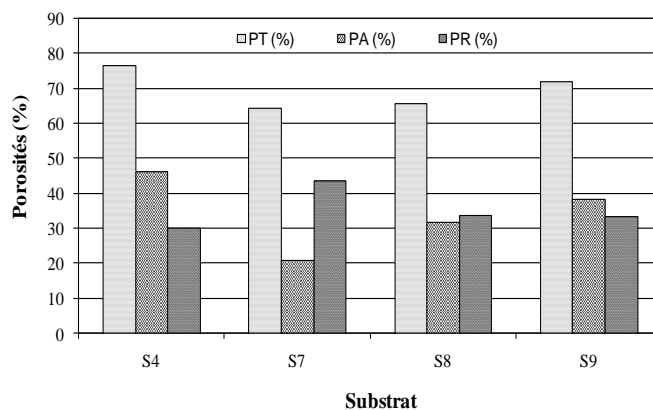


Figure 4.- Porosité des substrats issus du criblage vibrant (PFM Chott Mariem)
[S4: Substrat de référence (témoin)]

2.2.- Appréciation du comportement hydrique des substrats de culture

2.2.1.- Établissement des courbes de désorption en eau

Le potentiel matriciel des substrats se trouve associé à une teneur en eau et en air selon sa courbe de désorption en eau (courbe de pF). Les courbes établies pour les neuf substrats analysés sont présentées sur la figure 5. Les courbes en question montrent que la porosité totale (exprimant les volumes potentiellement disponibles pour la rétention en eau et en air, de tous les substrats testés répondent à la norme ($\geq 88\%$) avec des valeurs variant de 90,6 à 92,7%. L'allure générale des courbes présente une pente très forte jusqu'au pF1 pour tendre vers l'horizontale par la suite. Cependant, la chute de la teneur en eau volumique observée est beaucoup plus importante dans le cas des substrats S₁, S₂ et S₃ de la PFM de Bembla II.

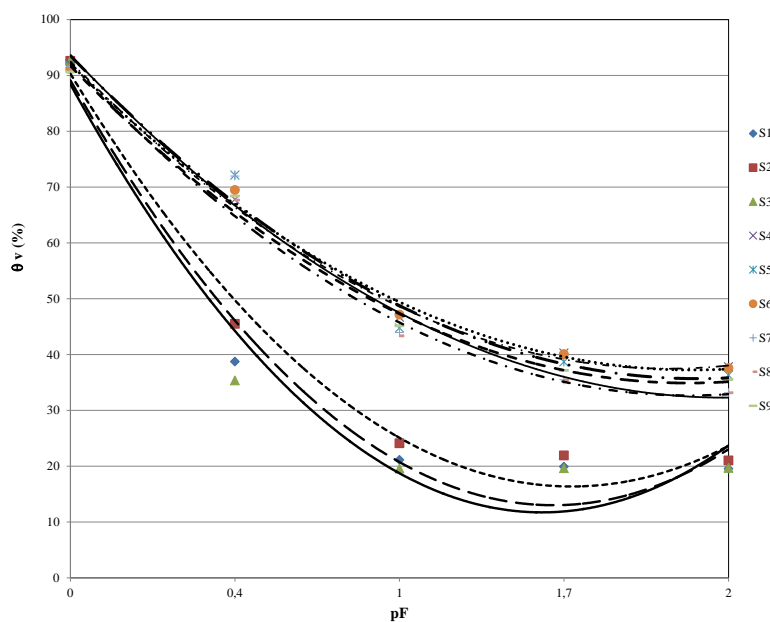


Figure 5.- Courbes de désorption en eau des substrats étudiés

L'interprétation des courbes de désorption en eau se base le plus souvent sur les teneurs en eau et en air à pF1 (capacité en bac) et sur les disponibilités en eau. Ces

dernières sont présentées sur la figure 6.

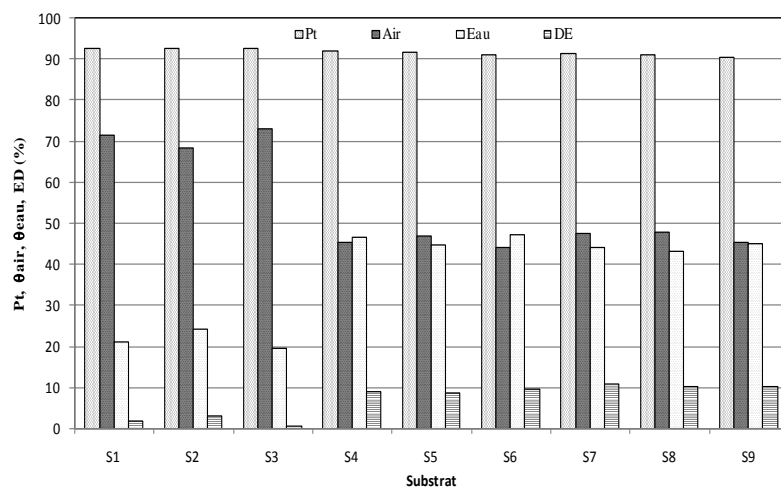


Figure 6.- Caractéristiques hydriques des substrats étudiés

L'analyse des résultats obtenus permet de distinguer principalement deux catégories de substrats de culture :

- Très aérés (teneurs en air entre 68,5 et 73,1%) mais à faibles teneurs en eau (entre 19,6 et 24,1%) et très faible disponibilité en eau (entre 0,6 et 3,1%) avec une réserve hydrique très faible (presque absence du pouvoir tampon hydrique de potentiel hydrique) : cas des substrats S₁, S₂ et S₃ issus de la pépinière de Bembla II, qui imposeraient alors une grande fréquence d'irrigation à faible dose, afin d'éviter que la croissance des plants ne soit affectée,

- Aérés (teneurs en air entre 44,0 et 47,8%), à teneurs en eau plus ou moins élevées (entre 43,3 et 47,1%), à faible disponibilité en eau (entre 8,6 et 10,8%) et à pouvoir tampon moyen: cas des six substrats de S₄ à S₉ issus de la pépinière de Chott Mariem, qui nécessitent des arrosages longs et espacés susceptibles de procurer une nutrition hydrique optimale des plants.

Le substrat convenable est S₇, issu du criblage vibrant à la maille M6 présentant la disponibilité en eau la plus élevée, et par suite, la meilleure capacité d'autonomie hydrique des plants tout en assurant une oxygénation suffisante aux racines avec une teneur en air de 47,6%; une valeur qui semble être plus faible que celle des autres substrats, cependant, elle dépasse la norme de 20% [16, 17], suffisante pour un bon développement du système racinaire des plants.

Les résultats des contrôles expérimentaux entrepris par M'SADAK *et al.* (2014) [18], visant l'évaluation des propriétés physiques et hydriques du compost sylvicole brut et des tamisats issus du criblage vibrant appliqué, concordent en grande partie avec les acquis obtenus lors de cette étude. En effet, ils ont dévoilé que la plupart de tels tamisats présente une forte porosité d'aération, une faible teneur en eau et une faible disponibilité en eau. Les substrats ainsi essayés peuvent être classés comme très aérés et à faible disponibilité en eau, exigeant ainsi des doses d'arrosage faibles et à forte fréquence. De ce fait, il convient de bien raisonner le traitement physique à adopter pour le compost (criblage et/ou broyage d'affinage selon différentes techniques), en vue d'avoir un substrat particulièrement adéquat de point de vue ajustement granulométrique.

2.2.2.- Évaluation du temps de réhumectation

Les temps de réhumectation des neuf substrats essayés sont illustrés dans le tableau III. Ce dernier permet de constater que les temps de pénétration de l'eau au sein des substrats issus de la PFM Bembla II (bruts et criblés) sont nettement inférieurs à ceux obtenus pour la PFM Chott Mariem, montrant une meilleure mouillabilité de S₁, S₂ et S₃ attribuée à leur porosité qui est plus importante. Pour les substrats à base de compost sylvicole brut (S₁ de la PFM Bembla II et S₄ de la PFM Chott Mariem), ces derniers mettent moins de temps de réhumectation que les substrats issus du criblage. Quant aux substrats criblés, moyennant les deux procédés rotatif ou vibrant, la figure témoigne une variation inversement proportionnelle entre les dimensions du crible et le temps de réhumectation. Plus la maille du crible est importante, plus le temps de réhumectation est faible. De plus, les résultats dévoilent que la technique de criblage semble avoir un effet sur la mouillabilité du support de culture. En effet, les substrats S₅ et S₆ issus de la PFM de Chott Mariem ont des temps de réhumectation plus faibles que ceux obtenus pour les substrats S₇, S₈ et S₉, ce qui montre que le criblage rotatif donne au substrat une meilleure mouillabilité que le criblage vibrant.

Tableau III.- Temps de réhumectation des substrats étudiés

Pépinière	Substrat	TR (s)
PFM Bembla II	S ₁	76,92
	S ₂	138,46
	S ₃	115,38
PFM ChottMariem	S ₄	215,38
	S ₅	438,46
	S ₆	300,00
	S ₇	607,69
	S ₈	492,30

Conclusion

La qualité des plants forestiers produits en pépinière est considérée comme l'un des facteurs limitant l'installation et la survie des jeunes semis en site de reboisement. Cette qualité dépend en grande partie des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des substrats utilisés comme milieu de culture pour la production des plants en conteneurs. Dans le but de mettre au point un substrat à base de tamisat sylvicole adéquat pour l'élevage en conteneurs des plants forestiers, l'étude des caractéristiques physiques et hydriques de neuf substrats, composés des composts sylvicoles bruts et criblés (criblages vibrant ou rotatif), employés occasionnellement dans deux pépinières du Sahel Tunisien, zone littorale semi-aride, a révélé deux types de substrats. Il s'agit des substrats très aérés avec une très faible disponibilité en eau (cas des substrats issus de la PFM de Bembla II) et d'autres aérés à faible disponibilité en eau (cas des substrats issus de la PFM de Chott Mariem). Les résultats acquis ont montré que plus le substrat est fin plus la disponibilité de l'eau est meilleure. En contre partie, plus les particules du substrat sont grossières, plus le temps de réhumectation est court. D'ailleurs, les substrats issus du criblage rotatif mettent plus de temps pour se réhumecter étant donné leur texture plus fine.

En définitive, il convient de poursuivre les investigations pour bien décider quant au traitement physique à opter pour le compost sylvicole adopté (criblage et/ou broyage

d'affinage selon la procédure appropriée, criblage vibrant ou rotatif, maille optimale de criblage), en vue d'avoir un substrat de croissance spécialement conforme de point de vue adaptation granulométrique (substrat à la fois aérateur et rétenteur), et par conséquent, adéquat sur les plans physique (notamment porosité) et hydrique (particulièrement, disponibilité en eau) pour la production hors sol des plants forestiers.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement le Laboratoire des Systèmes de Productions Oléicole et Fruitière de l'Institut de l'Olivier (Station de Sousse, Tunisie) qui a mis à leur disposition les moyens nécessaires pour la caractérisation hydrique des substrats ainsi que les deux Pépinières Forestières Modernes (Chott Mariem et Bembla II, Sahel Tunisien) pour la mise à leur disposition de leurs composts sylvicoles et des équipements de criblage adoptés.

Références bibliographiques

- [1].- Rose R., Haase D. L., Boyer D., 1995.- Organic matter management in forest tree nurseries: theory and practice. Corvallis OR, USA, Nursery Technology Cooperative, Oregon State University, 67 p.
- [2].- Raviv M., Zaidman B. Z., Kapulnick Y., 1998.- The use of compost as peat substitute for organic vegetable transplants production. *Compost Science and Utilization*, 6(1): 46-52.
- [3].- Fitzpatrick G. E., 2001.- Compost utilization in ornamental and nursery crop production systems. In: *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Lewis Publishers, 135-150.
- [4].- M'Sadak Y., Elouaer M. A., El Kamel R., 2012.- Comportement physique des composts, des tamisats et des mélanges pour une meilleure exploitation en pépinière : Caractérisation physique des composts bruts, criblés et en mélange. *e-Revue de Génie Industriel [en ligne]*, N° 8, 16 Août 2012, 44-54. ISSN : 1313-8871.
<http://www.revue-genie-industriel.info/document.php?id=1607>
- [5].- M'Sadak Y., Elouaer M. A., El Kamel R., 2013.- Évaluation du comportement chimique des composts, des tamisats et des mélanges élaborés pour la conception des substrats de culture- *Revue Nature & Technologie*, N° 8 (C), Janvier 2013, 54-60. ISSN : 11129778.
www.univchlef.dz/revuenatec/Art_08_C_08.pdf
- [6].- M'Sadak Y., Saad I., Saidi D., 2013.- Suivi et analyse thermiques du processus de Co-compostage sylvicole dans une pépinière forestière moderne- *Journal of Fundamental and Applied Sciences (JFAS)*, 5 (1), Juin 2013, 1-12. ISSN : 1112-9867.
jfas.info/index.php/JFAS/article/view/94
- [7].- M'Sadak Y., Ben M'Barek A., Tayachi L., 2013.- Comportement des plants d'Acacia installés sur des substrats à base de compost sylvicole avec ou sans méthacompost avicole dans une pépinière moderne en Tunisie- *Journal of Fundamental and Applied Sciences (JFAS)*, 5 (1), Juin 2013, 38-50. ISSN : 1112-9867.

jfas.info/index.php/JFAS/article/view/95

- [8].- Lamhamedi M.S., Fecteau B., Godin L., Gingras Ch., El Aini R., Gader Gh., Zarrouk M.A., 2006.- Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Projet : ACIDI E4936-K061229. Direction Générale des Forêts, Tunisie et Pampev Internationale Ltée, Canada, 114 p.
www.mrn.gouv.qc.ca/.../forets/.../Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf
- [9].- M'Sadak Y., Elouaer M.A., El Kamel R., 2012.- Évaluation des substrats et des plants produits en pépinière forestière, *Revue Bois et Forêts des Tropiques (BFT)*, 313 (3), 2012, 61-71. ISSN: 0006-579X. bft.cirad.fr/revues/notice_fr.php?dk=566986
- [10].- M'Sadak Y., Elouaer M.A., Dhahri M., 2013.- Caractérisation physique des substrats de croissance pour une meilleure adaptation à la filière horticole en Tunisie- *Revue Nature & Technologie*, 9 (B), Juin 2013, 27-34. ISSN : 1112-9778.
www.univ-chlef.dz/revuenatec/Issue_09_Art_B_05.pdf
- [11].- Morel, P., Poncet, L., Rivière, L. M., 2000.- Les supports de culture horticoles, Éd. INRA, Paris, France, 87 p.
- [12].- Miller J.H., Jones N., 1995.- Organic and compost-based growing media for tree seedlings nurseries. World Bank technical paper, N° 264.
- [13].- Gras R., Agius I., 1983.- Quelques propriétés physiques des substrats horticoles, *PHM Revue Horticole*, 234: 11-13.
- [14].- Michelot P., 2000.- Le couple substrat-irrigation en pépinière : un tandem indissociable. *PHM Revue Horticole*, 418: 30-34.
- [15].- Clauzel J.M., 1997.- L'analyse physique du substrat, outil méconnu du producteur hors sol. Bordeaux, Laboratoire d'analyses et de conseils agronomiques, Lettre d'information.
- [16].- CPVQ., 1993.- Pépinière- Culture en conteneurs- Substrats. Document Technique, Conseil des Productions Végétales du Québec, Canada, 19 p.
- [17].- Lemaire F., Dartigues A., Rivière L. M. et Charpentier S., 1989.- Cultures en pots et conteneurs. Principes Agronomiques et Applications, Publications Agricoles AGEN (Ed.), Paris, 123-133.
- [18].- M'Sadak Y., El Amri A., Majdoub R., Ben Ali M., 2014.- Caractérisations physique et hydrique des substrats de culture des plants forestiers en conteneurs, *Journal Larhyss*, n°17, Mars 2014, 7-20. ISSN : 1112-3680.
lab.univ-biskra.dz/Larhyss/.../JOURNALN°17/1.MSadak-et-al_French.pdf...

IMPACT DE LA PREDATION DE MANTODEA EN MILIEUX NATURELS ET CULTIVEES DE LA CUVETTE D'OUARGLA (SAHARA SEPTENTRIONAL EST-ALGERIEN)

KORICHI Raouf¹, DOUMANDJI Salaheddine² et OULD EL HADJ Mohammed Didi¹

⁽¹⁾ *Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi Arides*
Université de Ouargla, Ouargla, Algérie

⁽²⁾ *ENSA, El-Harrach, Alger, Algérie*
E-mail: korichkov@hotmail.fr

Résumé - Un recensement des espèces de mantes est réalisé dans la cuvette d'Ouargla (Sahara septentrional Est-algérien), ainsi qu'une étude de leur comportement alimentaire. Cet inventaire a abouti à la capture de 9 espèces appartenant à 3 familles distinctes (Mantidae, Empusidae et Thespidae). L'activité trophique des Mantodea est réalisée via l'examen coprologique. Sur le terrain, les disponibilités en proies potentielles sont étudiées. La comparaison des régimes alimentaires de 8 espèces de mantes montre leur forte insectivorie. Pour *Mantis religiosa*, Diptera et Orthoptera fréquents à 35,7%, sont les plus ingurgités correspondant, à un indice de diversité de Shannon-Weaver (H') qui oscille entre 0 et 1,84 bits respectivement. Quant à *Iris oratoria*, 58,6% de son régime alimentaire est formé par des Orthoptera dont 63,6% d'Acrididae. Diptera (20,6%) dont *Cyclorrhapha* (17,1%), sont également ingurgités. L'indice H' des proies d'*Iris oratoria* fluctue entre 0,81 à 1,83 bit. Le menu de *Sphodromantis viridis* indique que Diptera, Orthoptera, Homoptera et Hymenoptera sont consommés à parts égales ($H' = 2$ bits). Cependant, *Elaea marchali pallida* se nourrit d'Hymenoptera (66,7%), essentiellement de Formicidae (55,6%) ($H' = 0,81$ à 1,76 bit). Par ailleurs, *Amblythespis granulata* ingère surtout Hymenoptera (60%) ($H' = 1,37$ bit). Par contre, ce sont surtout Orthoptera (66,7%) et Coleoptera (22,2%) qui sont consommés par *Amblythespis lemoroï* ($H' = 1,58$ à 2 bits). Par ailleurs, *Empusa guttula* ingurgite autant Heteroptera (50%) que Hymenoptera (50%). L'indice de diversité de Shannon-Weaver estimé correspond à 1 bit. Dans le menu de *Blepharopsis mendica*, Diptera (45,4%) sont les mieux représentés, accompagnés par des Orthoptera (18,1%) et Hymenoptera (18,1%) ($H' = 0,92$ à 1,5 bit). En termes de comportement alimentaire, les espèces étudiées sont généralistes.

Mots clés: Mantodea, inventaire, comportement alimentaire, fèces, Sahara.

IMPACT OF PREDATION MANTODEA IN NATURAL AND CULTURED ENVIRONMENT IN THE BASIN OF OUARGLA (ALGERIAN EAST NORTHERN SAHARA)

Abstract - A census of the species of praying is done in the bowl Ouargla (northern Sahara) and a study of their feeding behavior. Nine species belonging to three distinct families are collected. The feeding activity of Mantodea is achieved by the excreta examination. In the field, the availability of potential prey is studied. Comparison of the diets of eight species of mantids shows their strong entomophagous. For *Mantis religiosa*, Diptera and Orthoptera frequent 35,7%, respectively, are the most ingested (H' between 0 and 1,84 bit). As for *Iris oratoria*, 58,6% of its diet is composed by Orthoptera of which 63,6% are Acrididae. Diptera (20,6%) including *Cyclorrhapha* (17,1%) are also ingested (H' fluctuates between 0,81 to 1,83 bit). Menu of *Sphodromantis viridis* indicates that Diptera, Orthoptera, Homoptera and Hymenoptera are consumed in equal parts ($H = 2$ bits). However, *Elaea marchali pallida* feeds Hymenoptera (66,7%), mainly Formicidae (55,6%) ($H' = 0,81$ to 1,76 bit). In addition, *Amblythespis granulata* eats mostly Hymenoptera (60%) ($H' = 1,37$ bit). By cons, it is mainly Orthoptera (66,7%) and Coleoptera (22,2%) that are consumed by *Amblythespis lemoroï* ($H' = 1,58$ to 2 bits). In addition, *Empusa guttula* swallows all of Heteroptera (50%) than Hymenoptera (50%). The diversity index of Shannon-Weaver is an estimated to 1 bit. In the menu of *Blepharopsis mendica*, Diptera (45,4%) are better represented, accompanied by Orthoptera (18,1%) and Hymenoptera (18,1%) ($H' = 0,92$ to 1,5 bit). In terms of eating behavior, the species studied are generalists.

Key words: Mantodea, inventory, feeding behavior, excrements, Sahara.

Introduction

De tous temps, les agriculteurs se sont trouvés confrontés aux ravages causés notamment par les insectes. Disposant d'armes chimiques de plus en plus efficaces, l'homme croyait avoir gagné la guerre contre les insectes. Pourtant, ils sont chaque jour plus nombreux à résister [1]. Certaines espèces d'insectes deviennent nuisibles parce que les dégâts qu'elles commettent pour subsister deviennent économiquement intolérables pour l'homme. Au moins un quart des espèces d'insectes sont prédatrices ou parasites, d'autres insectes et quelques unes sont élevées pour combattre l'expansion des espèces indésirables dans les cultures [2]. En effet, les insectes par leur diversité biologique et leurs aptitudes trophiques, par leur pouvoir de multiplication, sont des maillons très fonctionnels des réseaux trophiques et contribuent à l'équilibre de l'écosystème. Chaque ravageur est accompagné d'un cortège d'ennemis naturels qui régulent leur populations et constituent des auxiliaires pour l'homme. Certains d'entre eux sont très sensibles aux produits chimiques et peuvent être détruits, ce qui entraîne des déséquilibres naturels [3]. C'est parce que les insectes sont garants de la survie des écosystèmes que la destruction inconsidérée de certaines espèces dites nuisibles peut rompre le délicat équilibre des chaînes biologiques [4]. Dans ce but, la lutte biologique utilisera des prédateurs. Afin de maintenir les populations des ravageurs à un niveau bas, les insectes prédateurs contribuent dans une large mesure à la sauvegarde de l'équilibre des écosystèmes naturels notamment en milieu aride. Ces écosystèmes dits fragiles, sont tout à fait particuliers et originaux, tant du point de vue de la flore que de la faune, et qui sont de fait parfaitement adaptés à des conditions climatiques difficiles [5]. Les Mantodea ou mantes font partie de ces insectes hautement prédateurs. Si la diversité des formes de ces insectes est connue, celle de leurs biotopes, de leurs fonctions dans les systèmes écologiques et de leurs régimes alimentaires l'est beaucoup moins. Peu de travaux ont été effectués sur le comportement alimentaire des mantes. A cet effet, il devient intéressant de connaître les performances de ses auxiliaires prédateurs en essayant de savoir quelles pourraient être les proies préférées des mantes dans quelques biotopes sahariens.

2.- Méthodes d'étude

2.1.- Présentation de la zone d'étude

La cuvette de Ouargla est située au fond de l'Oued M'Ya, à une altitude moyenne de 157 m, une longitude de 5° 20' Est et une latitude de 31° 58' Nord. Elle se caractérise par un climat particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale [6]. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air [7]. La période sèche s'étale sur toute l'année. Le type de végétation de la vallée de l'oued M'Ya varie selon la structure physique de la zone [6].

2.2.- Choix des biotopes

Le choix des stations d'étude est dicté par la nature du milieu, qu'il soit naturel ou cultivé. Les stations prises en considération sont au nombre de huit dont quatre représentant des milieux naturels, soit une formation dunaire, un chott, une sebkha (Ain Beida), un reg et quatre autres concernant des milieux cultivés, soit un pivot (Hassi Ben Abdallah), deux palmeraies entretenues (Mekhadma et Ksar) et une autre délaissée (Bala). Pour chacune des stations étudiées, et afin de permettre une caractérisation de la physionomie du paysage, la structure de la végétation et le taux de recouvrement du sol par les plantes, un transect végétal

est établi sur une aire d'échantillonnage de 500 m². Ce choix implique une variabilité floristique et faunistique. Un tel contraste sert à connaître la répartition des mantes en fonction de la nature de ces milieux.

2.3.- Inventaire qualitatif des mantes (larves et adultes)

L'échantillonnage des mantes, larves et imagos, et de leurs fèces, s'est échelonné sur 14 mois, couvrant ainsi toutes les saisons. Les mantes sont essentiellement capturées, *in situ*, soit à vue, soit à l'aide du filet fauchoir, placées aussitôt et séparément dans un sachet en matière plastique, dans un bocal ou dans une boîte de Pétri. Leurs excréments sont récupérés après 24 heures et conservés. Parallèlement à la capture des mantes, différentes techniques sont employées pour la capture des proies (pots Barber, fauchage, et quadrats).

2.3.- Etude au laboratoire

Au laboratoire, la tâche consiste en l'analyse des excréments des mantes où trois phases constituent le mode opératoire. Ce sont la macération par voie alcoolique humide, la trituration et la dispersion. La détermination des espèces-proies ingérées intervient par la suite [8]. Les risques de confusion et d'erreurs de détermination des proies ne sont pas faibles. Très souvent, on se contente de l'ordre ou de la famille. Il est plus rare d'aboutir à l'espèce ou au genre. A partir du fragment trouvé, il est possible de tenter d'estimer la taille de la proie.

2.4.- Exploitation des résultats

Pour la présente étude, quatre paramètres sont pris en considération dont la qualité d'échantillonnage, les indices écologiques de composition et de structure, ainsi que l'indice de sélection.

2.4.1.- Qualité d'échantillonnage

La qualité d'échantillonnage notée Q_E , est représentée par le rapport a/N , a étant le nombre d'espèces vues une seule fois en un exemplaire et N le nombre de relevés [9]. Lorsque N est suffisamment grand, ce quotient tend généralement vers zéro. Dans ce cas, plus a/N est petit plus la qualité de l'échantillonnage est grande et l'inventaire qualitatif est réalisé avec une précision suffisante. La qualité d'échantillonnage est appliquée aux espèces de Mantodea capturées dans les stations d'étude ainsi qu'aux espèces-proies.

2.4.2.- Indices écologiques de composition

Les indices écologiques de composition utilisés, sont les richesses totales (S) et moyennes (s) [9], la fréquence centésimale (FC) [10] et la fréquence d'occurrence ou constance (C) [11]. Ces indices sont utilisés pour caractériser le peuplement des espèces-proies présentes dans les excréments des mantes, et pour chaque catégorie de proie, afin de mieux cerner l'importance relative dans le régime alimentaire d'une mante par rapport à l'ensemble des effectifs de proies ingérées. C'est pour connaître la diversité en espèces-proies potentielles disponibles aux mantes.

2.4.3.- Indices écologiques de structure

Pour l'étude sur les conditions du milieu et le degré de spécialisation des mantes sur le plan du régime trophique et la répartition ou la dispersion des espèces-proies, il est fait appel aux indices écologiques de structure représentés par la diversité de Shannon-Weaver (H), l'équitabilité (E) [9], et le type de répartition [10].

2.4.3.- Indice de sélection

L'indice de sélection ou indice d'Ivlev, permet de comparer l'abondance relative des proies disponibles dans le milieu et le choix des proies consommées par la mante en question [12]. Il offre la possibilité de mettre en évidence la relation qui existe entre les fréquences centésimales des proies trouvées dans les excréments et celles des proies attrapées sur le terrain. Cet indice est plus représentatif quant à la corrélation qui peut exister entre la fréquence relative des peuplements de proies et la sélection des items alimentaires.

3.- Résultats

Les captures effectuées dans les différents écosystèmes de la région d'étude montrent l'existence de 9 espèces de Mantoptera (Tab. I). Elles sont réparties entre 8 genres.

Tableau I.- Inventaire des Mantodea dans la cuvette de Ouargla

Familles	Sous-familles	Espèces
Mantidae	Mantinae	<i>Sphodromantis viridis</i>
		<i>Rivetina fasciata</i>
		<i>Iris oratoria</i>
		<i>Mantis religiosa</i>
	Liturgusinae	<i>Elaea marchali pallida</i>
Empusidae	Empusinae	<i>Empusa guttula</i>
	Blepharodinae	<i>Blepharopsis mendica</i>
Thespidae	Thespinae	<i>Amblythespis lemoroi</i>
		<i>Amblythespis granulata</i>

Les espèces appartiennent à 3 familles de Mantodea dont les Mantidae, les Empusidae et les Thespidae. Les différents biotopes de cette étude ne présentent pas la même richesse en espèces de mantes. A cet effet, le biotope le mieux représenté apparaît celui de la palmeraie avec 9 espèces. L'effet oasis qu'offre la palmeraie grâce à sa diversité floristique menée en strates générant par conséquent des conditions de micro-climats cléments, attire ainsi toutes sortes d'insectes et permet d'avoir une plus grande disponibilité en proies vivantes pour les mantes. Les Empusidae, avec deux espèces se retrouvent exclusivement dans la palmeraie. Cependant, le Chott abrite *Mantis religiosa* et *Amblythespis lemoroi* alors que seule *Iris oratoria* se manifeste dans la Sebkha.

L'examen coprologique des individus capturés fait ressortir que parmi les 14 consommés par *Mantis religiosa*, les Diptera et les Orthoptera sont les plus représentés dans les fèces, soit respectivement 35,7%. Ils sont suivis par les Hymenoptera avec 3 individus (21,4%), et par les Heteroptera (7,1%) (fig. 1). De son côté, la mante pêcheuse *Iris oratoria* a ingéré 29 insectes dont 17 Orthoptera (58,6%), suivie par 6 Diptera (20,7%) (Fig. 2). Les Hymenoptera viennent en troisième position avec 3 espèces (10,3%). Pour *Amblythespis lemoroi*, les Orthoptera viennent au premier rang, avec 6 espèces (66,7%). Les Coleoptera

suivent avec 2 individus (22,2%) (fig. 3). L'examen des fèces des individus d'*Amblythespis granulata* indique que les Hymenoptera sont les plus fréquents avec 3 représentants (60%). Ils sont suivis par les Heteroptera (20%) et par les Diptera (20%) (fig. 4). Chez *Elaea marchali pallida*, l'analyse du contenu de ses excréments révèle que 66,7% sont des Hymenoptera, occupant le premier rang (fig. 5). Les Orthoptera viennent en seconde place avec 2 individus soit 22,2%.

Blepharopsis mendica ou blépharide mendiante a consommé un total de 11 proies. Les Diptera forment avec 5 espèces un taux de 45,5% par rapport au total des insectes consommés (fig. 6) suivi par les Orthoptera et les Hymenoptera soit 18,1% chacun, alors que les Heteroptera et les Homoptera avec respectivement 9,1% ne sont présents qu'avec une seule espèce chacune. L'indice de diversité de Shannon-Weaver appliqué aux espèces-proies varie de 1 bit en septembre à 1,84 bit en mai chez *Mantis religiosa* (tab. II).

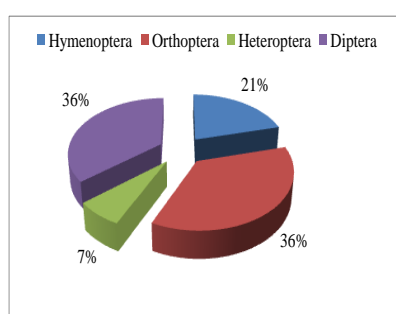


Figure 1.- Spectre alimentaire de *Mantis religiosa*

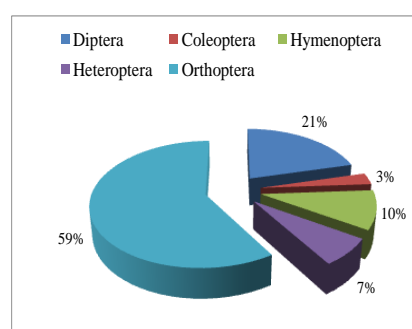


Figure 2.- Spectre alimentaire d'*Irisoratoria*

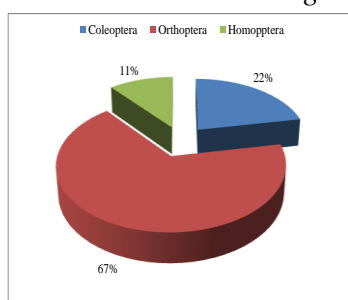


Figure 3.- Spectre alimentaire d'*Amblythespis lemoroï*

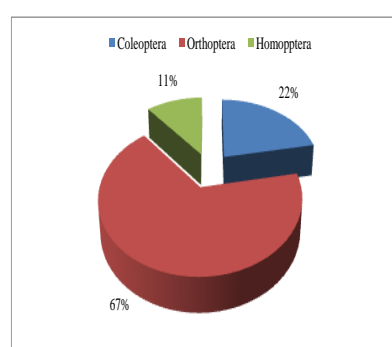


Figure 4.- Spectre alimentaire d'*Amblythespis granulata*

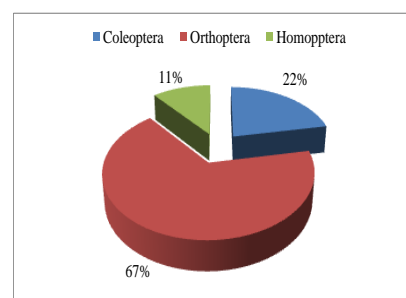
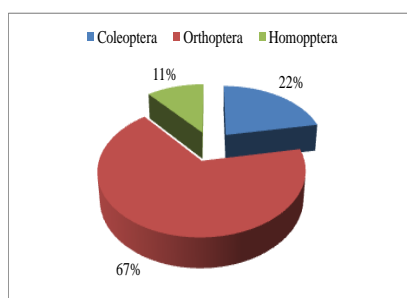


Figure 5.- Spectre alimentaire d'*Elaea marchali pallida*

Figure 6.- Spectre alimentaire de *Blepharopsis mendica*

Tableau II.- Indice de Shannon-Weaver (H') appliqué aux proies d'avril à novembre

Espèces de mantes	Mois	Indices	
		H' (bits)	H' max (bits)
<i>Mantis religiosa</i>	Mai	1,84	2
	Septembre	1	1
	Novembre	0	1
<i>Iris oratoria</i>	Mai	1,83	2
	Juin	1,58	1,58
	Août	0,81	1
	Septembre	1,22	1,58
	Octobre	0,86	1
<i>Elaea marchali pallida</i>	Juillet	1,76	2,58
	Novembre	0,81	2
<i>Amblythespis granulata</i>	Juin	1,37	2,32
<i>Amblythespis lemoroi</i>	Juin	1,5	2
	Août	0,64	1,58
<i>Blepharopsis mendica</i>	Avril	1,5	2
	Mai	1,5	2
	Novembre	0,92	1,58

La valeur de H' est nulle en novembre puisque seulement des Caelifera (Orthoptera) sont retrouvés dans le menu de *Mantis religiosa*. Chez les proies d'*Iris oratoria*, les valeurs de l'indice H' sont faibles, fluctuant entre 0,81 (bit) en août et 1,83 (bit) en mai. Par ailleurs, la valeur la plus élevée de l'indice de diversité de Shannon-Weaver chez les proies d'*Elaea marchali pallida* est affichée en juillet avec 1,76 bit. Cependant, en novembre, elle est moins importante, atteignant 0,81 bit, puisque 2 catégories de proies sont ingurgitées seulement. En juin, la valeur de l'indice de diversité de Shannon-Weaver atteint 1,37 bit chez les proies ingérées par *Amblythespis granulata*. Ces valeurs sont proches de celles enregistrées pour *Amblythespis lemoroi*. En effet, au mois de juin, l'indice de diversité affiche chez cette dernière espèce sa valeur la plus élevée avec 1,5 bit. Cette valeur est faible en août (0,64 bit). Chez les espèces-proies de *Blepharopsis mendica*, les valeurs les plus élevées de l'indice H'

sont notées en avril et en mai soit respectivement 1,5 bit, alors qu'en novembre, cette diversité ne dépasse pas 0,92 bit.

Les espèces-proies ingérées par les Mantodea sont étudiées par classe de tailles. Il apparaît 42,9% des proies de *Mantis religiosa* mesurent entre 3 et 15 mm (fig. 7). Pour *Iris oratoria*, il est à mentionner que durant le mois de mai, ce sont surtout les proies ayant des tailles comprises entre 3 et 22 mm qui sont les plus ingurgitées (fig. 8).

Pour l'indice de sélection (Is) appliqué aux catégories de proies, il est à noter que les Orthoptera avec + 0,31 et les Diptera (+ 0,36) subissent une sélection positive (Tab. III).

Au contraire, les Heteroptera avec - 0,27 et les Hymenoptera (- 0,13), malgré leurs abondances relativement élevés dans le milieu, subissent une sélection négative.

Pour *Iris oratoria*, il semble que toutes ses proies obéissent à une sélection positive, sauf pour les Hymenoptera (-0,43) qui sont pourtant les plus abondants dans le milieu (AR = 25,5%). Les Orthoptera (+ 0,39) sont les mieux sélectionnés suivis par les Heteroptera (+ 0,36) au moment où les Aranea (+ 0,06) sont à peine recherchés par *Iris oratoria*. Pour *Elaea marchali pallida*, toutes les catégories de proies dévorées montrent une sélection positive.

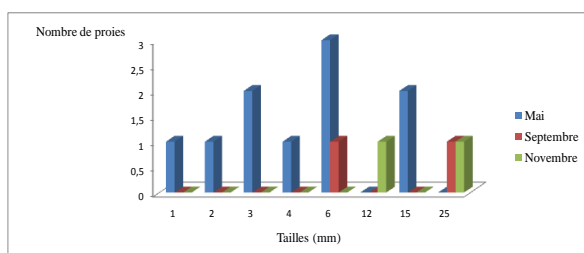


Figure 7.-Tailles des proies consommées par *Mantis religiosa* en mai, Septembre et novembre

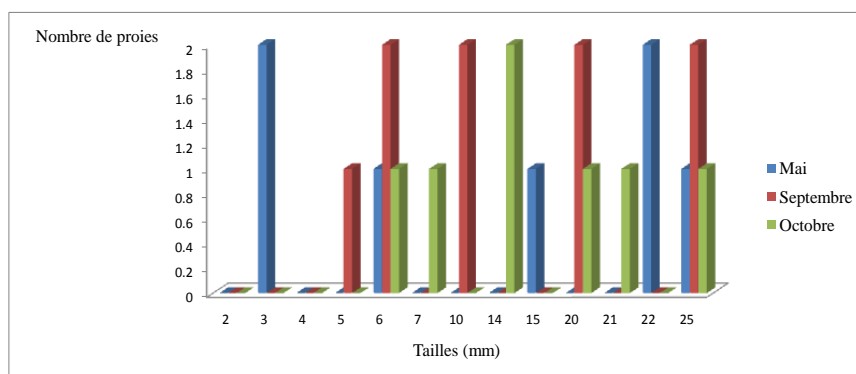


Figure 8.- Tailles des proies consommées par *Iris oratoria* en mai, Septembre et octobre

Trois catégories de proies font l'objet d'une sélection positive par *Amblythespis granulata*. Il s'agit des Diptera (+ 0,42), des Hymenoptera (+ 0,32), et à un degré moindre des Heteroptera (+ 0,19). Malgré que Diptera sont les moins fréquents dans le milieu (AR= 8,1%), ils sont les mieux sélectionnés pour être consommés.

Pour *Amblythespis lemoroi*, la sélection est négative pour les Aranea (- 0,17) et à peine positive pour les Coleoptera (+ 0,02). Cependant, la sélection est positive pour les Orthoptera (+ 0,24). Cette catégorie est la plus fréquente dans le milieu (AR = 36,6%). Par ailleurs, il est probable que *Blepharopsis mendica* ne cherchent pas à attraper les Hymenoptera qui subissent une sélection négative atteignant - 0,39 ni les Homoptera (- 0,30) ni les Orthoptera (- 0,15). Par contre, une sélection positive est notée pour les Diptera (+ 0,10).

Tableau III.- Indice de sélection appliqué aux proies d'avril à novembre
(r: fréquence d'un item dans le spectre alimentaire d'une espèce de mante,
p: fréquence du même item dans le milieu environnant)

Espèces de mantes	Catégories de proies	Indices		
		r (%)	p (%)	Is
<i>Mantis religiosa</i>	Orthoptera	35,7	18,4	+ 0,31
	Heteroptera	7,1	12,5	- 0,27
	Hymenoptera	21,4	28	- 0,13
	Diptera	35,7	16,5	+ 0,36
<i>Iris oratoria</i>	Aranea	3,3	2,9	+ 0,06
	Orthoptera	56,7	24,8	+ 0,39
	Heteroptera	6,7	3,1	+ 0,36
	Coleoptera	3,3	2,4	+ 0,15
	Hymenoptera	10	25,5	- 0,43
	Diptera	20	13,1	+ 0,20
<i>Elaea marchali pallida</i>	Aranea	10	5,4	+ 0,30
	Orthoptera	20	19,4	+ 0,01
	Neuroptera	10	5,4	+ 0,30
	Hymenoptera	60	37,2	+ 0,23
<i>Amblythespis granulata</i>	Heteroptera	20	13,5	+ 0,19
	Hymenoptera	60	31	+ 0,32
	Diptera	20	8,1	+ 0,42
<i>Amblythespis lemoroi</i>	Aranea	10	14,3	- 0,17
	Orthoptera	60	36,6	+ 0,24
	Coleoptera	20	19	+ 0,02
<i>Blepharopsis mendica</i>	Orthoptera	18,2	25	- 0,15
	Homoptera	9,1	17	- 0,30
	Hymenoptera	18,2	41,5	- 0,39
	Diptera	45,5	37	+ 0,10

4.- Discussion

Pour la présente étude, les 9 espèces de mantes inventoriées dans la cuvette d'Ouargla vivent dans les palmeraies. Le chott abrite 2 espèces (22,2%) et la sebkha 1 espèce (11,1%). La palmeraie semble abriter une grande diversité spécifique des Mantodea par rapport aux biotopes humides (chott et sebkha). Cet écosystème, à effet oasis, présente des conditions favorables au développement et à la reproduction des peuplements entomologiques. Ceci se

traduit, pour les Mantodea, par une disponibilité de ressources trophiques en quantité et en qualité variable en fonction des saisons et des conditions écologiques propres à chaque espèce. [13], signalent une vingtaine d'espèces de Mantoptera au Sahara algérien. Les sous-familles renfermant ses espèces sont les Mantinae, Empusinae, Oxyothespinae et Eremiaphilinae. Par ailleurs, 13 espèces de mantes sont signalées dans la région d'Ouargla [14,15,16,17]. Dans une région limitrophe, KORICHI *et al.* (2016) trouvent à Ghardaïa 12 espèces de mantes dont Mantidae (70,1% à 76,1% respectivement pour des palmeraies entretenues et des palmeraies mal entretenues) est la plus riche [18].

L'étude du régime alimentaire des espèces recensées fait apparaître que *Mantis religiosa* n'a consommée que des Insecta. En particulier, les Diptera sont représentés uniquement par des Cyclorrhapha. Cependant, les Orthoptera sont composés en majorité d'Acrididae et de Caelifera avec 14,2% chacun. Elle consomme une grande variété d'Arthropoda [2]. BENREKAA et DOUMANDJI (1997), obtiennent une valeur de 93,3% d'Insecta et 5,8% d'Arachnida [19]. Les Insecta forment la grande partie (90,8 à 95,2%) du régime alimentaire de *Mantis religiosa*, suivis par les Arachnida (4,8 à 8,4%), et par les Myriapoda (0,8%) [8]. L'abondance des Insecta fait d'eux les proies les plus consommées. La même constatation est faite chez les autres espèces étudiées. En effet, CHOPARD (1938) note que les mantes sont toutes carnassières et se nourrissent particulièrement d'Insecta notamment d'acridiens [20].

La diversité permet d'évaluer le nombre des espèces composant un peuplement mais aussi leur abondance relative. Au vu de la diversité des proies dans les fèces examinées des mantes, elle atteint une valeur maximale de 2 bits. BENREKAA (1996) obtient un indice maximal de 4,5 bits en septembre, la plus faible valeur étant remarquée en août avec 1,5 bit dans le littoral algérois [21]. Il reste probable que le menu des mantes reflète la diversité en espèces et l'abondance des effectifs de chaque espèce dans le milieu naturel. En outre, la diversification du tapis végétal et l'amélioration des conditions climatiques offrent aux Insecta la possibilité d'entamer leur développement et de favoriser leur reproduction. KORICHI *et al.* (2016) notent que chez *Amblythespis granulata*, l'analyse du contenu de ses fèces révèle que 37,7% correspond à Orthoptera occupant le premier rang et Diptera qui vient en second (24,5%); d'autres catégories de proies sont faiblement consommées et la diversité reste faible ($H' = 1,58$ bit) [18]. De ce fait, les mantes étudiées sont considérées comme généralistes et opportunistes à l'égard de leurs proies. Dans l'Algérois, les valeurs de H' varient entre 1,58 et 2,86 bits [8]. Les valeurs de H' pour la présente étude, sont relativement faibles, ceci peut être dû au nombre de fèces analysées qui reste faible.

Les proies retrouvées dans les excréments de *Mantis religiosa* sont surtout celles appartenant aux classes 3 et 15 mm (42,9%) et ceux d'*Iris oratoria* mesurent entre 2 et 25 mm. Ces deux mantes s'attaquent à des proies de différentes tailles, ce qui appuie l'hypothèse qu'elles se comportent en prédateurs généralistes. Les proies les plus volumineuses sont des Orthoptera. Chez toutes les mantes, la taille et l'activité de la proie font l'objet d'une estimation. GAVIN (2000) rapporte que les proies capables de se défendre ne sont pas attaquées si elles mesurent plus de la moitié de la taille de la mante [2].

Par ailleurs, la plupart des prédateurs s'attaquent à plus d'un type de proies mais certains sont plus spécialisés. Les prédateurs ont moins besoin de manger que les phytophages, du fait que leur nourriture est plus nourrissante et leur fournit toutes les protéines nécessaires [2]. Les proies de *Mantis religiosa* sont soumises à une sélection qui diffère selon la catégorie. La sélection est positive pour les Orthoptera avec un indice de

sélection de l'ordre de + 0,31 et les Cyclorrhapha sp. ind. (Diptera) avec + 0,36. Malgré leurs fréquences importantes sur le terrain, de l'ordre de 28%, les Hymenoptera ne sont pas recherchés par la mante religieuse et leur sélection est négative (- 0,13). En sachant que *Mantis religiosa* se cantonne dans la strate herbacée, de ce fait, elle possède plus de chance de capturer des Orthoptera et des Diptera que d'autres catégories d'Insecta, surtout s'ils s'y retrouvent en abondance dans le milieu en cette période de l'année. En outre, les Diptera et les Orthoptera possèdent des téguments plus minces et sont plus mous par rapport à d'autres groupes d'Insecta, peut-être aussi parce qu'ils répondent aux besoins nutritionnels et en eau de cette mante au début de l'été. Pour ce qui concerne les espèces, leur sélection pour être dévorées n'obéit pas apparemment à leur présence en abondance sur le terrain de chasse de *Mantis religiosa*. C'est le cas de *Cyclorrhapha* sp. qui possède une valeur de l'indice de sélection positive égale à +0,85 et de *Lygaeidae* sp. (+0,88). La variabilité dans la sélection des proies par les autres mantes reste notable. L'abondance de la proie en termes d'effectifs intervient au moment de la capture. Ce n'est pas le seul facteur régissant le choix alimentaire des Mantodea dans la présente étude. En effet, plusieurs facteurs entrent en jeu dans la sélection d'une proie, tels que son abondance, sa taille, la probabilité de rencontres avec son prédateur et ses capacités de fuite ou de défense. Le comportement alimentaire des mantes dans le choix de leurs proies n'obéit pas toujours et forcément à l'abondance de cette dernière dans le milieu environnant.

Conclusion

La connaissance de la diversité des Mantodea adaptée aux écosystèmes arides, de leur régime trophique, a permis de dégager leur préférence alimentaire. Elles sont insectivores, consommant des proies moyennement variées et de taille différentes. Plusieurs paramètres conditionnent leur comportement alimentaire. L'utilité de la connaissance du régime alimentaire des mantes a toute son importance dans la mesure où ces espèces prédatrices bien adaptées, exercent sur l'environnement un impact positif, en limitant les populations de déprédateurs de cultures dans les agroécosystèmes en milieux arides.

Références bibliographiques

- [1].- Perrot C., 1996 - Les insectes font de la résistance. Sciences et Vie, (942): 92-97.
- [2].- Gavin MC. G., 2000 - Insectes. Coll. l'œil nature, Bordas, Paris, 256 p.
- [3].- Hawlitzky N., Zagatti P., 1987 - Concepts et méthodes de la lutte biologique. Science et Vie, n° spéc: 70-74.
- [4].- Ricou G., 1987 - Pourquoi on a besoin d'eux? Science et Vie, n° spéc: 60-63.
- [5].- Jauffert S., 2007 - Pourquoi la surveillance écologique à long terme dans les zones arides et semi- arides? Sécheresse, 18: 232-233.
- [6].- Rouvillois-Brigol N., 1975 - Le pays de Ouargla (Sahara Algérien). Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Publications Univ., Paris, 316 p.
- [7].- Ould El Hadj M. D., 2002 - Etude du régime alimentaire de cinq espèces d'acridiens dans les conditions naturelles de la cuvette de Ouargla (Algérie). l'Entomologiste, 58 (3-4): 197-209.

- [8].- Benrekaa A., 2003 - Impact de l'activité de quelques Mantidae en milieu agricole dans l'Algérois. Thèse Magister, sci. agro., Inst. nati. agro., El Harrach (Algérie), 191 p. www.ina.dz/.
- [9].- Ramade F., 1984 - Eléments d'écologie, Ecologie fondamentale. Mc Graw-hill, Paris, 397 p.
- [10].- Dajoz R., 1971 - Précis d'écologie. Dunod, Paris, 434 p.
- [11].- Dajoz R., 1982 - Précis d'écologie. Gauthier-villars, Paris, 549 p.
- [12].- Ivlev V., 1961 - Experimental ecology of the feeding of fishes. New Haven, Yal. Univ. Press, New Haven, 36 p.
- [13].- Doumandji S., Doumandji-Mitiche B., 1992 - Les Mantoptères d'Algérie. Mém Soc r belg ent, 35: 613-617.
- [14].- Chopard L., 1943 - Orthoptéroïdes de l'Afrique du Nord. coll. Faune de l'Empire français, Librairie Larose, Paris, 447 p.
- [15].- Bekkari A., Benzaoui S., 1991 - Contribution à l'étude de la faune des palmeraies de deux régions du sud-est algérien (Ouargla et Djamaa). Mémoire Ing. agro., Inst. nati. form. supér. agro. Saha., Ouargla (Algérie), 134 p. <http://www.ouargla-univ.dz/>.
- [16].- Kore Kindjimi B., 1995 - Bioécologie des Orthoptères dans trois stations d'étude dans la cuvette d'Ouargla. Mémoire, Ing. agro., Inst. nati. form. supér. agro. saha., Ouargla (Algérie), 78 p. <http://www.ouargla-univ.dz/>.
- [17].- Bouzid A., 2003 - Bioécologie des oiseaux d'eau dans les chotts d'Ain El Beida et Oum El Raneb (Région d'Ouargla). Thèse Magister, sci. agro., Inst. nati. agro. El Harrach (Algérie), 136 p. www.ina.dz/.
- [18].- Korichi R., Ould El Hadj M.D., Doumadji S, Bia W. et Tartoura M., 2016 - Ecological Impact of Trophic Diet of Mantids in Ghardaïa (Algerian Sahara). Ponte International scientific research journal, 75 (5): 94-106.
- [19].- Benrekaa A., Doumandji, S., 1997.- Comparaison des régimes alimentaires de la mante religieuse *Mantis religiosa* Linné, et de la mante bioculée *Sphodromantis viridis* Forskal, 1775 dans la banlieue d'Alger. L'entomologiste, 53: 253-256.
- [20].- Chopard L., 1938 - La biologie des Orthoptères. Paul Lechevalier, Paris, 541 p.
- [21].- Benrekaa A., 1996 - Contribution à l'étude du régime alimentaire des mantoptères (Mantodea-Orthoptéroïdes) en Algérie. Cas de *Mantis religiosa* Linné, 1758 et de *Sphodromantis viridis* Forskal, 1775. Mémoire Ing. agro., Inst. nati. agro., El Harrach (Algérie), 161 p. www.ina.dz/.