

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

P-ISSN 2170-1318/ E-ISSN 2588-1949

ADRESSE DE LA DIRECTION DE LA PUBLICATION

Algerian Journal of Arid Environment

Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi arides

Faculté des sciences de la nature et de la vie

BP 511, Université Kasdi Merbah-Ouargla

30000 Ouargla, Algérie

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

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

URL: <https://journals.univ-ouargla.dz/index.php/AJAE/navigationMenu/view/Home>
DOI: S10.12816/0008911; <http://www.crossref.org/missingmd?datatype=j&prefix=10.12816>



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

Algerian Journal of Arid Environment

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

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

**P-ISSN 2170-1318
E-ISSN 2588-1949**

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



ALGERIAN JOURNAL OF ARID ENVIRONMENT

REVUE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
LABORATOIRE DE PROTECTION DES ECOSYSTEMES EN ZONES ARIDES ET SEMI ARIDES
UNIVERSITE KASDI MARBH-OUARGLA
P-ISSN 2170-1318/ E-ISSN 2588-1949



| | |
|--|---|
| <p>Directeur de la revue Pr. HALILAT Mohamed Taher</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 Pr. 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 11, avec un astérisque sur l'auteur correspondant. 7.- Les résumés doivent être rédigés en langue de rédaction, en arabe ou anglais, de forme TNR taille 10, italique. Ils doivent comporter cinq mots clés au maximum. 8.- Les illustrations légendées ne doivent pas dépasser cinq illustrations avec mention dans le texte et numérotées en chiffres arabes (figure, photo 1, 2, etc.) et chiffres romains (tableau I, II, etc.). 9.- Les références bibliographiques ne doivent pas être sélectives d'articles de revues, de livre et d'article de livres seulement. Ils seront classés par leur ordre d'apparition dans le texte et appelées dans ce dernier par leur numéro placé entre crochets : - 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 style="text-align: right;">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"> - Dr HADJADJ Soumia - Dr KORICHI Raouf - Dr TELLI Alia - BELDI Nadia | |
| <p>Comité scientifique</p> <p>Pr. COTE M., France Pr. MICHAUD P., France Pr. TRAORE S. A., Burkina Faso Pr. TOUCHAN R., USA Pr. ESNAULT M. A., France Dr PIERRE G., France Pr. FENORADOSOA A., Madagascar Dr SANON S., Burkina Faso Pr. DADDI BOUHOUN M., Algérie Pr. KEMASSI A., Algérie Pr. EL MODAFAR C., Maroc Pr. M'SADAK Y., Tunisie Pr. DUSSAP C. G., France Pr. EL ALAOUI TALBI Z., Maroc Pr. BOURAS N., Algérie Pr. BOUAL Z., Algérie Pr. SOLTANI N., Algérie Pr. ABDELKAFI S., Tunisie Pr. DOUMANDJI S., Algérie Pr. RABILLER C., France Pr. DADDA MOUSSA B., Algérie Pr. BENALAOUA S., Algérie Pr. BOTTON B., France Pr. O/ EL HADJ-KHELIL A., Algérie Pr. THAPON J. L., France Pr. BOUCHEKIMA B., Algérie Pr. SENOSSI A., Algérie</p> | |

Algerian Journal of Arid Environment

“AJAE”

vol. 11, n°1 - 2021

Sommaire

| | |
|--|-----|
| Etat des lieux de la filière laitière en Algérie et perspectives de développements ABDELLI Radhia, SADIA Yasmine, KAUCHE Soumeya*, BENHACINE Rafik | 4 |
| Etude du potentiel probiotique des bactéries lactiques isolées à partir d’<i>Artemia</i> sp. BOUACHA Chahrazed, ALOUACHE Souhila, BENKHALED Amine, ZAIDAT Lotfi Med | 15 |
| Impact de la palmeraie et de la densité du cadre bâti sur le microclimat urbain en milieu oasien HAMEL Khalissa*, BELAKEHAL Azeddine, SAADI Yacine, MELIOUH Fouzia | 24 |
| Influence des méthodes de récolte de la microalgue <i>Dunaliella salina</i> DUNADZ1 sur quelques paramètres nutritionnels YAICHE ACHOUR Hafsa*, SAADI Sid Ahmed, DOUMANDJI Amel, ATTAL Fella-Sara, BOURAS Nouredine, ZITOUNI Abdelghani | 42 |
| Analyse morphométrique et hydrologique du sous-bassin versant du Niaoule (bassin de la Gambie) à l'aide de techniques SIG FAYE Cheikh*, DIÈYE Sidy, FAYE Guilgane | 54 |
| Place de la variété locale de blé dur (<i>Triticum durum</i> l. var Mohamed Ben Bachir) parmi les variétés phares et la nouvelle obtention ‘Boutaleb’ dans la région semi-aride de Sétif en Algérie HADDAD Leïla*, SALMI Manel, BENMAHAMMED Amar, BOUZERZOUR Hammema | 76 |
| Sources of water compensation of the argan grove <i>Argania spinosa</i> l. in Algerian western Sahara KECHAIRI Réda | 90 |
| Phenotypic diversity and PGPR traits of rhizobia nodulating peanut (<i>Arachis hypogaea</i> l.) grown in Algerian sandy soils KRAIMAT Mohamed*, DJANI Halima, MEHAYA El Alia, HADJ MAHAMMED Imane, BOUKHLIFA Lyna Koufaila, BENBITOUR Imane, OULED HADJ AISSA Meriem, HADJ AMMAR Sara, BENSABA Samira, OULED HEDDAR Meriem and BISSATI Samia | 98 |
| Spatio-temporal dynamics of steppic landscapes: Djebel Youssef – Sétif (Algeria) HANANE Gharbi and SABAH Chermat | 114 |
| Proliferation and rooting trials of cuttings the root segments: effect of auxin and date of cutting JDAIDI Nouri*, ALOUI Foued, SELMI Houcine et CHABAANE Abees | 124 |

ETAT DES LIEUX DE LA FILIERE LAITIERE EN ALGERIE ET PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT

ABDELLI Radhia¹, SADIA Yasmine¹, KAOUCHE Soumeya*^{1,2}, BENHACINE Rafik³

⁽¹⁾*Département d'Agronomie, Faculté des Sciences, Université M'hamed Bougara
Route de la gare ferroviaire, Boumerdes 35000, Algérie*

⁽²⁾*Laboratoire de Bioinformatique, Microbiologie Appliquée et Biomolécules (B.M.A.B)
Université M'hamed Bougara, Boumerdes 35000, Algérie*

⁽³⁾*Office National Interprofessionnel du lait et des produits laitiers (O.N.I.L)
Boufarik, Blida 9000, Algérie*

E-mail: s.kaouche@univ-boumerdes.dz

(Received 07 February 2021 - Accepted 07 March 2021)

Résumé.- *La présente étude se propose d'opérer en une analyse de la filière laitière en Algérie à travers l'exploitation des données statistiques récentes fournies par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (M.A.D.R) et par l'Office National Interprofessionnel du Lait et des produits laitiers (O.N.I.L). Elle met l'accent aussi sur les différents dispositifs d'amélioration de la production laitière et ce, depuis la mise en place du Plan National de Développement Agricole (P.N.D.A) afin de pallier le fardeau des importations de lait et dérivés et réaliser de ce fait l'autosuffisance de l'Algérie à l'égard de ce type de protéines.*

Mots-clés: *Collecte, dispositifs d'amélioration, importations, production laitière.*

CURRENT SITUATION OF THE DAIRY SECTOR IN ALGERIA AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Abstract.- *The present study offers an analysis of the dairy sector in Algeria through the use of recent statistical data provided by the Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (M.A.D.R) and by the Office National Interprofessionnel du Lait et des produits laitiers (O.N.I.L). It also emphasizes the various mechanisms for improving milk production since the establishment of the Plan National du Développement Agricole (P.N.D.A) in order to offset the burden of milk imports and to achieve the food independence of our country.*

Key words: *Collection, imports, improvement devices, milk production.*

Introduction

La filière laitière représente un secteur stratégique de la politique agricole algérienne, notamment pour son rôle polyvalent en tant que fournisseur de protéines animales (lait et viande) et de source de revenu. En effet, le lait contribue en moyenne avec 16% dans l'apport protéique journalier, alors que les autres produits d'origine animale tels que les viandes (rouges et blanches) et les œufs n'interviennent qu'à hauteur de 10,24% [1].

L'Algérie est le premier consommateur de lait au Maghreb avec une consommation moyenne de 147 l/habitant/an en 2015 [2]. La production nationale a atteint près de 3,6 milliards de litres en 2019 dont 2,7 milliards de litres de lait de vache représentant plus de 75% de la production totale nationale. Le reste de la production laitière est assuré par les brebis et les chèvres [3].

Les performances de production laitière et de reproduction des races importées (Holstein Pie-Noire et Pie-Rouge) restent inférieures par rapport à leur potentiel de production dans leurs pays d'origine [4]. La productivité annuelle de 295 vaches laitières de la région Nord-centre d'Algérie oscillent entre 3053,4 et 6551,5 kg/ vache, avec une moyenne d'environ 4400 kg [5], alors que les rendements de 822 vaches laitières des régions montagneuses de la wilaya de Médéa ont été estimés à 4884 kg/ vache [6].

La production laitière demeure insuffisante par rapport à la demande en lait qui est estimée à presque 6 milliards de litres pour une population d'environ 40 millions d'habitants [7].

Les zones de production laitière sont localisées au niveau de la frange littorale du pays et les plaines intérieures. L'élevage étant fortement dépendant de la disponibilité en fourrages, il est peu présent dans le sud.

L'objectif recherché dans cette étude est de présenter les différents aspects liés à la production laitière, la collecte et les importations. L'accent sera mis par la suite sur les stratégies et les perspectives de développement de la filière laitière en Algérie.

1.- Evolution des effectifs de bovins et de vaches laitières

En Algérie, l'élevage ovin est prédominant. Il représente 79% du total des effectifs des animaux d'élevage. Il est suivi par l'élevage des caprins avec un taux d'environ 14%, puis l'élevage bovin qui représente seulement près de 6% de l'effectif global dont 51% des vaches laitières. La population cameline représente quant à elle 1% de l'effectif total en animaux d'élevage [8].

L'effectif du cheptel bovin a enregistré une diminution durant les dernières années (fig. 1). Il a été estimé en 2015 à près de 2,2 millions de têtes. Ce taux a connu des chutes consécutives de 3,2 et 8,9% entre respectivement les campagnes 2015/2016 et 2016/2017 et de 2% entre les années 2018 et 2019.

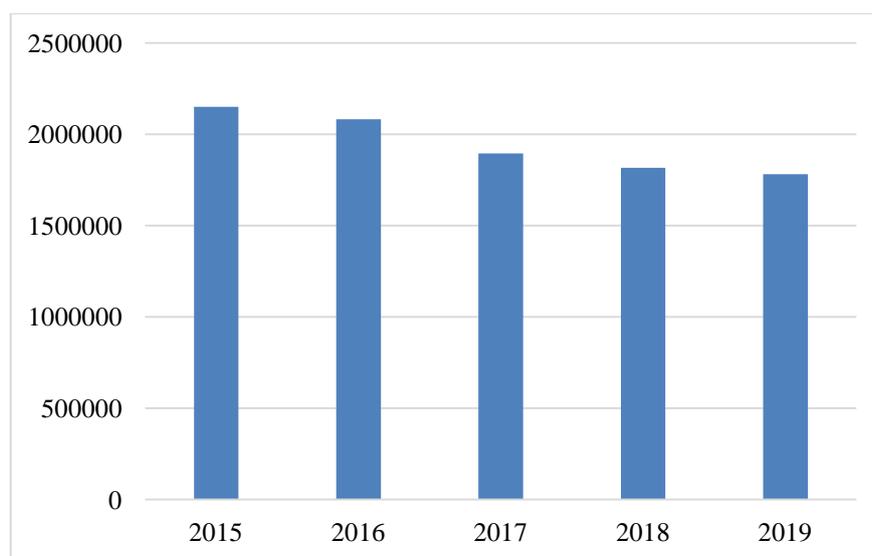


Figure 1.- Evolution des effectifs bovins en Algérie [9]

Les wilayas qui possèdent les effectifs bovins les plus importants sont : Sétif (156879 têtes), soit 8,27% du total national. Elle est suivie par les wilayates de Skikda (136091 têtes) et de Tizi-Ouzou (95346 têtes) avec respectivement 7,2 et 5% du cheptel national [3].

Quant aux effectifs de vaches laitières, ils ont chuté ces dernières années. Ils sont passés de 1,1million de têtes en 2015 à 928 milles têtes en 2019 (fig.2). La chute a été estimée à 3,7 et 8,9% consécutivement pour les campagnes 2015/2016 et 2016/2017 et de 1,63% entre 2018 et 2019.

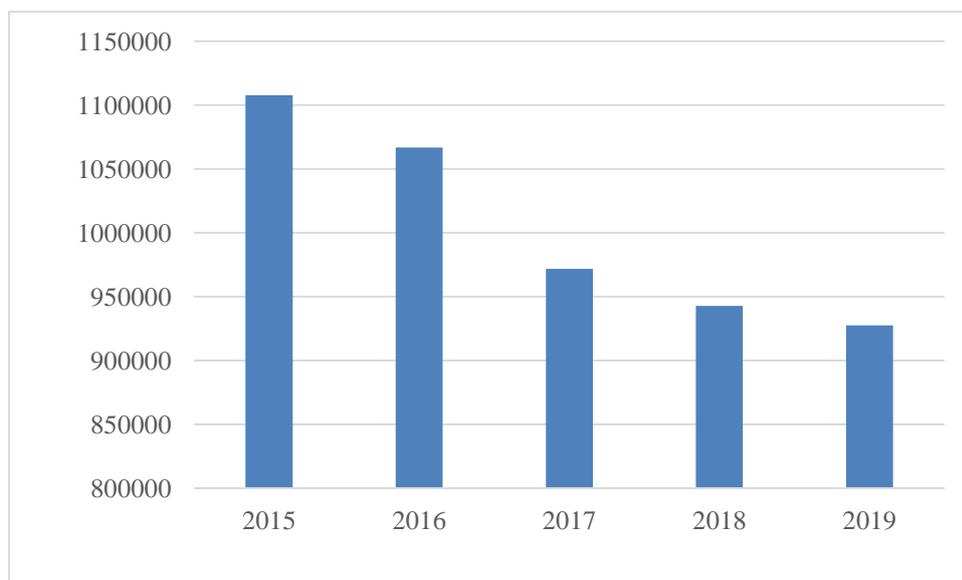


Figure 2.- Evolution des effectifs de vaches laitières [9]

En terme de vaches laitières, la wilaya de Skikda est placée la première avec 82181 têtes suivie par les wilayates de Sétif (77138 têtes) et de Guelma (58503 têtes). Ce qui représente respectivement des taux de 8,45 ; 7,94 et 6,02% du total national en vaches laitières [3].

Cette situation de diminution des effectifs serait probablement due au recul des rendements en fourrages, aux coûts exagérés de la matière première pour la fabrication d'aliments pour bétails, à la sensibilité des vaches importées vis à vis de certaines maladies (problèmes digestifs, mammites, avortements tardifs, brucellose...) [10], ainsi qu'à l'orientation des éleveurs vers la production de viande ou la production mixte suite à la fixation par l'Etat des prix bas à la consommation.

2.- Evolution de la production laitière en Algérie

La production laitière a connu une nette amélioration entre les années 2005 et 2015 passant de 2,7 à 3,6 milliards de litres, soit une croissance de 25%. Cette progression est principalement due d'une part à l'importation de génisses à haut potentiel de production et d'autre part, aux efforts déployés par l'Etat afin de pallier le problème de l'insuffisance de la production laitière nationale.

La production totale a été estimée en 2018 à 3,3 milliards de litres, soit une chute considérable de plus de 8% entre 2015 et 2018. Cependant, les bilans de production de lait

issu des vaches laitières indiquent une chute d'environ 7,45% entre les 2 campagnes successives (2016/2017 et 2017/2018) comme illustré dans le tableau I. En 2019, la production laitière bovine a été estimée à 2,5 milliards de litres [9].

Tableau I.- Bilans de production laitière bovine (2016/2017 et 2017/2018) [3]

| Campagnes | 2016/2017 | 2017/2018 |
|--|------------------|------------------|
| Production x10³ (litres) | 2659432 | 2461226 |
| Taux de chute (%) | 7,45 | |

Durant ces 2 campagnes respectives, la wilaya de Sétif a brillé avec une production la plus importante. Elle est évaluée à 282921×10^3 et 277178×10^3 litres. Soit des taux respectifs de 10,63 et 11,26% du total de la production nationale en lait cru. Viennent après, mais de loin les taux de productions respectifs de 5,89 et 5,51% pour la wilaya de Tizi-Ouzou et 4,79 et 5,24% pour la wilaya de Skikda du total durant les campagnes 2016/2017 et 2017/2018.

3.- Circuit de collecte

Les quantités de lait cru collectées n'atteignent pas 32% du total de la production nationale. Elles ont été estimées en 2017/2018 à 783 millions de litres, soit un taux de 31,82% (tab. II).

Tableau II.- Bilans de collecte de lait de vache (2016/2017 et 2017/2018) [3]

| Campagnes | 2016/2017 | 2017/2018 |
|---|------------------|------------------|
| Quantités collectées x10³ | 841406 | 783302 |
| Taux de collecte (%) | 31,63 | 31,82 |
| Taux de chute (%) | 6,90 | |

Ces volumes collectés jugés très faibles en comparaison avec les quantités de lait cru produites, enregistrent un taux de régression d'environ 7% entre les 2 campagnes (2016/2017) et (2017/2018).

Cette faiblesse s'expliquerait principalement par l'implication limitée des éleveurs de bovin laitier dans ce processus de collecte vu leur important éloignement des centres de collecte et des établissements laitiers ainsi que leurs faibles rendements, ce qui a favorisé l'émergence du circuit de commercialisation informel.

Ces valeurs enregistrées constituent quand même une importante évolution car en 2009, le taux de collecte était de 17,47%, alors qu'il n'a pas dépassé 15% en 2008.

L'amélioration dans ces taux de collecte résultent de l'effet des programmes initiés par le pouvoirs publics à travers l'octroi de la prime de collecte et l'apparition des centres de collecte et de transformation du secteur privé à proximité des zones à haut potentiel de production laitière. Alors que le taux d'intégration n'excède pas 26%.

Le classement par wilaya nous renseigne que la wilaya de Tlemcen arrive en tête de liste avec un taux de collecte très important de 99,91 et 97,02% pour consécutivement les campagnes 2016/2017 et 2017/2018. Viennent après la wilaya de Tizi-Ouzou (60,25 et 63,40%) et de Sétif (32,41 et 27,39%) pour les mêmes campagnes.

La contribution de la majorité des wilayates du sud algérien dans le réseau de collecte est presque nulle puisque l'élevage bovin se trouve concentré dans les régions du littoral algérien.

Néanmoins, plusieurs études se sont intéressées aux potentialités productives des bovins laitiers dans la région saharienne [10-14].

En effet, la région de Ghardaïa située au Sahara septentrional Est algérien, constitue un bassin laitier par excellence où se sont installées depuis quelques années des fermes laitières bovines spécialisées. L'effectif en vaches laitières à Ghardaïa représente près de 64% du total bovin de la wilaya avec une production annuelle moyenne de 15575×10^3 litres et un taux de collecte de 57%.

Par ailleurs, la wilaya de Ghardaïa a été classée au 5ème rang par rapport au taux de croissance de la collecte du lait cru estimé à 15% entre les campagnes 2016/2017 et 2017/2018 après les wilayates d'El-Bayadh, Biskra, M'Sila, et Naama dont les taux de croissance respectifs sont de 120, 63, 55 et 28%. Ce qui suppose que l'élevage bovin laitier soit appelé à gagner une place prépondérante dans cette région à travers l'adoption de stratégies efficaces [11].

Le développement durable de l'élevage bovin laitier en régions sahariennes exige impérativement une amélioration des conditions d'élevage, telles que des bâtiments d'élevage spécifiques au contexte aride et une bonne maîtrise des facteurs d'ambiance du cheptel, notamment durant les périodes du stress thermique [13].

Le nombre de laiteries et de collecteurs conventionnés avec l'ONIL à travers le territoire national enregistrent quant à eux des évolutions respectives de 5 et 12% entre 2017 et 2018 (tab. III).

Tableau III.- Evolution du nombre de collecteurs et de transformateurs entre 2017 et 2018 [7]

| | Nombre de laiteries | Nombre de collecteurs |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Année 2017 | 197 | 1866 |
| Année 2018 | 207 | 2116 |
| Taux d'évolution (%) | 4,83 | 11,81 |

Il est à noter par ailleurs que des quantités importantes de lait distribuées, sont utilisées par des fabricants privés pour un usage industriel (crèmes glacées, les pâtisseries, desserts...) afin d'accroître leurs revenus.

4.- Consommation laitière

Les algériens consomment plus que la moyenne mondiale annuelle fixée par la F.A.O à 90 litres/habitant en lait. En effet, cette consommation a été estimée en 2015 à 147 litres [15]. Ainsi, le citoyen algérien consomme quelques 57 litres/an de plus, cependant, les disponibilités annuelles en lait ont atteint 121 kg par personne, alors qu'elles étaient de 52 kg au Maroc, 42 kg en Egypte et en Jordanie et 111 kg en Tunisie [1].

Par ailleurs, en 2019, la consommation annuelle de lait en Algérie est de 5,9 milliards de litres dont 3,6 milliards sont produits localement, soit un taux d'auto-suffisance de 61%. Le déficit d'environ 2,3 milliards de litres est comblé par les importations. Les origines de ces importations sont principalement la Hollande et l'Uruguay [7].

Cette forte consommation est favorisée par la politique de prix pratiquée par l'Etat qui a encouragé la consommation par rapport à la production en œuvrant pour le maintien à 25 Dinars Algériens (DA) le prix du litre de lait en sachet.

5.- Importations

5.1.- Matière grasse de lait anhydre (MGLA)

Le montant annuel des importations de la MGLA seule a été de l'ordre de 46,64 millions de Dollars en 2018 pour une quantité de 6941 tonnes, soit un montant supérieur à 40% par rapport à l'année qui a précédé où la quantité était de 5009 tonnes pour un montant de l'ordre de 27,92 millions de dollars (fig. 3, 4).

Il est à remarquer que l'année 2014, a enregistré un niveau spectaculaire en MGLA importée. Il était de 16838 tonnes pour un montant de 90,39 millions USD.

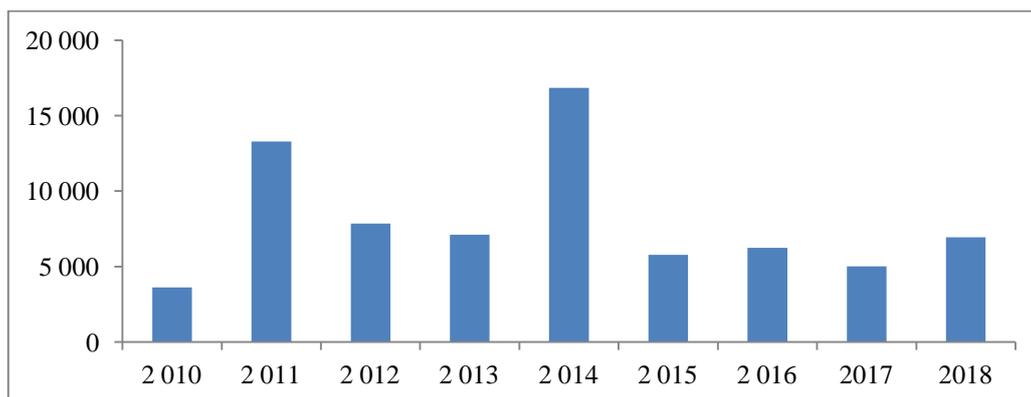


Figure 3.- Evolution des importations en MGLA (tonnes) [7]

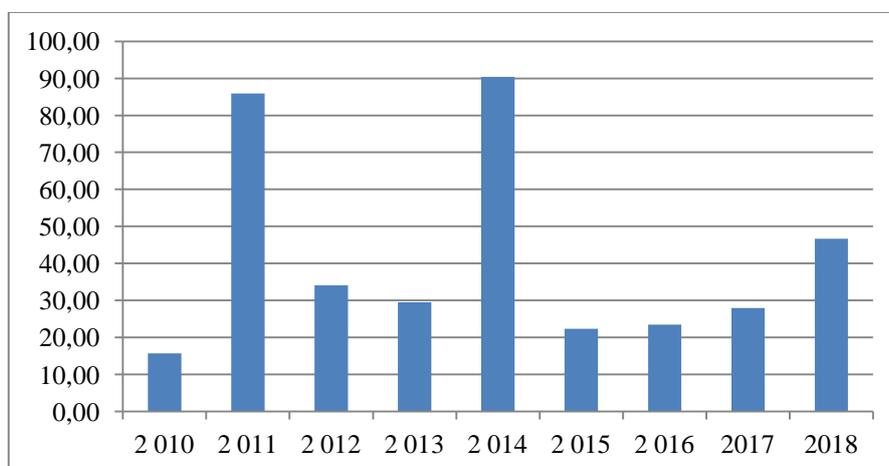


Figure 4.- Montants des importations de MGLA (millions USD) [7]

Ce montant enregistré en 2018 est fortement lié aux prix trop élevés de cette matière première sur le marché international (6720 USD par tonne) comparativement aux années précédentes. Soit une tendance à l'augmentation de 17% par rapport à l'année 2017 et d'environ 44% par rapport à l'année 2016 durant laquelle les prix de cette matière grasse ont observé leurs plus bas niveaux (3757 USD/tonne) et ce, depuis l'année 2010 (fig. 5).

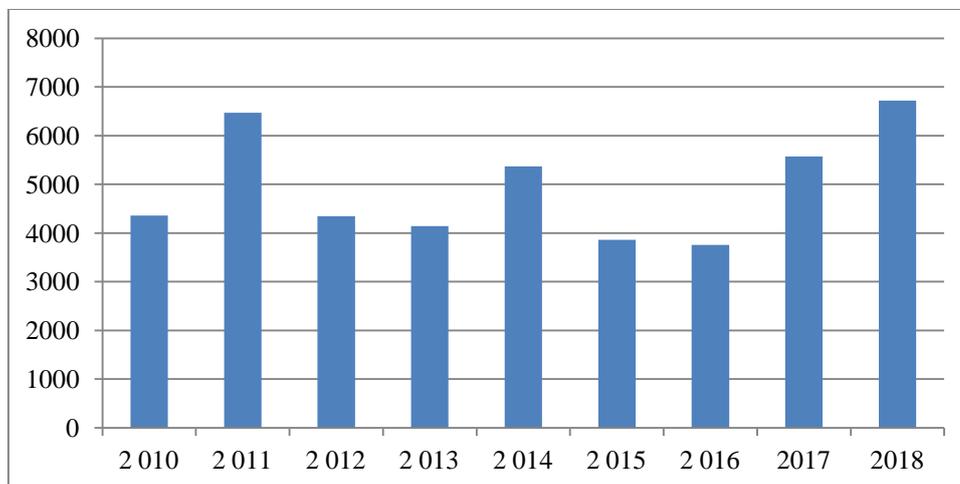


Figure 5.- Evolution des prix (USD/tonne de MGLA) [7]

5.2.- Poudre de lait (PDL)

La poudre de lait importée par l'Office national interprofessionnel du lait a atteint en 2018 plus de 443000 tonnes (fig. 6). Elle est subventionnée par l'État dans le but de combler le déficit enregistré par la production locale et elle est destinée principalement aux laiteries pour la production de lait en sachet.

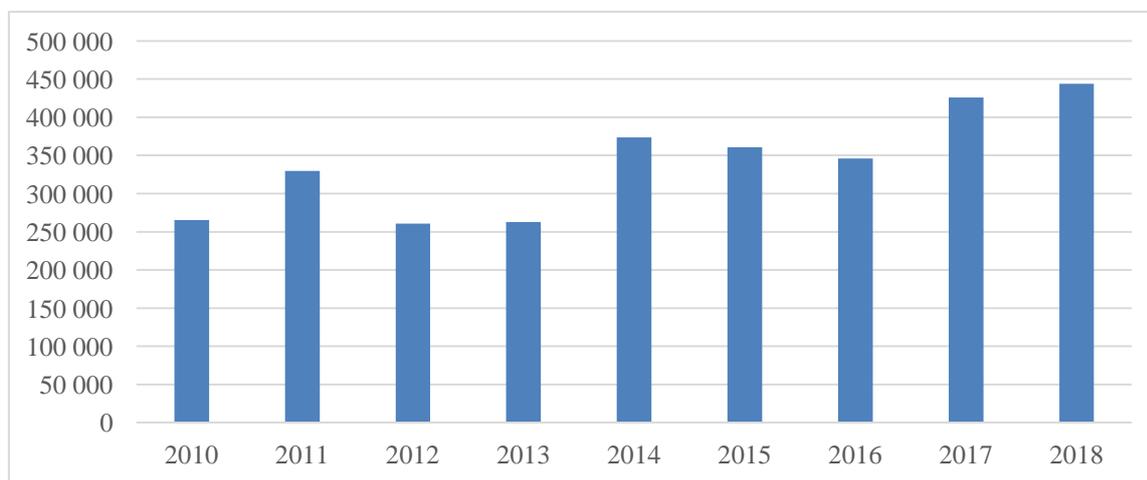


Figure 6.- Evolution des importations en poudre de lait (tonnes) [7]

Une forte augmentation des importations de lait en poudre est observée à partir de l'année 2015 afin de bénéficier des niveaux de prix intéressants suite à la chute des prix sur le marché mondial. Une diminution d'environ 7,4% a été enregistrée comparée avec l'année 2014 où le pic des importations a été atteint (373465 tonnes) depuis 2010. Ces importations ont connu des augmentations progressives en 2017 (425678 tonnes) et ont atteint un maximum en 2018. Soit un taux d'évolution de 4% pour ces deux dernières

années. L'augmentation des importations a été considérable depuis 2012. Le taux d'évolution est presque de 41% entre 2012 et 2018.

Cependant, les réductions enregistrées entre 2012 et 2013 sont dues à la baisse des recettes en devises de notre pays suite à la chute des prix des hydrocarbures ainsi que les mesures prises par l'Etat pour promouvoir la production laitière nationale et réaliser de ce fait l'autosuffisance.

Les prix fixés par le marché international du lait ont eu un impact notable sur la dynamique de développement de la filière laitière en Algérie (fig.7, 8).

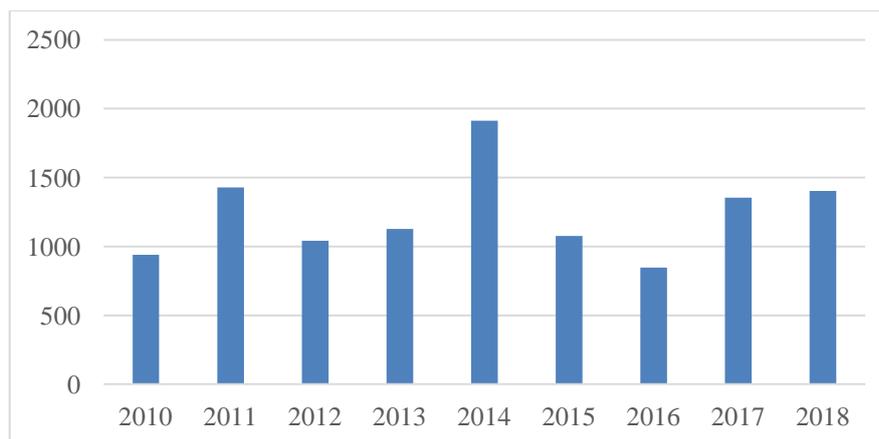


Figure 7.- Montants des importations de PDL (millions USD) [7]

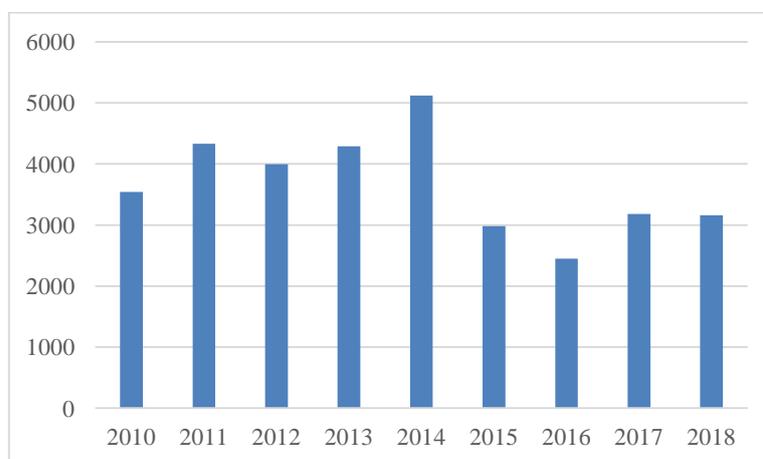


Figure 8.- Evolution des prix (USD/tonne de PDL) [7]

La réduction parfois de la facture des importations s'explique non seulement par le recul des quantités importées mais aussi par la chute des prix à l'importation de cette denrée alimentaire suite à la suppression des quotas laitiers en Europe. Cette baisse des prix selon LAZEREG *et al.* (2020), a certes une allure positive sur le trésor public, mais impacte négativement la collecte locale et par conséquent, le niveau de la production [16].

La facture d'importation de la poudre de lait a reculé à 847,26 millions de dollars (USD) en 2016 contre un peu plus d'un milliard USD en 2015, soit une baisse d'environ 21%.

Les légères augmentations en production de lait cru a permis de réduire la facture des importations en poudre de lait en 2016 d'environ 56% par rapport à l'année 2014 qui a connu la facture d'importation la plus élevée en PDL (1912,14 millions USD). Les années qui suivent 2017 et 2018, ont enregistré des taux d'augmentation de 37,41 et 39,57% comparées à 2016.

Selon l'indice F.A.O des prix des produits laitiers, les prix en 2020 ont enregistré une baisse évaluée à 7,3% au mois d'avril et 19% par rapport à la même période en 2019 [16].

Conclusion

L'état actuel de la production laitière révèle que la filière laitière nationale a connu depuis l'indépendance un faible développement comparativement à la consommation qui ne cesse d'accroître suite à l'expansion démographique et au soutien des prix à la consommation par l'Etat.

Dans le but de relever le défi et d'atteindre l'autosuffisance en lait, des mesures ont été décidées par les pouvoirs publics en faveur des acteurs de ce secteur.

Des mesures incitatives à l'égard des éleveurs, selon un dispositif O.N.I.L- laiterie-banques, sont accordées. Cependant, le montant des primes de soutien à la production et de la collecte sont fixées respectivement à 12 et 5 DA par litre. En plus de la prime d'intégration de 4 DA/ l et 2 DA/l qui constituent la prime sanitaire pour la production d'un lait de qualité et la sécurisation des élevages contre d'éventuelles maladies.

Par ailleurs, une prime selon la teneur en matière grasse du lait livré est accordée par la laiterie:

- Une bonification de 0,50 DA par gramme de matière grasse est appliquée pour un lait cru titrant au-dessus de 34 grammes par litre et plafonnée à 38g de matière grasse.
- Une réduction de 0,50 DA par gramme de matière grasse pour un lait titrant moins de 34 gr de matière grasse/ litre.

Un lait dont la teneur en matière grasse est inférieure à 28 gr/l est refusé par la laiterie. Parallèlement à cela, il a été décidé que le prix de référence du litre de lait cru de vache soit fixé à 50 DA, se répartissant entre 36 DA le prix de cession du lait cru aux laiteries et 14 DA de subvention de l'Etat. Contre respectivement, 34 DA et 12 DA (soit 46 DA) auparavant, alors que le prix d'un litre de LPC est fixé à 25 DA. Ce qui indique clairement que le prix de revient d'un litre de LPC est beaucoup moins cher par rapport à celui d'un litre de lait cru, raison pour laquelle les établissements laitiers optent pour la production de lait à partir de la poudre sans avoir recours à l'intégration du lait cru collecté localement.

En ce qui concerne les matières premières laitières subventionnées :

- La poudre de lait subventionnée par l'Etat (affectée aux laiteries par l'O.N.I.L) devra être utilisée exclusivement pour la fabrication du lait pasteurisé partiellement écrémé, conditionné en sachets et vendu au prix soutenu de 25 DA/litre et du lait reconstitué mélangé avec le lait de vache (intégré) partiellement écrémé, pasteurisé et conditionné en sachets de polyéthylène.
- La poudre subventionnée ne devra en aucun cas être utilisée dans la fabrication des dérivés du lait (yaourt, l'ben, raib...) ou faire l'objet d'une vente en l'état par les laiteries [17].

Références

- [1].- Daoudi A., Bouzid A., 2020. La sécurité alimentaire de l'Algérie à l'épreuve de la pandémie de la COVID-19. Les Cahiers du Cread, 36 (03): 185- 207.
- [2].- O.N.I.L., 2017.- Statistiques de l'Office National Interprofessionnel du Lait, Algérie. <https://www.onil.dz/>.
- [3].- M.A.D.R., 2019.- [15].- M.A.D.R., 2016.- Base de données – Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Informations, Algérie - www.minagri.dz.
- [4].- Kaouche-Adjlane S., Ghoulane F., Mati A., 2015.- Typology of dairy farming systems in the Mediterranean basin (case of Algeria). *Biotechnology in Animal Husbandry* 31 (3): 385-396. <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/14509156/2015/1450-91561503385K.pdf>
- [5].- Kaouche S., Mati A., 2017.- Effets des pratiques d'élevage sur la variation de la qualité hygiénique et nutritionnelle du lait cru dans la région médio-septentrionale d'Algérie. *Revue Médecine Vétérinaire*, 168 (7-9): 151-163.
- [6].- Kaouche-Adjlane S., Boudina M., Ghezali S., 2012.- Evaluation des contraintes zootechniques de développement de l'élevage bovin laitier en Algérie : cas de la wilaya de Médéa. *Revue Nature et Technologie*, 6: 85-92.
- [7].- O.N.I.L., 2019.- Résumé de la stratégie ONIL pour le développement de la filière lait en Algérie. <https://onil.dz/resume-de-la-strategie-onil-pour-le-developpement-de-la-filiere-lait-en-algerie/>
- [8].- M.A.D.R., 2017.- Base de données – Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Informations, Algérie - www.minagri.dz.
- [9].- F.A.O Stat., 2020.- Statistiques agricoles de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Food and Agricultural Organisation, Rome. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data>.
- [10].- Senoussi A., 2008.- Caractérisation de l'élevage bovin laitier dans le Sahara : Situation et perspectives de développement. In Colloque International «Développement durable des productions animales: enjeux, évaluation et perspectives», Alger, 20-21 Avril 2008.
- [11].- Senoussi A., Haïli L., Maïz H A B., 2010.- Situation de l'élevage bovin laitier dans la région de Guerrara (Sahara Septentrional Algérien). *Livestock Research for Rural Development*, 22 (12), <http://www.lrrd.org/lrrd22/12/seno22220.htm>.
- [12].- Debouz A., Guerguer L., Hamid Oudjana A., Hadj Seyd AEK., 2014.- Etude comparative de la qualité physico-chimique et microbiologique du lait de vache et lait came lin dans la wilaya de Ghardaïa. *Revue El Wahat pour les Recherches et les Etudes*, 7(2): 10-17.
- [13].- Ouarfli L., Chehma A., 2018.- Effet du régime alimentaire sur les potentialités laitières des bovins en régions sahariennes : cas de la région Ghardaïa (Algérie).

Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 6 (3): 323-329.

- [14].- Laameche F., Chehma A., 2019.- La chamelle laitière: pour une nouvelle stratégie durable de la filière lait en régions sahariennes; cas de la région de Ghardaïa, Algérie. *Livestock Research for Rural Development*, 31 (9).
<https://lrrd.cipav.org.co/lrrd31/9/laam31149.html>.
- [15].- M.A.D.R., 2016.- Base de données – Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d’Informations, Algérie - www.minagri.dz.
- [16].- Lazereg M., Bellil K., Djediane M., Zaidi Z., 2020. La filière lait algérienne face aux conséquences de la pandémie de la COVID-19. *Les Cahiers du Cread* 36 (03): 227 - 250.
- [17].- O.N.I.L., 2020.- Statistiques de l’Office National Interprofessionnel du Lait, Algérie.
<https://www.onil.dz/>.

ETUDE DU POTENTIEL PROBIOTIQUE DES BACTERIES LACTIQUES ISOLEES A PARTIR D'*Artemia* sp.

BOUACHA Chahrazed, ALOUACHE Souhila, BENKHALED Amine, ZAIDAT Lotfi Mohamed
*Laboratoire de Conservation et de Valorisation des Ressources Marines,
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral
Campus universitaire, Dely Ibrahim, Alger, Algérie*
E-mail: ch.bouacha@enssmal.dz/ chahrazedbouacha@yahoo.fr

(Received 15 October 2020 - Accepted 13 June 2021)

Résumé.- Les bactéries lactiques aquatiques isolées à partir des poissons, des crustacés et des fruits de mer jouent un rôle très important dans la flore intestinale et peuvent être utilisées comme probiotique dans l'élevage aquacole. Le but de ce travail était d'isoler des bactéries à fort potentiel probiotique à partir d'*Artemia* sp. prélevés à partir du chott d'Oum Errenab (Sidi khouiled)-Ouargla. Vingt-trois (23) bactéries lactiques ont été testées pour leur pouvoir antagonisme vis-à-vis dix souches indicatrices. Les souches intéressantes ont été testées pour leurs production d'acide lactique, leurs production de biofilm, ainsi que leurs biosécurité (test d'antibiorésistance et le test d'hémolyse). Les résultats ont montré que 2/23 bactéries lactiques avaient une activité antagoniste contre un large spectre de souches indicatrices. Elles présentaient une bonne production d'acide lactique, et une production moyenne à faible de biofilm. De plus, elles présentaient un bon profil de biosécurité qui se traduit par une sensibilité à la majorité des antibiotiques (chloramphénicol, clindamycine, tétracycline et à l'amoxicilline + acide clavulanique), absence d'une activité hémolytique de type bêta. Ces deux isolats doivent être testés *in vivo* en application aquacole afin de préserver la santé microbiologique de l'environnement et d'améliorer la production aquacole loin des pressions de sélection et de la résistance aux antibiotiques.

Mot-clés : Probiotique, *Artemia* sp., Bactérie lactique, activité inhibitrice, Aquaculture.

PROBIOTIC POTENTIAL OF LACTIC ACID BACTERIA ISOLATED FROM *Artemia* sp.

Abstract.- Aquatic lactic acid bacteria isolated from fish, crustaceans and seafood play a very important role in the intestinal flora and can be used as a probiotic in aquaculture. The aim of this work was to isolate bacteria with high probiotic potential from *Artemia* sp. taken from Oum Errenab (Sidi khouiled) -Ouargla chott. Twenty three (23) lactic acid bacteria were tested for their antagonism against ten indicator strains. The interesting strains have been tested for their lactic acid production, their biofilm production, as well as their biosecurity (antimicrobial resistance test and hemolysis test). The results showed that 2/23 lactic acid bacteria had antagonistic activity against a broad spectrum of indicator strains. They had good lactic acid production, and medium to low biofilm production. In addition, they presented a good biosafety profile which is reflected by a sensitivity to the majority of antibiotics (chloramphenicol, clindamycin, tetracycline and amoxicillin + clavulanic acid), absence of hemolytic activity of beta type. These two isolates must be tested *in vivo* in aquaculture application in order to preserve the microbiological health of the environment and to improve aquaculture production far from selection pressures and antibiotic resistance.

Key words: Probiotics, *Artemia* sp., Lactic acid bacteria, inhibitory activity, Aquaculture.

Introduction

L'artémie est considérée comme un aliment vivant très indispensable dans l'élevage des larves de poisson et de crustacé en raison de sa facilité de production et de sa composition biochimique [1]. Vu son importance économique, des études ont été consacrées aux pathogènes et aux contaminants potentiels, qui causent des fortes diminutions dans la production des cystes et augmentent la mortalité des adultes après l'éclosion. Certaines bactéries associées aux *Artemia* sp. ont un effet bénéfique sur le taux de croissance et le taux de survie [2], comme *Acinetobacter* et *Flexibacter* [3]. Ces dernières peuvent faire l'objet de plusieurs applications dans le domaine aquacole, afin d'améliorer les performances zootechniques des animaux aquatiques, et de garder une bonne salubrité de leurs environnement loin de l'utilisation d'antibiotique.

Les probiotiques sont définis comme des microorganismes vivants qui, lorsqu'ils sont administrés en quantité adéquates, exercent une action bénéfique sur la cellule hôte, tout d'abord en modulant la communauté microbienne ambiante et en assurant une meilleure utilisation de nutriment, en stimulant le système immunitaire de la cellule hôte contre les agents pathogènes, et en améliorant la qualité environnementale de l'animal [4]. L'objectif de notre présent travail est d'isoler des bactéries lactiques associées aux cystes d'*Artemia* sp. échantillonnés à partir des berges du lac salin Oum Errenab-Ouargla, et d'étudier *in vitro*, leurs potentiel probiotique.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Echantillonnage des cystes d'*Artemia* sp.

La récolte des échantillons bruts a été effectuée à partir du chott d'Oum Errenab, commune de Sidi khouiled, wilaya de Ouargla. Le site d'échantillonnage est caractérisé par un climat désertique sec et chaud et une hauteur de 160 mètres du niveau de la mer, le site est situé aux coordonnées géographiques suivantes : 31° 58' 47''N, 5° 25' 6''E. Le traitement et la purification des cystes ont été effectués au laboratoire selon le protocole de SORGELOOS *et al.* (1986) [5].

1.2.- Isolement de bactéries lactiques à partir d'*Artemia* sp.

Un (1) g de cystes hydratés d'*Artemia* sp. a été homogénéisé dans 9 mL d'eau distillée stérile. Après centrifugation à 3000 trs/min pendant 15 min, le surnageant a été inoculé dans du bouillon MRS (Man et Rogosa Sharpe) et incubé à 35°C ± 2°C pendant 24 h puis, étalé sur le milieu gélosé MRS. Après incubation de 48 h à 35°C ± 2 ° C, les isolats ont été purifiés par plusieurs repicages sur milieu MRS [6]. La confirmation de l'appartenance des souches au groupe des bactéries lactiques a été réalisée par des tests morphologiques et biochimiques (coloration de Gram et catalase).

1.3.- Test d'antagonisme

Le test consiste à détecter les bactéries bioactives *vis à vis* des souches potentiellement pathogènes dans le milieu aquatique et/ou pour l'homme : *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Vibrio anguillarum* ATCC 12964, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Vibrio alginolyticus* ATCC 17749, *Listeria innocua* CLIP 74915, *Vibrio fluvialis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Aeromonas* sp. et *Klebsiella*

pneumoniae.

Le test antibactérien a été élaboré selon la méthode des spots, qui consiste à mettre en culture les bactéries lactiques précédemment isolées, pendant 24 h à 37°C sur un bouillon MRS. Un volume de 10 µl de chaque souche, ont été ensuite, déposés en spot sur une mince couche du MRS solide. Après 24 heures d'incubation, 9 ml de la gélose BHI inoculée par 1 ml de la souche indicatrice à une charge de 10⁶ UFC/ml, sont coulés sur les colonies tests formées. Après incubation de 24 heures à 37°C, l'activité antibactérienne est mise en évidence par l'apparition d'un halo transparent autour des spots de bactéries lactiques et elle est estimée par la mesure du diamètre des zones d'inhibition produites en mm [7,8].

1.4.- Test de production d'acide lactique :

La production d'acide lactique de nos souches est estimée par un dosage acide-base. Un ml d'une suspension bactérienne de DO 0,3 (10⁶ - 10⁷ UFC /ml) à 570 nm a été ajouté à 100 ml de bouillon MRS. L'ensemble a été incubé à 37°C pendant 24 h. Les pH initial (6,52) et final (après 72h), ont été mesurés à l'aide d'un pH-mètre électronique. Un volume de 10 ml de culture sont dosés par une solution de NaOH 0,1 N, en présence de deux gouttes de phénolphthaléine à 1% comme indicateur coloré, jusqu'au virage du couleur perceptible. La masse de l'acide lactique produite dans 100 ml de culture est obtenue par la formule suivante [9]:

$$M = Nb \times Vb \times 90 \text{ g} \times 10 \text{ (1)}$$

Nb: normalité de la soude (0,1 N)

Vb: volume en litre de soude ayant servi à neutraliser l'acidité contenue dans 10 ml de la culture

90 g: masse molaire de l'acide lactique

1.5.- Test de production de biofilm

Un volume de 250 µl d'une culture bactérienne de 18h à 37°C et ajusté à une DO = 0,56 – 0,64 à une longueur d'onde de 540 nm, est transféré dans le puits d'une microplaque stérile. Après incubation pendant 6 h à 37°C, chaque puits reçoit un volume de 25 µl de cristal violet à 1%. Après 15 min d'incubation, chaque puits est lavé trois fois avec 200 µl du tampon PBS (phosphate buffer salin) stérile puis le cristal violet est dissous dans de l'alcool éthylique et son absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 540 nm. Les souches bactériennes bioactives sont dites des fortes productrices de biofilm si la DO est supérieure à 0,500, des simples productrices si la DO est entre 0,500 et 0,100 et des faibles productrices de biofilm si la DO est inférieure à 0,100 [10].

1.6.- Antibiogramme

Les bactéries lactiques ont été testées vis-à-vis les antibiotiques suivants : oxacilline 1 µg, chloramphenicol 30 µg, vancomycine 30 µg, tétracycline 30 µg, penicilline 10 IU, Amoxicilline + acide clavulanique 10/20 µg, cefotaxime 30 µg et clindomycine 2 µg. Pour réaliser ce test, les souches bioactives ont étéensemencées sur gélose Mueller-Hinton et incubées pendant 24h à 37°C. A partir de ces cultures pures, des colonies ont été prélevées afin de préparer des suspensions inoculum équivalent au standard McFarland 0,5 (10⁶- 10⁷ cellules/ml) qui sera ensemencée à la surface de la gélose Mueller-Hinton par écouvillonnage. Une fois les disques d'antibiotiques sont appliqués, les boites seront

incubées pendant 24h à 37°C. Les diamètres des zones d'inhibition de croissance autour de chaque disque ont été mesurés. Les résultats sont interprétés selon les recommandations du CA-SFM [11]. Les résultats sont exprimés par (S) sensible, (I) intermédiaire et (R) résistante.

1.7.- Test d'hémolyse

Des cultures d'une nuit de bactéries bioactives ont été ensemencées en stries sur des boîtes de gélose Columbia contenant 5% (p/v) de sang frais, puis incubées pendant 48 h à 37°C. Après incubation, les souches bioactives ont été examinées pour leur dégradation totale ou partielle du sang, qui se révèle par un halo clair autour des colonies productrices de bêta-hémolyse, et par un reflet verdâtre autour des colonies productrice d'alpha hémolyse [12].

2.- Résultats et discussion

2.1.- Isolement des bactéries lactiques et détection de l'activité antagonisme

Un isolement de 23 souches a été effectué à partir des cystes d'*Artemia* sp. Ces bactéries apparaissent sur MRS en petites colonies muqueuses de tailles variables, arrondies de forme lenticulaire avec une couleur blanchâtre à jaunâtre. Elles ont été trouvées à Gram positif sous forme de coques en pair ou en chaîne et catalase négatif, ce qui confirme leur appartenance au groupe des bactéries lactiques.

Après avoir effectué le test d'antagonisme, 4/23 isolats bactériens ont été trouvées bioactives *vis à vis* dix bactéries indicatrices testées. Les diamètres des zones d'inhibition sont représentés en mm dans le tableau I, figure 1.

Tableau I.- Diamètres d'inhibition des 4 bactéries lactiques antagonistes positives *vis-à-vis* des souches indicatrices (A: *E. coli* ATCC 25922, B: *V. fluvialis*, C: *P. aeruginosa* ATCC 27853, D: *V. anguillarum* ATCC 12964, E: *S. aureus* ATCC 25923, F: *V. alginolyticus* ATCC 17749, G: *P. fluorescens*, H: *Aeromonas* sp., I: *K. pneumoniae*, J: *L. innocua* CLIP 74915.)

| souche | Souches indicatrices (mm) | | | | | | | | | |
|--------|---------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
| S.2 | 20 | 19 | 12 | 16 | 15 | 16 | 22 | 13 | 13 | 16 |
| S.3 | 2 | 16 | 11 | 17 | 18 | 8 | 14 | 12 | 20 | 12 |
| S.6 | 14 | 18 | 10 | 22 | 18 | 18 | 27 | 16 | 15 | 17 |
| S.21 | 0 | 16 | 6 | 20 | 16 | 12 | 6 | 2 | 11 | 14 |



Figure 1.- Zone d'inhibition des bactéries lactiques isolées à partir d'*Artemia* sp.

La totalité des souches isolées ont montré une activité inhibitrice contre les agents pathogènes avec des diamètres d'inhibition qui varient entre: 2 et 27 mm. Les souches ont une activité considérable sur les souches indicatrices à Gram négatif que les souches à Gram positif. La souche S.2 avait une forte activité inhibitrice *vis-a-vis* *E. coli* ATCC 25922, *V. fluvialis*, *Pseudomonas fluorescens*, la souche S.3 a une forte activité *vis-a-vis* *S. aureus* ATCC 25923 et *K. pneumoniae*, la souche S.6 a une forte activité *vis-a-vis* *V. fluvialis*, *V. anguillarum* ATCC 12964, *S. aureus* ATCC 25923, *V. alginolyticus* ATCC 17749 et *P. fluorescens* et la souche S.21 a une forte activité *vis-a-vis* *V. anguillarum*. Ces résultats nous permettent de considérer ces souches à potentiel probiotique. Ils sont en accord avec plusieurs travaux qui ont rapporté le rôle probiotique des bactéries lactiques [13,14].

Le pouvoir antagoniste semble être courant chez les bactéries aquatiques. Plus de 60% des isolats provenant du zooplancton étaient bactériolytiques [15], Il est important de rappeler que l'effet d'antagonisme est peut être provoqué par la production des bactériocines, mais aussi par d'autres facteurs d'inhibitions, tel que : la production des acides organiques et le peroxyde d'hydrogène [16].

L'étude menée par SARASWATHI *et al.* (1998) a montré que les individus d'*Artemia* sp. vivants dans des eaux infectées par des souches pathogènes, ne présentent forcément pas des maladies symptomatique. Ce phénomène est encourageant afin d'isoler la flore bactérienne associée aux artemies. Parmi les dix espèces isolées à partir de l'intestin, deux espèces bactériennes à savoir *Alteromonas* sp. et *Acetobacterium* sp. avaient une activité inhibitrice *vis-à-vis* *Vibrio harveyi* et *Aeromonas* sp., avec un diamètre de 3,88 mm et 4,16 mm respectivement, ainsi qu'un fort potentiel probiotique *in vitro* [17].

Suite à leurs capacité d'inhiber un large spectre de bactéries pathogènes pour les espèces d'intérêt aquacole, les souches S.2 et S.6 ont été retenues pour le reste de l'étude.

2.2.- Production de l'acide lactique

Les résultats obtenus (tab. II) révèlent que la production d'acide lactique augmente avec le temps d'incubation entre 0 h jusqu'à 72h, et que le pH du milieu diminue avec l'augmentation de la production d'acide. L'acidité la plus élevée a été observé chez la souche S.6, avec une valeur de 0,821 mg/100 ml. La production d'acides organiques peut limiter la croissance de certaines bactéries hautement pathogènes, dans le cas où ils seront exposés à l'acidité pendant une longue durée [18], ce qui confère aux bactéries lactiques le pouvoir antimicrobien et sa production est classé parmi les critères les plus importants dans la sélection des souches probiotiques. Ces souches peuvent faire l'objet d'une exploitation biotechnologique dans le domaine aquacole car l'addition combinée d'acide lactique permet de retarder la croissance de la flore pathogène sur les produits de la mer. Cela entraîne une extension de la durée de conservation d'une dizaine de jours à 3°C [19]. Des modèles scandinaves envisagent la fermentation lactique dans un but exclusif de conservation prolongée des produits de la mer en rayons frais [20].

Tableau II.- Suivi de la variation du pH et de la production d'acide lactique par les deux bactéries bioactives sélectionnées

| Souche | pH | pH final | Volume de NaOH | | Acide lactique mg/100 ml |
|--------|------|------------|----------------|------------|-----------------------------|
| | 0 h | Après 72 h | 0 h | Après 72 h | |
| S.6 | 6,42 | 3,67 | 0,5 | 11,4 | 0,821 |
| S.2 | 6,13 | 3,84 | 0,4 | 11 | 0,767 |

2.3.- Production de biofilm

Les résultats d'adhésion des souches *in vitro* ont montré que la souche S6 est une souche moyennement productrice de biofilm, contrairement à la souche S2 qui a montré une faible capacité de production de biofilm (fig. 1). L'adhésion aux surfaces de la muqueuse intestinale est un paramètre important permettant aux bactéries probiotiques de coloniser le tractus gastro-intestinal comme les espèces des genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* et certaines espèces d'*Enterococcus*. Ces espèces contribuent à bloquer l'accès des pathogènes aux sites d'adhésion et exercent un effet barrière [21, 22].

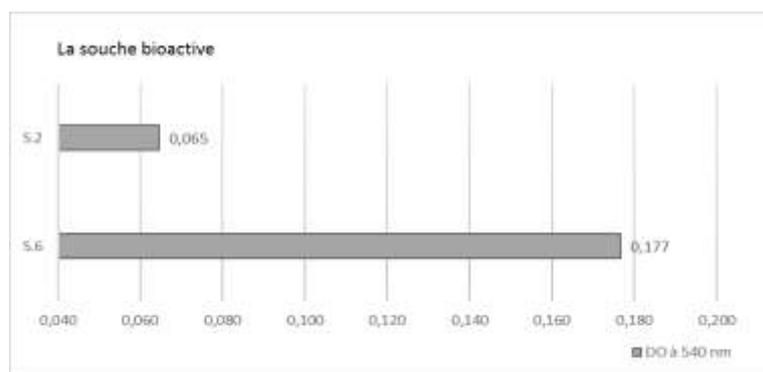


Figure 1.- Adhésion des souches bioactives au plaque à 96 puits
DO > 0,500: forte production de biofilm, 0,100 ≤ DO ≤ 0,500: moyenne production de biofilm, DO < 0,100: faible production de biofilm

2.4.- Propriétés de biosécurité: sensibilité aux antibiotiques et production d'hémolyse

La sensibilité aux antibiotiques est considérée comme le critère d'innocuité le plus important dans la sélection des souches à potentiel probiotique. Les bactéries lactiques sont sensibles à de nombreux inhibiteurs de la synthèse des parois cellulaires, tels que la pénicilline et l'ampicilline, ainsi que les inhibiteurs de la synthèse protéique tels que le chloramphénicol, l'érythromycine et la clindamycine [23, 24]. Les résultats montrent que la souche S₂ était sensible à toutes les familles d'antibiotique, par contre la souche S6 était sensible au chloramphenicol, amoxicillin + acide clavunamique, clindomycine et au tétracycline, intermédiaire *vis-a-vis* la vancomycine, et résistante à l'oxacillin, le cefotaxime et à la pénicilline (tab. III). Les études menées par EL JENI *et al.* (2008) rapporte la sensibilité de l'*Enterococcus* sp. isolées à partir des intestins du mulot aux groupes d'antibiotiques suivants: rifampicine, chloramphénicol, gentamycine et vancomycine, et résistante à d'autres : l'oxacilline, streptomycin, céfazolin, clidomycin, et penicillin [25].

Concernant la production d'hémolyse, les souches S.6 et S.2 ont présenté une dégradation partielle du sang, qui se manifeste par des zones verdâtres autour des colonies ce qui nous renseigne sur la production d'une alpha hémolyse et l'absence de bêta-hémolyse.

Ces résultats révèlent que nos souches ne présentent pas un risque major pour l'hôte lors de leur application.

Tableau III.- Profil de sensibilité des souches bioactives aux antibiotiques
(OX: oxacillin 1 µg, C: chloramphenicol 30 µg, VA: vancomycin 30 µg, TE: tetracycline 30 µg,
P: penicillin 10 IU, AMC: amoxicillin + acide clavulanique 10/20 µg, CTX: cefotaxime 30 µg,
CN: clindomycine 2 µg, S: Sensible, I: Intermediaire, R: Resistante)

| Souche | Disque d'antibiotique | | | | | | | |
|--------|-----------------------|----|----|----|-----|---|-----|----|
| | P | TE | VA | CN | CTX | C | AUG | OX |
| S.6 | R | S | I | S | R | S | S | R |
| S.2 | S | S | S | S | S | S | S | S |

Conclusion

A l'issu de cette étude, deux souches à potentiel probiotique performantes ont été isolées et caractérisées à partir d'*Artemia* sp. Elles ont présenté des propriétés intéressantes telles que le pouvoir antagonisme, la production de l'acide lactique et la capacité d'adhésion. Les tests de biosécurité se sont montrés rassurants où l'ensemble des souches était sensible à une large gamme d'antibiotiques et ne présentait pas un pouvoir beta-hémolytique. L'étude de ces souches mérite d'être approfondie afin de mieux connaître l'effet bénéfique observé chez les souches retenues et d'effectuer des applications *in vivo* en particulier dans le domaine de l'aquaculture.

Références

- [1].- Verschuere L., Geert R., Geert H., Jean D., Sorgeloos P., et Willy V.; 1999.- Microbial Control of the Culture of *Artemia juveniles* through Preemptive Colonization by Selected Bacterial Strains. Applied and environmental microbiology, 65: 2527–2533.
- [2].- D'Agostino, A.; 1980.- The vital requirements of physiology and nutrition. In: G. Persoone, P. Sorgeloos, Roels and E. Jasper (Editors), The Brine Shrimp *Artemia*. Ecology, Culture, Use in Aquaculture. Universa Press, Wetteren, Belgium, 2: 55-82.
- [3].- Intriago P. et Jones D.; 1993.- Bacteria as food for *Artemia*. Aquaculture, 113: 115-127.
- [4].- Subasinghe R., Bartly D. M., Megladdery S., et Barg U.; 1998.- Sustainable shrimp culture development: Biotechnological issues and challenges. In Advances in Shrimp Biotechnology, éd. Flegel, T.W., 13-18 .
- [5].- Sorgeloos P., Lavens, P., Leger P., Tackaert W., Versichele D.; 1986.- Manual for the culture and use of brine shrimp *Artemia* in aquaculture. The Belgian Administration for Development Cooperation. United Nations Food and Agriculture Organization, Belgium, 319p.
- [6].- Idoui T., Boudjerda J., Leghouchi E., et Karam E. ; 2009.- Lactic acid bacteria from “Sheep’s Dhan”, a traditional butter: Isolation, identification and major technological traits. Grasas y Aceites, 60(2): 177-183.
- [7].- Ammor S., Tauveron G., Dufour E., et Chevalier I.; 2006.- Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogenic bacteria isolated from the same meat small-Scale facility. Food control, 17(6): 462-468.

- [8].- Zhu W. M., Liu W., et Wu D. Q.; 2000.- Isolation and characterization of a new bacteriocin from *Lactobacillus gasseri* KT7. *Journal of Applied Microbiology*, 88(5): 877-886.
- [9].- Bouzaine T., Elmajdoub T., Thonart P. H., et Damdi M., 2004.- Sélection des bactéries lactiques probiotiques d'origine animale. *Microbiologie Hygiène Alimentation*, Pp 16-28.
- [10].- Maldonado N. C., Silva de ruiz C., Cecilia M., et Nadermacias M. E.; 2007.- A simple technique to detect *Klebsiella* biofilm-forming-strains. Inhibitory potential of *Lactobacillus fermentum* CRL 1058 whole cells and products. *Proceedings of Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology*, ed. A. Méndez Vilas (Spain: FORMATEX), Pp 52-59.
- [11].- CA-SFM, 2018.- Comité de l'antibiogramme de la Société Française de Microbiologie. Ed. CASFM / EUCAST, Pp 64-70
- [12].- Maragkoudakis P. A., Zoumpopoulou G., Miaris C., Kalantzopoulos G., Pot B., et Tsakalidou E.; 2006.- Probiotic potential of *Lactobacillus* strains isolated from dairy products. *International Dairy Journal*, 16(3): 189–199.
- [13].- Midassirou B., Mahdhi A., Shayib K., et Bakhrouf, A.; 2012.- Recherche des bactéries lactiques et étude *in Vitro* de leurs propriétés probiotiques. *Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire et Environnementale*, 6(2): 147-163.
- [14].- El-Jeni R., El Bour M., Calo-Mata P., Böhme K., Fernández-No I. C., Barros-Velázquez J. et Bouhaouala-Zahar, B.; 2016.- *In vitro* probiotic profiling of novel *Enterococcus faecium* and *Leuconostoc mesenteroides* from Tunisian freshwater fishes. *Canadian Journal of Microbiology*, 62(1): 60–71.
- [15].- NAIR S.; 1986.- Evaluation of teratogenic potential of paranitroaniline and para nitrochlorobenzene in rats and rabbit. *Toxicity of nitroaromatic compounds*, Pp 61-85.
- [16].- Namba, A., Mano, N., and Hirose, H. ; 2007. Phylogenetic analysis of intestinal bacteria and their adhesive capability in relation to the intestinal mucus of carp. *Journal of Applied Microbiology*, 102(5) : 1307–1317.
- [17].- Ringo E. et Gatesoupe J.; 1998.- Bactéries lactiques dans les poissons : un bilan. *Aquaculture*, Pp 177-203.
- [18].- Saraswathi mohan S., Bipin kumar jha, Ajitha mol A., et Michael B.; 2014.- Probiotics from artemia and its application on controlling the bacterial pathogens in aquaculture system. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 5(4): 1168-1172.
- [19].- Champagne C. et Mollgaard H.; 2008.- Production de cultures probiotiques et leur addition dans les aliments fermentés. In : Farnworth E., ed. *Manuel des aliments fonctionnels fermentés*. Boca Raton, FL, USA : CRC Press Taylor et Francis Groupe,

Pp 71-88.

- [20].- Nykänen A., Lapvetäinen A., Hietanen M. et Kallio H.; 1998.- Effects of whey, whey-derived lactic acid and sodium lactate on the surface microbial counts of rainbow trout packed in vacuum pouches. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 31: 361-365.
- [21].- Diop B., Destain J., Tine E. et Thonart P.; 2010.- Les produits de la mer au Sénégal et le potentiel des bactéries lactiques et des bactériocines pour la conservation. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 14: 341-350.
- [22].- Rastall A., Gibson R., Gill S., Guarner F., Klaenhammer R., Pot B., Reid G., Rowland R. et Sanders E.; 2005.- Modulation de l'écologie microbienne du côlon humain par des probiotiques, des prébiotiques et des synbiotiques destinés à améliorer la santé humaine: aperçu des sciences de base et de ses applications potentielles. *FEMS microbiologie écologique*, 52 (2): 145–152.
- [23].- Mahdhi A., Harbi B., Esteban Á., Chaieb K., Kamoun F., et Bakhrouf, A.; 2010.- Using mixture design to construct consortia of potential probiotic *Bacillus* strains to protect gnotobiotic *Artemia* against pathogenic *Vibrio*. *Biocontrol Science and Technology*, 20(9): 983-996.
- [24].- Danielsen M. et Wind A.; 2003.- Susceptibilité de *Lactobacillus* spp. aux agents antimicrobiens. *Journal international de microbiologie alimentaire*, 82: 1-11.
- [25] Vankerckhoven V., Huys G., Vancanneyt M., Vael C., Klare I., Romond B., Entenza M., Moreillon P., Wind D., Knol J., Wiertz E., Pot B., Vaughan E., Kahlmeter G. et Goossens H.; 2008.- Évaluation de la biosécurité des probiotiques utilisés pour la consommation humaine: recommandations du projet EU-PROSAFE. *Trends Food Sci Technol*, 19: 102-114.

IMPACT DE LA PALMERAIE ET DE LA DENSITE DU CADRE BÂTI SUR LE MICROCLIMAT URBAIN EN MILIEU OASIEN

HAMEL Khalissa*, BELAKEHAL Azeddine, SAADI Yacine, MELIOUH Fouzia
Laboratoire LACOMOFA, Département d'Architecture, Université de Biskra, Algérie
 Email: k.hamel@univ-biskra.dz

(Received 26 February 2021 - Accepted 01 June 2021)

Résumé.- Les oasis ont, toujours, été le lieu de regroupements humains en quête d'une adaptation aux conditions rigoureuses des régions sahariennes (sécheresse, aridité sévère du climat, etc.). La palmeraie, dans ces zones hostiles, constitue un élément fondamental dans l'équilibre de leurs écosystèmes, rendant, ainsi, vitale, la relation de ses populations locales avec cette palmeraie de par son impact sur leur vécu économique, environnemental et social. Notre cas d'étude est la ville de « Biskra », une ville oasienne par excellence du Sahara septentrional-est algérien, et ce, de par ses caractéristiques géoclimatiques. Cette ville se distingue par sa large palmeraie, renfermant en son sein un ensemble de quartiers dit « traditionnels ». De par leur originalité, ces quartiers traditionnels sont caractérisés, d'une part, par leur forme assez compacte, et d'autre part, par leur insertion harmonieuse au sein de la palmeraie, qui a été un élément majeur de régulation thermique. De nos jours, il est constaté une réelle atrophie de cette palmeraie, conséquence d'un étalement urbain bâti accéléré et irréfléchi. De ce fait et en plus du facteur du changement climatique universel, le microclimat (caractéristique des quartiers traditionnels du vieux Biskra), s'est trouvé alors radicalement changé. L'objet principal du présent article, est de faire état de l'évaluation de l'apport de la palmeraie et de la compacité du bâti dans l'amélioration des conditions climatiques dans les tissus traditionnels, et de quantifier l'impact de la réduction de l'étendue de la palmeraie sur le microclimat de ces quartiers. Il s'appuie sur une étude expérimentale employant une simulation numérique des conditions microclimatiques, à l'aide du logiciel tridimensionnel ENVI-met. Cette étude a permis de recueillir d'innombrables informations concernant l'effet notable des formes traditionnelles denses insérées dans une palmeraie, sur les variables microclimatiques, et de quantifier cet effet.

Mots clés: Compacité, densité, palmeraie, microclimat urbain, simulation microclimatique.

IMPACT OF THE PALM GROVE AND THE BUILT DENSITY ON THE URBAN MICROCLIMATE IN OASIAN ENVIRONMENT

Abstract.- The oases have always been the place of human regrouping in search of an adaptation to the harsh conditions of Saharan regions (drought, severe aridity of the climate, etc.). The palm grove, in these hostile areas, constitutes a fundamental element in the balance of their ecosystems, thus making the relationship of its local populations with this palm grove vital due to its impact on their economic, environmental and social experience. Our case study is Biskra city, an oasis city by excellence in the South-East of Algeria because of its geoclimatic characteristics. This city is distinguished by its large palm grove which contains a set of so-called "traditional" neighborhoods. By their originality, these traditional districts are characterized, on the one hand, by their rather compact shape, and on the other one, by their harmonious insertion within the palm grove, which has been a major element of thermal regulation. We are witnessing currently a real atrophy of this palm grove as a result of an accelerated and thoughtless built urban sprawl. In addition to the factor of universal climate change, the microclimate, characteristic of the traditional districts of old Biskra, was then radically changed. The main purpose of this article is to report on the assessment of the contribution of the palm grove and the compactness of the building in improving climatic conditions in traditional fabrics, and to quantify the impact of the reduction. of the extent of the palm grove on the microclimate of these districts. It is based on an experimental study employing a numerical simulation of microclimatic conditions, using the three-dimensional software ENVI-met. This study allowed us to gather countless information concerning the notable effect of traditional dense forms inserted in a palm grove on microclimatic variables and to quantify this effect.

Key words: Compactness, density, palm grove, urban microclimate, microclimatic simulation.

Introduction

Selon Larousse en ligne, le terme oasis désigne un «îlot de terrain, apte à la végétation et à l'habitation humaine, perdu au milieu d'espaces désertiques et dont l'existence est généralement liée à la présence de l'eau amenée par conduites (à partir de secteurs plus humides) ou par puits (nappe souterraine)». C'est aussi une «zone fertile dans une étendue de terrains arides» [1]. Ce nom est d'origine grecque, mais il a été employé par les Egyptiens en premier lieu, puis par Hérodote, aux masses de verdure qui se trouvaient dans le désert de la Libye [2]. Les oasis ont, toujours, été le théâtre de regroupements humains en quête d'une adaptation aux conditions rigoureuses des régions sahariennes (sécheresse, aridité sévère du climat, etc.). La palmeraie, dans ces zones fragiles, constitue un élément fondamental dans l'équilibre de leurs écosystèmes, rendant, ainsi, «vitale», la relation de ses populations locales avec cette palmeraie, de par son impact sur leur vécu, sur les plans: économique, environnemental et social. De nos jours, les oasis sont en danger en raison de la dégradation progressive de leurs palmeraies. La cause principale de cette situation, c'est l'urbanisation rapide qui ne cesse d'altérer les écosystèmes naturels et semi-naturels, entraînant la perte de végétation, de biodiversité, d'espaces ouverts et modifiant les cycles hydrologiques et biogéochimiques [3,4]. Biskra qui était une ville oasis par excellence, avait une palmeraie qui s'étendait sur une large surface, constituant ainsi un facteur majeur dans la formation d'un microclimat clément pour les habitants de la ville, face à la sévérité du climat aride et chaud de cette région. Malheureusement, cette palmeraie contenant en son sein des quartiers dits traditionnels, connaît actuellement une réelle atrophie. Cette dernière a contribué significativement dans le changement climatique que connaît la ville. Ajoutons à cela, l'impact négatif du changement climatique universel, et des nouvelles formes d'urbanisation inadaptées au contexte (avec toutes ses dimensions: physique, sociale, culturelle, climatique, etc.), et qui sont en totale rupture avec les formes traditionnelles parfaitement intégrées à leur environnement, par leur morphologie compacte.

L'intention à travers cet article est d'attirer l'attention sur une question alarmante, celle de la disparition progressive de la palmeraie et de son impact sur le bioclimat, et de mettre l'accent sur les avantages des formes urbaines traditionnelles compactes qui sont actuellement délaissées au profit de nouvelles formes inadaptées au contexte. Comme objectifs, il est visé à quantifier l'impact de la disparition de la palmeraie sur le microclimat des tissus traditionnels, et à évaluer le degré d'efficacité climatique des formes traditionnelles compactes.

1.- Cadre théorique de l'étude

1.1.- Le végétal, la ville et l'homme

D'une manière générale, l'élément végétal présente d'innombrables avantages, sur les plans: économique, social, psychologique, écologique et climatique, etc. Il existe un consensus universel sur le rôle bénéfique des espaces verts sur la santé et le bien-être de l'homme [5-8], ainsi que sur son confort psychologique [9]. Une étude sur la perception de la qualité de l'environnement résidentiel [10] a conclu que la présence de la verdure est un facteur majeur pour avoir des endroits positifs. Sur le plan climatique, GIVONI (1991) a résumé les bienfaits de la végétation dans: l'amélioration du climat urbain, la réduction de la pollution atmosphérique et la diminution du bruit urbain [11]. De ce fait, l'élément vert constitue un facteur clé pour atténuer les effets néfastes de l'urbanisation (pollution, effet

de serre, changement climatique, etc.) [12-14], et pour créer des microclimats appropriés pour la vie humaine [15], surtout dans les zones fragiles telles que les zones arides et chaudes.

1.2.- Le végétal et le climat des zones désertiques: «effet oasis»

Par rapport aux zones désertiques, plusieurs études ont évoqué ce qu'on appelle «effet oasis» (oasis effect en anglais), et qui se réfère au phénomène du «cooling effect» causé par la végétation [16-20]. L'effet oasis est défini comme étant un refroidissement par évaporation dû aux différences d'équilibre énergétique entre l'oasis et le désert environnant. Par ailleurs, selon POTCHTER *et al.* (2008), les études sur l'influence de la végétation sur les paramètres climatiques utilisent souvent l'expression d'«effet oasis» pour décrire le phénomène de refroidissement par la végétation, ou plutôt la modification de la concentration en eau de la surface entraînant une variation progressive des flux de chaleur et de vapeur d'eau, même si ces études sont menées dans divers climats et milieux urbains ou ruraux [16]. Il s'agit bien des études de JONSSON (2004) [21], OKE (2002) [22], SPRONKEN-SMITH *et al.* (2000) [23], TAHA *et al.* (1991) [18] et RIOU (1990) [24]. En plein désert, les oasis qui constituent des zones humides, créent leur propre microclimat. Ce dernier se caractérise par rapport au climat environnant, par la réduction des températures et du rayonnement direct, ainsi que par la modération de la vitesse du vent. L'effet oasis née non seulement de l'effet d'évaporation qui consomme une importante quantité d'énergie et refroidit l'air, mais aussi de deux autres phénomènes essentiels et qui sont: l'ombre créée par la végétation et qui intercepte le rayonnement solaire direct et l'empêche de réchauffer la surface du sol, ainsi que le refroidissement par rayonnement terrestre nocturne [16,20]. L'étude de BENCHEIKH and RCHID (2012) sur la ville de Ghardaïa, a montré que les températures de l'air au centre des jardins de palmiers étaient inférieures de 5 à 10° C par rapport aux autres sites bâtis dépourvus de végétal [25].

1.3.- « La compacité »: une forme urbaine adaptée au désert

Les établissements humains sahariens ne se sont pas adaptés aux conditions difficiles des régions désertiques, uniquement, à travers le choix des oasis comme sites, mais aussi à travers l'adoption de formes urbaines compactes, efficacement intégrées à leur environnement physique, spécialement climatique, et de ce fait, elles avaient un microclimat plus modéré que celui environnant. En Algérie, l'exemple de la compacité des «Ksour» du sud, a toujours suscité l'intérêt des chercheurs, et il a été communément admis que cette morphologie urbaine présente une certaine efficacité climatique et énergétique. Néanmoins cette dernière a été remise en cause par certains chercheurs. A ce titre, ALI-TOUDERT *et al.* (2005) [26] ont cité les travaux de GIVONI (1998) [27], et MEIER *et al.* (2004) [28], selon lesquels les avantages de cette forme traditionnelle et les techniques employées dans son architecture ont été surestimés, et que son inertie thermique excessive, par exemple, entrave le refroidissement nocturne par rayonnement, ce qui cause un inconfort durant la nuit. Mais l'étude expérimentale quantitative de TOUDERT *et al.* (2005) [26], qui a investie l'efficacité des solutions de conception traditionnelles pour assurer des conditions extérieures confortables, a obtenu des résultats différents. Les résultats montrent un inconfort thermique, en été, dans les espaces non ombragés, avec des températures moyennes radiantes et des températures physiologiques équivalentes atteignant un maximum de 74 et 55°C, respectivement, et confirme qu'un rapport élevé du prospect est une stratégie efficace pour réduire l'inconfort thermique des personnes au niveau de la rue. Les conclusions de cette étude soutiennent l'hypothèse de l'efficacité des

formes compactes au désert. Par ailleurs, la revue de la littérature montre que les études sur la compacité sont restées dans l'état descriptif, et que peu d'études seulement ont examiné objectivement, c'est-à-dire à travers des paramètres mesurables, ses impacts climatiques [26,29-31].

La présente étude se propose d'examiner l'effet de la palmeraie et de la compacité du cadre bâti sur les conditions climatiques dans l'un des quartiers traditionnels de la ville de Biskra, à travers deux scénarios pour le même site. Le premier scénario conservera le site existant sans aucun changement. Le deuxième scénario, représentera le cas de l'absence complète de l'élément végétal du site. A travers ce deuxième scénario, où on conservera uniquement le cadre bâti, on examinera l'impact de la compacité de la masse physique sur le microclimat et le confort thermique. On se contente, dans ce propos, des résultats de la saison estivale, en raison de ses conditions climatiques extrêmes et de leur effet notoire sur le stress thermique humain.

2.- Cas d'étude

Le cas d'étude de la présente recherche est le cas de la ville de Biskra. Cette ville algérienne, qui s'étale sur une surface de 127,55 km², est située au pied sud de la chaîne montagneuse de l'Atlas Saharien, sur une latitude de 34°48' au nord, une longitude de +5°44' Est, et à une altitude de 88 m au-dessus du niveau de la mer. Elle a été fondée à l'origine selon un système oasien, sous forme d'une ville au sein de la palmeraie. L'espace sur lequel elle était assise était constitué en grande partie d'une palmeraie qui représentait 90% de l'espace de la ville [32]. La destruction de la palmeraie qui ne compte actuellement que 5% de la surface totale, n'a pas été sans conséquences sur le climat, en augmentant le taux d'évaporation, de réflexion de la chaleur, et en accélérant la désertification. A cet égard, une étude analytique des séries chronologiques des facteurs météorologiques [33] a indiqué que la ville connaît actuellement les symptômes d'un changement climatique très apparent, d'où la nécessité d'y remédier en urgence.

Biskra est caractérisée par un climat désertique. Tout au long de l'année, la pluie y est très rare. Selon la classification de Köppen-Geiger, le climat est de type BWh (Climat désertique chaud et sec). Biskra affiche une température annuelle moyenne de 21.8°C. Sur l'année, la précipitation moyenne est de 141 mm [34]. Les étés sont caniculaires, les hivers sont longs et frais et le climat est sec et le ciel, dans l'ensemble est dégagé tout au long de l'année. Au cours de l'année, la température varie généralement de 7°C à 40°C [35]. La saison très chaude se prolonge du 8 juin au 10 septembre, avec une température moyenne maximale supérieure à 35°C. La température moyenne maximale est de 40°C et la minimale est de 29°C. L'analyse des températures horaires moyennes démontrent un inconfort et un stress thermique, durant une longue période de l'année. L'humidité reste généralement faible, entre 10 et 50%. L'évaporation est importante, elle atteint les 2600 mm comme moyenne annuelle. Le rayonnement solaire est très important et direct. La durée d'ensoleillement est importante pendant toute l'année et surtout en juillet. La vitesse moyenne mensuelle des vents est sensiblement moins élevée au cours des dernières années. Ceci est dû à l'urbanisation et à la destruction du couvert végétal (palmeraie).

3.- Présentation du site étudié

Le quartier choisi pour la présente étude, est l'un des quartiers les plus anciens dans le vieux Biskra (selon certains auteurs, c'est le premier noyau fondé), il s'agit bien du

quartier «M'cid». Il se situe au sud-est de la ville, à proximité de l'Oued de Biskra. Ce type d'habitat traditionnel présente l'un des éléments originaux de la ville. Il est "caractérisé par son intégration parfaite à l'intérieur de la palmeraie, d'une manière semi-dispersée, qui reste une caractéristique particulière, de l'habitat des zones arides et semi-arides en général" [32].

Toutefois, ce quartier et ce type d'habitat généralement, a connu une grande mutation, surtout par l'introduction des matériaux de construction nouveaux qui ont altéré le niveau d'intégration à l'environnement naturel, et spécifiquement l'adaptation au bioclimat.

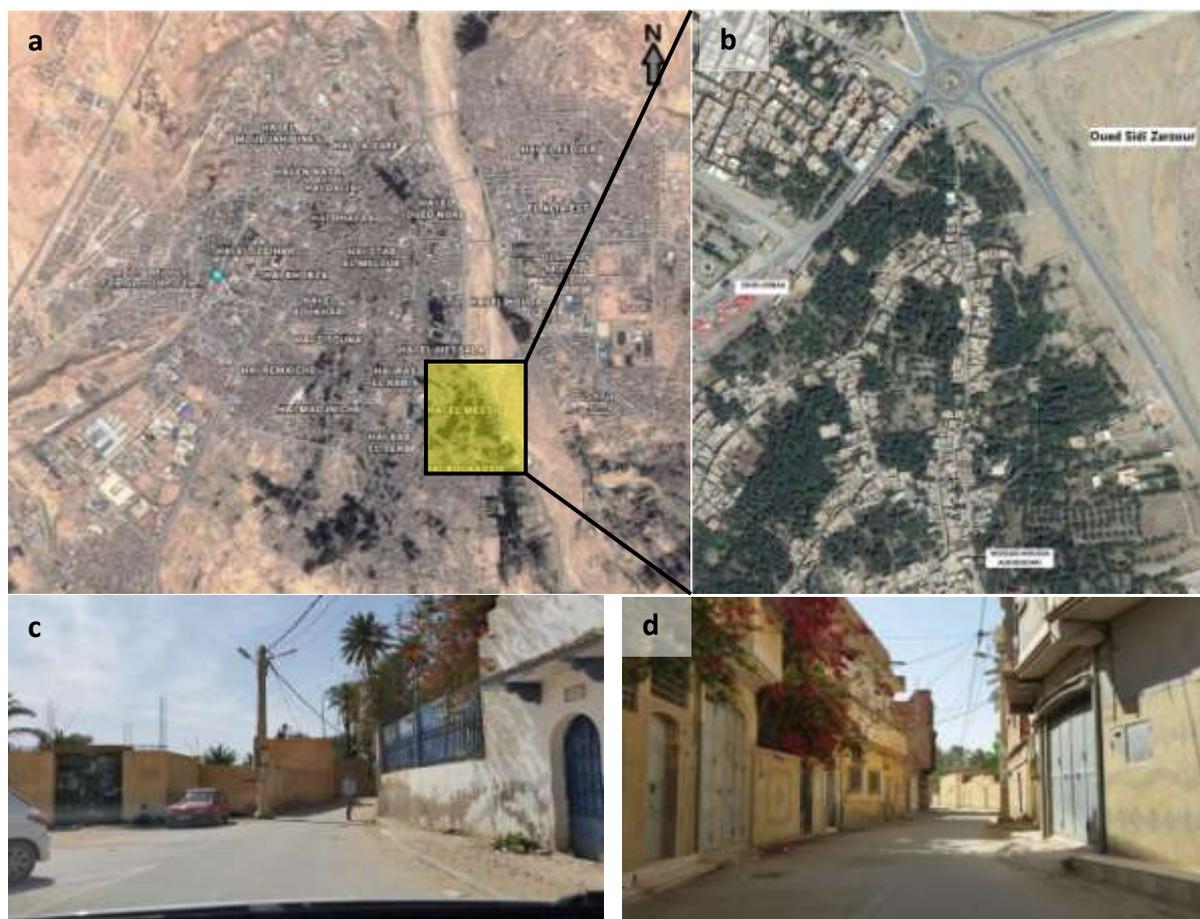


Figure 1.- Site d'étude (a) Situation du site par rapport à la ville (b) Quartier M'cid (c) Entrée du quartier; (d) Introduction de nouveaux matériaux de construction (Google Earth, 2019; Auteur, 2016)

3.1.- Forme et densité du quartier

La structure urbaine de ce quartier est linéaire, relativement hiérarchisée et forme parfois des boucles ceinturant le bâti. Le système viaire est composé de rues, de ruelles, d'impasses et de passages couverts, dont la largeur varie, respectivement, de entre 6-8m, 3-2m, 1.5-2m. La plage de variation du prospect est importante: d'un rapport de 0.29 à 3.5 avec une valeur intermédiaire de 1.16. Les répercussions favorables de ces valeurs résident dans la protection des rues et des façades contre les gains énergétiques par le rayonnement solaire direct à travers la création de zones d'ombre. Les rues sont orientées longitudinalement nord-sud, avec une inclinaison légère vers l'est ou vers l'ouest, ou bien nord-est/sud-ouest, alors que les impasses, les ruelles et les passages couverts sont orientés

est-ouest dans la plupart des cas. Les îlots sont caractérisés par leur linéarité et par leurs proportions variées. Le bâti est organisé dans une seule direction, où les habitations sont juxtaposées formant une ligne discontinue interrompue par des vides. La hauteur des bâtiments varie entre un à quatre niveaux parfois. Le coefficient de forme dans cet échantillon est de 0.29. Le matériau utilisé autrefois était la terre –sous forme de toub- avec lequel on construit des murs d'une épaisseur allant de 40 à 60 cm et qui sont couverts par une couche de terre, transformée actuellement en mortier de ciment. Les planchers intermédiaires et les toitures sont réalisés avec les troncs de palmiers et de la terre. Mais aujourd'hui, et depuis un certain temps, ces matériaux et techniques ne sont plus utilisés pour les nouvelles constructions, c'est le béton armé et maigre, le parpaing, la brique, l'hourdis, etc. qui s'y substituent. Le recours à ces nouvelles alternatives n'était pas sans conséquences sur le microclimat de ce type d'habitat. Dans sa dimension urbaine, ce tissu est conçu sous forme de groupements compacts éparpillés et ordonnés le long du Zgag (rue relativement étroite). Ce schéma représente le fondement de l'urbanisme oasien qui repose sur une coexistence entre l'habitat, et la palmeraie. Le coefficient d'emprise au sol (CES) brut dans cet échantillon est de 0.69 [36].

4.- Méthodologie de l'expérience

Afin d'évaluer l'impact de la compacité du cadre bâti et de la palmeraie sur le microclimat, on a opté pour une simulation numérique des conditions microclimatiques (température de l'air, humidité relative, vitesse de l'air, température moyenne radiante), à l'aide de la dernière version du logiciel tridimensionnel ENVI-met (V4.4.3) [37]. Ce dernier est choisi pour sa capacité de traitement de tous les phénomènes microclimatiques (thermique, aérodynamique, solaire, etc.), avec des fortes résolutions spatiotemporelles.

4.1.- Présentation du logiciel de simulation

ENVI-met est un modèle microclimatique tridimensionnel conçu pour simuler les interactions surface-plante-air en milieu urbain avec de fortes résolutions allant jusqu'à 0,5 m dans l'espace et de 1 à 5 secondes dans le temps. ENVI-met permet la simulation du microclimat urbain et l'évaluation des effets de l'atmosphère, de la végétation, des bâtiments et des matériaux.

Le modèle est composé de quatre principaux systèmes: sol, végétation, atmosphère et bâtiment. Les équations de base du modèle physique sont liées au débit d'air moyen, à la température et l'humidité, à la turbulence et les processus d'échange, et aux flux radiatifs. Le système du modèle complet comprend un certain nombre de modèles supplémentaires, tels que des modèles biométéorologiques ou de dispersion de particules [38]. En tant que programme CFD, ce logiciel a fait l'objet de plusieurs validations dans différents climats, tel que le climat continental de Fribourg en Allemagne [39], le climat subtropical humide de Guangzhou en Chine [40], le climat méditerranéen chaud avec été sec de Fès au Maroc et de Constantine en Algérie [41,42], le climat désertique de Phoenix aux USA et Dubaï en EUA, [43,44], le climat équatorial de Singapour [45], et le climat subtropical humide chaud sans saison sèche de Saga au Japon [46]. Par ailleurs, il existe une large littérature validant les résultats du modèle ENVI-met [47,48] et concluant que ce logiciel reproduit les données mesurées avec une précision adéquate et que c'est un outil fiable pour simuler divers scénarios urbains [49].

4.2.- Périmètre d'étude et scénarios simulés

Le périmètre choisi pour cette simulation englobe: le bâti, la palmeraie et une partie de l'environnement immédiat (fig. 2). Deux scénarios ont été choisis: le premier scénario conservera le site existant sans aucun changement (bâti +palmeraie). Le deuxième scénario, représentera le cas de l'absence complète de l'élément végétal du site.

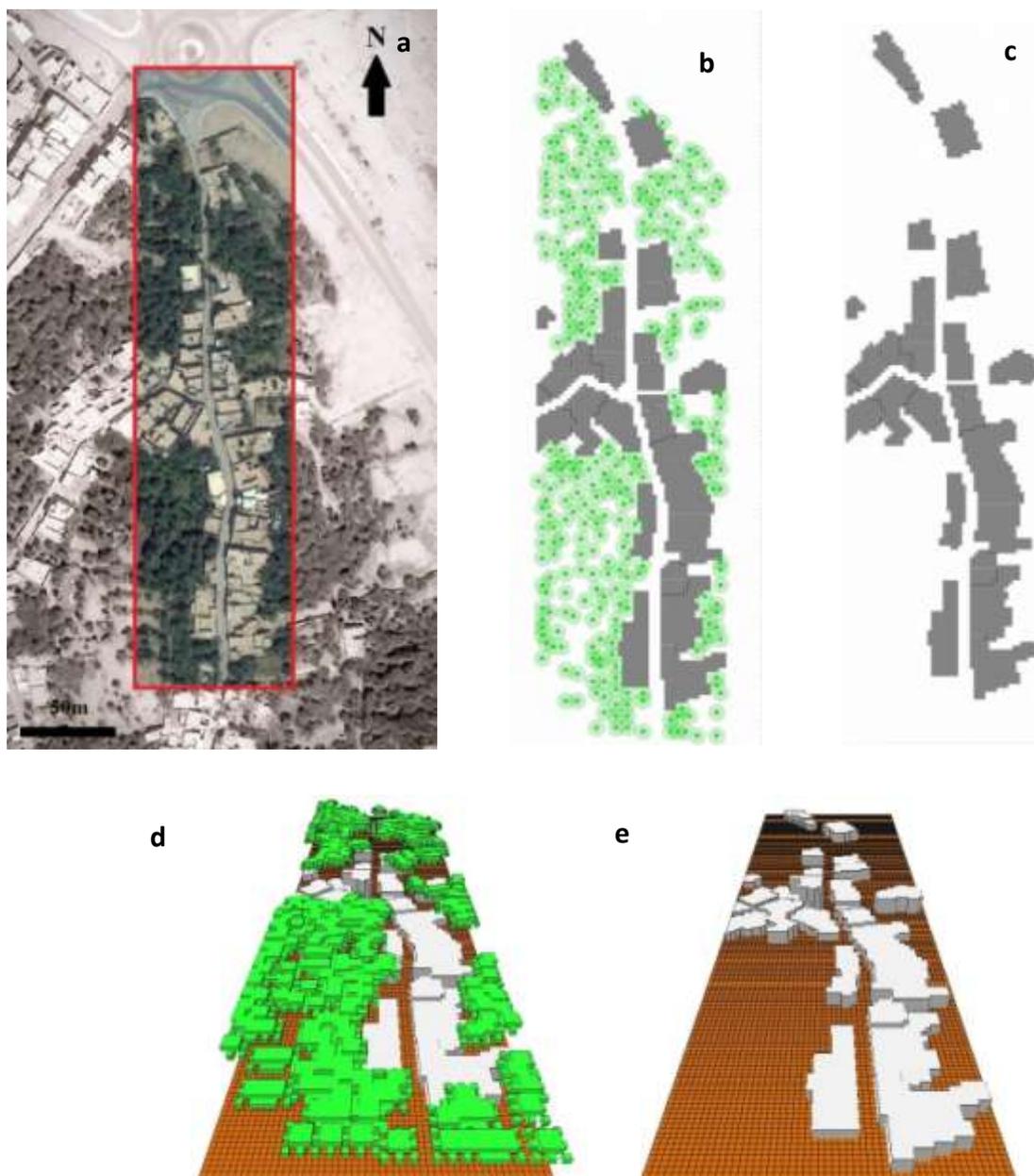


Figure 2.- (a) Périmètre d'étude; (b) Scénario A: bâti + palmeraie; (c) Scénario B: bâti (sans palmiers); (d) Vue 3D du scénario A; (e) Vue 3D du scénario B.

4.3.- Etapes de travail

La simulation des paramètres microclimatiques via le logiciel ENVI-met comprend quatre étapes essentielles:

- Première étape: l'organisation des répertoires de fichiers dans l'espace de travail,

- Deuxième étape: la modélisation des scénarios investis et l'édition des caractéristiques des matériaux de construction, du sol et des plantes à l'aide de la base de données du logiciel, créant ainsi le fichier d'entrée (INX),
- Troisième étape: l'édition des paramètres de simulation (microclimat) et la création du fichier de simulation (SIM)
- Quatrième étape: visualiser les fichiers de résultats (sortie) binaires d'ENVI-met (EDI/EDT) à l'aide du logiciel Windows Leonardo.

Il est à noter que la journée choisie pour la simulation est la journée du 15 juillet, qui est la journée la plus chaude de l'année (selon l'étude statistique des facteurs météorologiques). On s'est contenté, dans ce propos, d'analyser la saison estivale, en raison de ses conditions climatiques extrêmes et de leur effet notoire sur le stress thermique humain.

Tableau I.- Données d'entrée (inputs)

| Données du modèle | | | |
|---|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Situation | Biskra, Algeria | Taille de la grille du modèle | 2x2x2 |
| Cordonnés géographique | Latitude:34.84 Longitude: 5.75 | Matériaux des murs et toits | Isolation modérée |
| Taille du modèle de simulation | 102x372x80(mètre) | Grilles de nidification | 7 |
| Données de simulation | | | |
| Date de simulation | 15/07/2016 | Rugosité du site | 0.04 |
| Début de la simulation | 04h00 | Température maximale | 41°C (16h00) |
| Durée de simulation | 18 heures | Température minimale | 27.7°C (06h00) |
| Vitesse de l'air à 10m d'hauteur | 2.5 m/s | Humidité relative maximale | 41% |
| Direction des vents | 180° | Humidité relative minimale | 11.4% |
| | | Boundary conditions | Simple forcing (standard) |
| Elément de l'environnement bâti | | | |
| | Type | Longueur de rugosité | Albédo |
| Murs et toiture | Mur par défaut (Isolation modérée) | 0,02 | |
| | Murs de l'utilisateur | 0,02 | |
| Sol | Sol limoneux | 0,015 | 0 |
| | Asphalt | 0,01 | 0,2 |
| Végétation | | | |
| Type | Hauteur | Largeur | Albédo |
| Palmier | 12 m | 9 m | 0,18 |

Les données d'entrée (inputs) de la simulation sont présentées dans le tableau I.

5.- Résultats et discussion

L'étude comprend deux volets dont le premier vise à quantifier l'impact de la disparition totale de la palmeraie sur le microclimat, en réalisant des simulations avec un scénario de l'état actuel du quartier (bâti et palmeraie), et un scénario de l'état du quartier

sans palmiers. Le deuxième volet examine l'impact de la compacité du bâti exprimé par le coefficient d'ouverture au ciel (sky view factor), sur les facteurs du confort thermique.

Des résultats obtenus de la simulation (outputs), il est choisi d'analyser les paramètres qui sont en étroite relation avec les paramètres du confort thermique. Il s'agit de la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air, et la température radiante.

5.1.-Impact de la végétation

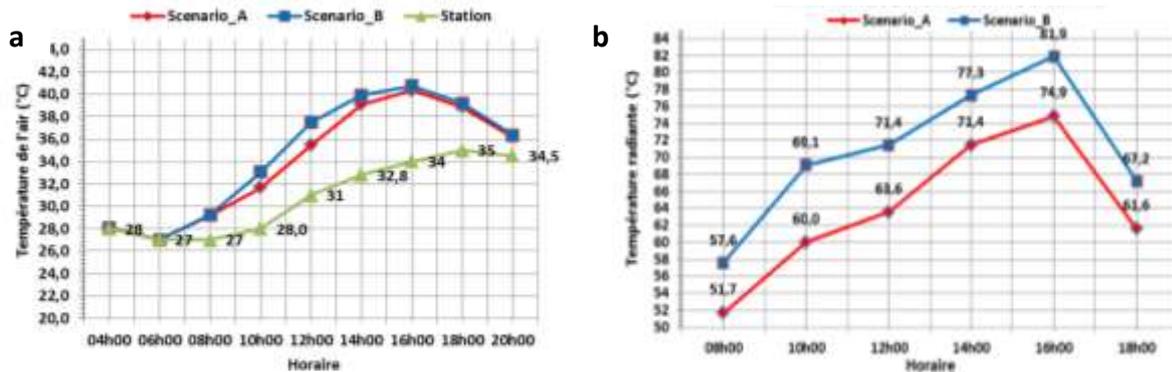


Figure 3.- (a) Evolution de la température de l'air; (b) Evolution de la température radiante

Les valeurs de la température de l'air pour les deux scénarios simulés sont plus élevées par rapport aux valeurs de la station météorologique (fig. 3). Cela est dû à l'effet de l'îlot de chaleur urbain né de la présence de masses bâties, et au fait que l'échantillon simulé est situé dans un milieu urbain (rugosité 0,1). Le scénario A (avec végétation) présente des valeurs moins élevées à partir de 08h00' et jusqu'au coucher du soleil. La différence entre les deux scénarios varie entre une valeur minimale de 0,1°C à 08h00' et une valeur maximale de 2,1°C à midi, lorsque le soleil est au zénith et à une hauteur de 78°C (hauteur maximale en été). Des valeurs de température égales sont enregistrées de 04h00' à 08h00'. Cela concorde avec d'autres études telles que celle de LOUAFI et BELLARA (2016) [50] et qui ont conclu que les arbres peuvent réduire la température de l'air et du sol d'environ 13,7°C, ainsi que l'étude de BENCHEIKH *et al* (2012) [25] qui a montré que les températures de l'air au centre des jardins de palmiers étaient inférieures de 5 à 10°C par rapport aux autres sites bâtis dépourvus de végétal. Il est également à noter que la température maximale est enregistrée à 16h00', et qu'à ce moment la différence entre les deux scénarios diminue sensiblement ($\Delta T=0,4^{\circ}\text{C}$).

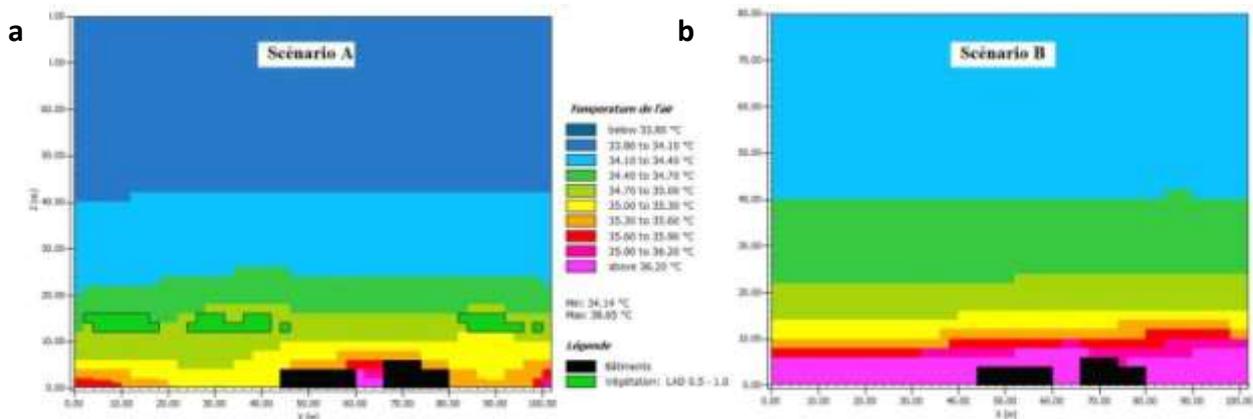


Figure 4.- Températures de l'air à midi en coupe transversale sur le quartier (a) avec végétation; (b) sans végétation.

A travers la figure 4 (coupe transversale), on peut voir clairement l'effet de la végétation sur les températures de l'air qui s'étend dans le sens vertical. En plus de son influence par le mécanisme d'évapotranspiration, la végétation agit sur le microclimat par l'effet d'ombrage, et l'effet d'altération de la vitesse et la direction du vent tant qu'écran naturel.

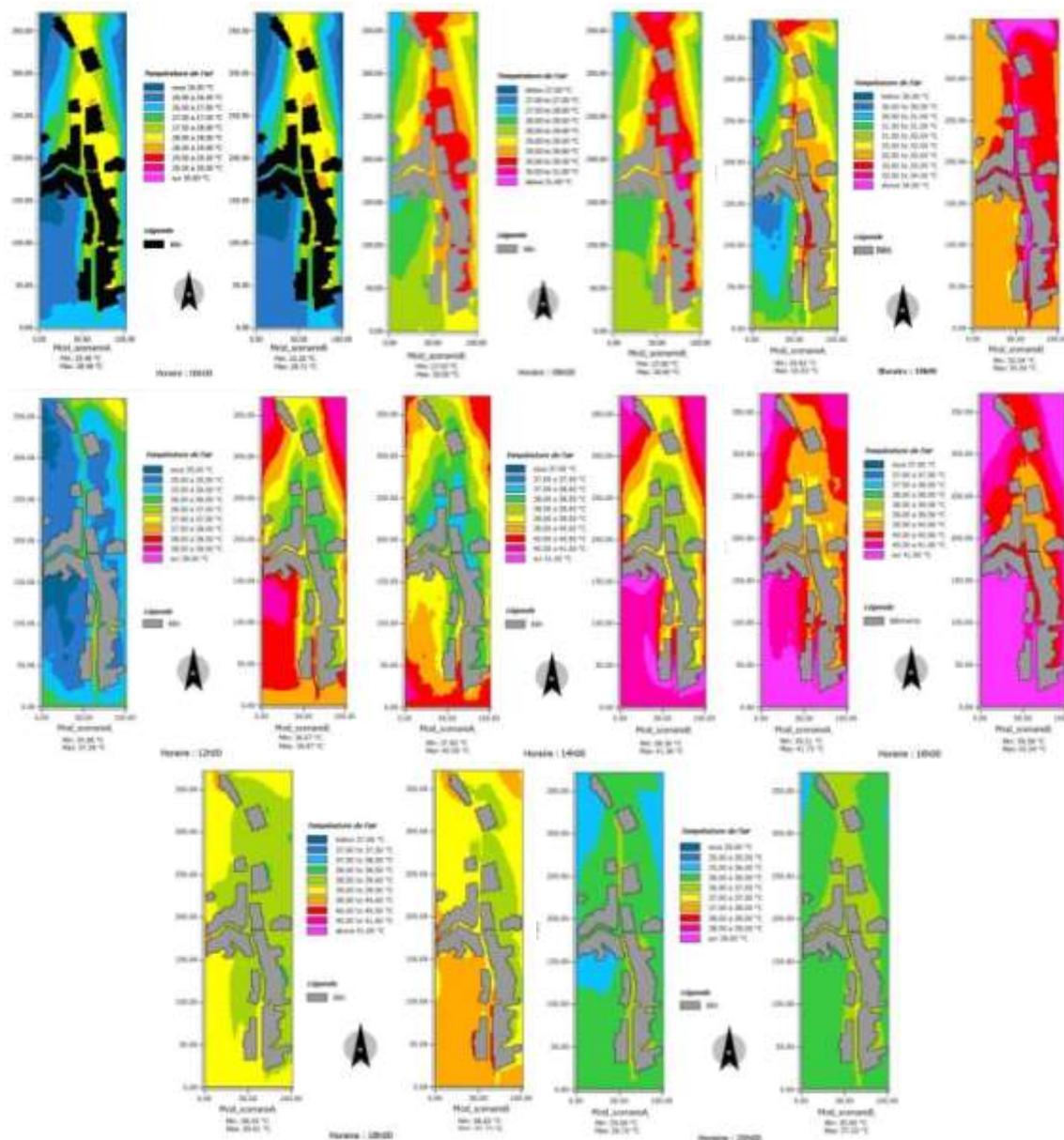


Figure 5.- Températures de l'air à différents moments de la journée.

L'analyse des cartes de la température de l'air pour les deux scénarios (fig. 5), montre la présence d'un îlot de chaleur urbain, à 06h00', 08h00' et 10h00', et qui devient un îlot de fraîcheur à partir de 12h00' et jusqu'au coucher du soleil. Le premier effet, c'est-à-dire l'îlot de chaleur est dû au fait qu'au niveau d'une étendue de bâtiment, il y a une multiplication de réflexions radiatives, et que la dissipation de la chaleur est entravée, à l'encontre d'un espace dégagé. Alors que le deuxième phénomène est expliqué par le fait qu'au niveau des zones végétalisées qui sont considérées comme des zones protégées, la vitesse de l'air est altérée, ce qui réduit les possibilités d'échange thermique entre les

différentes couches d'air, et conduit par là à l'augmentation des températures de l'air et au réchauffement, cela d'une part. D'autre part, à ces moments de la journée, l'ombrage dû à la réduction des espacements entre les bâtiments participe à créer des zones de fraîcheur, contrairement aux espaces dégagés dépourvus d'obstacles d'occultation contre le rayonnement solaire intense.

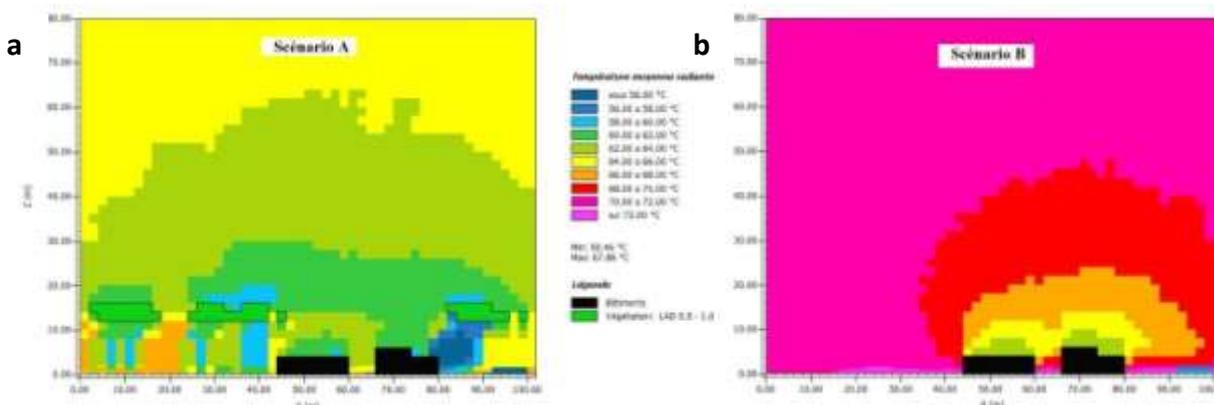


Figure 6.- Températures radiantes à midi en coupe transversale sur le quartier (a) avec végétation; (b) sans végétation

Les valeurs de la température moyenne radiante (TMR) sont comprises entre 17,1 et 74,9°C pour le scénario A, et entre 16,1 et 81,9°C pour le scénario B. Cela signifie qu'il y a une grande variation de la charge calorifique rayonnante. L'évolution de la TMR au cours de la journée simulée, enregistre les valeurs les plus élevées pour les deux scénarios à 16h00, car à ce moment, les flux de rayonnement atteignent leurs valeurs maximales.

L'impact de la palmeraie sur les températures radiantes est important. La TMR peut baisser de 9,1°C par rapport au cas de l'absence totale de la palmeraie (scénario B). L'influence de cette dernière s'étend même dans le sens vertical (voir figure 6).

Tableau II.- Impact de la palmeraie sur les facteurs microclimatiques

| Cas simulés | Surface totale | Surface végétalisée | Surface végétale (%) | T air (°C) | HR (%) | V air (m/s) | TMR (°C) | PET (°C) |
|-------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------|--------|-------------|----------|----------|
| Scénario A | 37944m ² | 20735m ² | 54,65% | 35,5 | 24,7 | 1,33 | 63,6 | 47,61 |
| Scénario B | 37944m ² | 0 | 0% | 37,5 | 22,2 | 1,30 | 71,4 | 49,6 |

Le tableau II résume l'effet de la palmeraie sur les conditions climatiques pour le cas simulé, à travers les valeurs moyennes de la totalité de l'échantillon étudié.

5.2.- Impact de la compacité du bâti

Dans ce qui suit, on analysera l'effet de la compacité du bâti sur le climat et le confort thermique, à travers la simulation de la température moyenne radiante (TMR), et la température physiologique équivalente (PET). En effet, ces deux facteurs constituent des paramètres importants pour l'évaluation du niveau de confort thermique. La température moyenne radiante est définie comme étant la moyenne des températures des parois pondérées par leur surface. Elle dépend du degré d'exposition au rayonnement solaire. Sa simulation avec ENVI-met se fait intégralement, afin de calculer certains indices de confort. Quant à la température physiologique équivalente, elle est actuellement

l'indicateur le plus utilisé pour évaluer le confort thermique au niveau des espaces urbains extérieurs [51], car dans le calcul du bilan thermique d'un individu, elle prend en considération la totalité des flux solaires de courtes et de grandes longueurs d'ondes en provenance des parois environnantes.

L'analyse des cartes de l'évolution temporelle et spatiale de la TMR indique que dans les espaces ombragés entre les bâtiments (rues et ruelles) les valeurs ont tendance à être plus faibles que dans le reste du quartier (fig. 7). Cela est dû à la morphologie urbaine compacte du quartier qui fournit un ombrage et empêche le rayonnement solaire d'atteindre le sol. La relation entre la TMR et le coefficient d'ouverture au ciel (SVF) a également été vérifiée; le résultat est montré dans la figure 8.

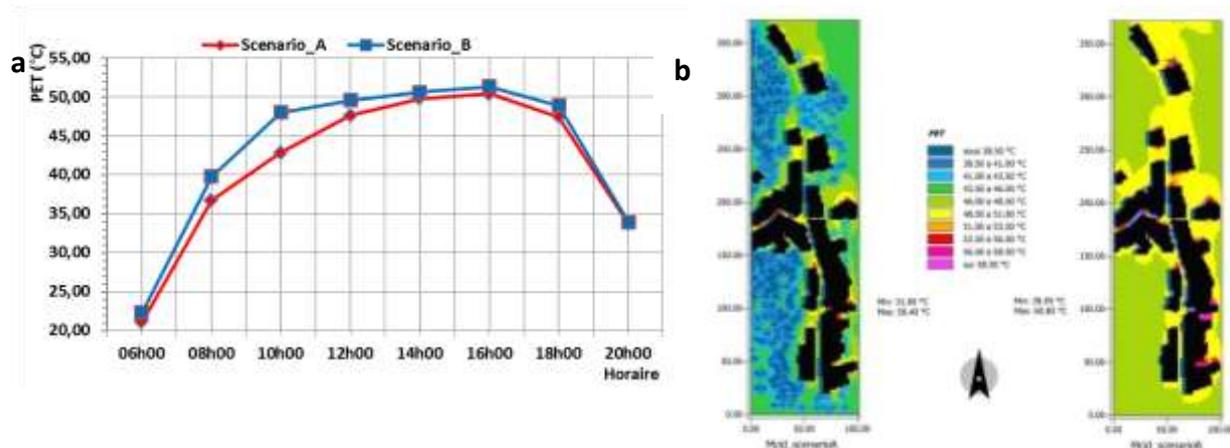


Figure 7.- (a) Variation temporelle moyenne de la température physiologique équivalente; (b) Variation spatiale de la température physiologique équivalente à 10h00.

La partie bâtie du quartier, présente une faible ouverture au ciel et qui varie entre 0,1 à 0,5. En effet, la configuration du bâti est d'une forme linéaire compacte avec des rues étroites, ce qui fait que la part du ciel visible soit réduite. Les valeurs du coefficient d'ouverture au ciel au niveau des rues sont faibles. Ce paramètre est d'une grande importance, car il affecte la quantité d'énergie solaire incidente et la température de l'air. Certains chercheurs [52,53] ont rapporté que l'exposition solaire et le SVF sont deux facteurs clé qui déterminent le bilan thermique journalier en milieu urbain. En fait, d'après ATHAMENA, RATTI *et al* [54] ont montré que les configurations urbaines confinées sont favorables au piégeage radiatif générant une élévation de la température de l'air nocturne plus importante que celles des formes urbaines ouvertes. Cependant, au sein de ces espaces denses, l'élévation de la température est compensée durant le jour par des effets de fraîcheur procurés par la propagation des zones ombragées.

En l'absence de l'élément végétal, c'est-à-dire avec trois composantes uniquement: bâti, sol et atmosphère, on a essayé d'analyser l'impact du bâti sur deux facteurs importants et qui sont la température moyenne radiante (TMR) et la température physiologique équivalente. La superposition de la carte du coefficient d'ouverture au ciel (SVF), de celle de la TMR et de la PET montrent que les zones à faible ouverture au ciel ont des valeurs de TMR et de PET les moins élevées, cela s'explique par le fait que ces zones sont ombragées et protégées du rayonnement solaire.

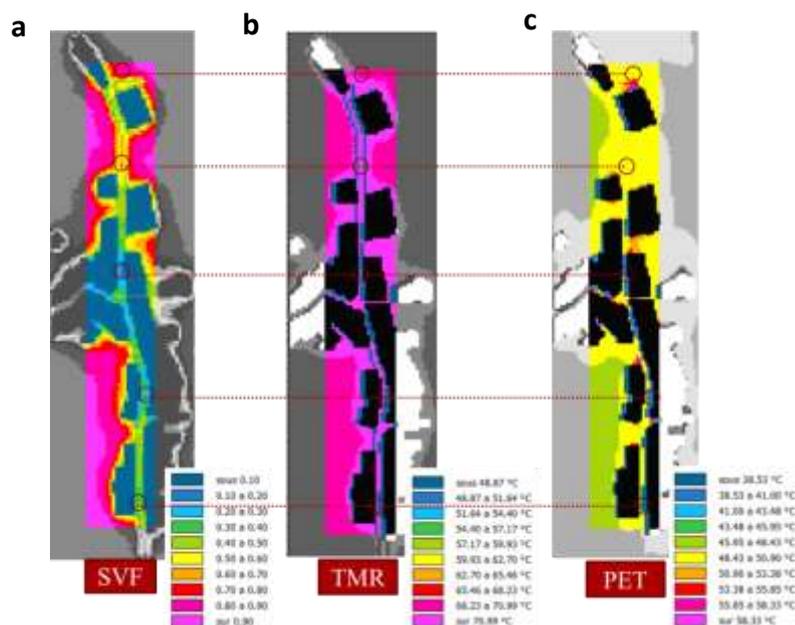


Figure 8.- Variation spatiale (a) du facteur de vue du ciel; (b) de la température moyenne radiante; (c) de la température physiologique équivalente à 10h00

Conclusion

Dans les régions chaudes et arides, l'intensité du rayonnement solaire est la cause principale du stress thermique, d'où la nécessité de procurer un maximum d'ombre en saison estivale, à travers deux éléments essentiels, et qui sont: l'élément végétal, et la compacité du cadre bâti.

Le présent travail soutient l'hypothèse de l'efficacité énergétique des formes compactes. En effet, le degré de compacité est proportionnel aux taux des échanges thermiques en milieu urbain. L'augmentation de la compacité implique une réduction des gains et des pertes calorifiques. L'altération de stockage et de diffusion de chaleur limite le réchauffement, du fait que les gains solaires sont limités, à cause de l'atténuation de la surface exposée. Limiter le réchauffement a des répercussions favorables sur le microclimat de la ville en milieu arides. Mais il importe de signaler que cette compacité ne peut seule suffire à assurer un confort thermique, elle doit être combinée à une orientation adéquate par rapport aux mouvements d'air locaux afin de permettre la dissipation de l'excès de chaleur (surtout nocturne).

Les arbres de palmier peuvent contribuer considérablement dans l'amélioration du microclimat des villes sahariennes, à travers: la réduction des températures de l'air, l'augmentation du taux d'humidité par le biais de l'évapotranspiration, l'atténuation du rayonnement solaire, la filtration de l'air et la création de brises de vent. Les palmiers sont des éléments importants qui pourraient être utilisés pour fournir de l'ombre et en même temps, garder la vue du ciel ouverte, chose nécessaire pour le refroidissement par rayonnement nocturne.

La situation actuelle des écosystèmes oasiens nécessite des outils d'urbanisation renouvelés qui donnent une plus grande importance à l'élément végétal et spécifiquement au palmier, dans la conception des futures extensions urbaines, afin d'améliorer les conditions

de ces régions qui constituent une étendue de 30% de la surface continentale. Parmi les axes de recherche à développer dans ce cadre, c'est la recherche d'un pourcentage optimal de végétalisation, qui permet une amélioration des conditions climatiques dans ces régions, et une contribution dans la recréation de l'équilibre environnemental perdu.

Références

- [1].- Larousse., (s. d.).- Oasis. Consulté 2 février 2020, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/oasis/55333>
- [2].- Encyclopédie Larousse., (s. d.).- Oasis. In L'encyclopédie Larousse en ligne. Consulté à l'adresse <https://www.larousse.fr/encyclopedia/divers/oasis/74161>
- [3].- Grimm N. B., Faeth S. H., Golubiewski N. E., Redman C. L., Wu J., Bai X., and Briggs J. M., 2008.- Global change and the ecology of cities. *science*, 319(5864): 756-760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>
- [4].- Russo A., J Escobedo F., and Zerbe S., 2016.- Quantifying the local-scale ecosystem services provided by urban treed streetscapes in Bolzano, Italy. *AIMS Environmental Science*, 3(1): 58-76. <https://doi.org/10.3934/environsci.2016.1.58>
- [5].- Southon G. E., Jorgensen A., Dunnett N., Hoyle H., and Evans K. L., 2018.- Perceived species-richness in urban green spaces: Cues, accuracy and well-being impacts. *Landscape and Urban Planning*, 172: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.12.002>
- [6].- Douglas O., Lennon M., and Scott M., 2017.- Green space benefits for health and well-being: A life-course approach for urban planning, design and management. *Cities*, 66: 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.03.011>
- [7].- Sang Å. O., Knez I., Gunnarsson B., and Hedblom M., 2016.- The effects of naturalness, gender, and age on how urban green space is perceived and used. *Urban Forestry and Urban Greening*, 18: 268-276. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.06.008>
- [8].- Bertram C., and Rehdanz K., 2015.- The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*, 120: 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.10.013>
- [9].- Ulrich R. S., 1979.- Visual landscapes and psychological well-being. *Landscape research*, 4(1): 17-23. <https://doi.org/10.1080/01426397908705892>
- [10].- Kyttä M., Broberg A., Tzoulas T., and Snabb K., 2013.- Landscape and Urban Planning Towards contextually sensitive urban densification: Location-based softGIS knowledge revealing perceived residential environmental quality. *Landscape and Urban Planning*, 113: 30-46. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.01.008>
- [11].- Givoni B., 1991.- Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 25(3): 289-299.

[https://doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90001-U](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U)

- [12].- Gonçalves A., Castro Ribeiro A., Maia F., Nunes L., and Feliciano M., 2019.- Influence of Green Spaces on Outdoors Thermal Comfort—Structured Experiment in a Mediterranean Climate. *Climate*, 7(2), Pp 20. <https://doi.org/10.3390/cli7020020>
- [13].- Janhäll S., 2015.- Review on urban vegetation and particle air pollution—Deposition and dispersion. *Atmospheric environment*, 105: 130-137, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>
- [14].- Nowak D. J., and Crane D. E., 2000.- The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In M. Hansen and T. Burk (Éd.), *Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century*, vol. 212: 714-720 <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/18420>
- [15].- Shashua Bar L., Pearlmutter D., and Erell E., 2011.- The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot arid environment. *International journal of climatology*, 31(10): 1498-1506. <https://doi.org/10.1002/joc.2177>
- [16].- Potchter O., Goldman D., Kadish D., and Iluz D., 2008.- The oasis effect in an extremely hot and arid climate: The case of southern Israel. *Journal of Arid Environments*, 72(9): 1721-1733. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.03.004>
- [17].- Kai K., Matsuda M., and Sato R., 1997.- Oasis Effect Observed at Zhangye Oasis in the Hexi Corridor, China. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 75(6): 1171-1178. https://doi.org/10.2151/jmsj1965.75.6_1171
- [18].- Taha H., Akbari H., and Rosenfeld A., 1991.- Heat island and oasis effects of vegetative canopies: Micro-meteorological field-measurements. *Theoretical and Applied Climatology*, 44(2): 123-138. <https://doi.org/10.1007/BF00867999>
- [19].- Fan C., Myint S., Kaplan S., Middel A., Zheng B., Rahman A., ... Blumberg D., 2017.- Understanding the Impact of Urbanization on Surface Urban Heat Islands—A Longitudinal Analysis of the Oasis Effect in Subtropical Desert Cities. *Remote Sensing*, 9(7), Pp 672. <https://doi.org/10.3390/rs9070672>
- [20].- Boudjellal L., 2009.- Rôle de l'oasis dans la création de l'îlot de fraîcheur dans les zones chaudes et arides. Université de Constantine. Consulté à l'adresse <http://archives.umc.edu.dz/bitstream/handle/123456789/12546/BOU6126.pdf?sequence=1>
- [21].- Jonsson P., 2004.- Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(10): 1307-1322. <https://doi.org/10.1002/joc.1064>
- [22].- Oke T. R., 2002.- *Boundary layer climates*. Routledge.
- [23].- Spronken-Smith R. A., Oke T. R., and Lowry W. P., 2000.- *Advection and the surface*

- energy balance across an irrigated urban park. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(9): 1033-1047. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(200007\)20:9%3C1033::AID-JOC508%3E3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1097-0088(200007)20:9%3C1033::AID-JOC508%3E3.0.CO;2-U)
- [24].- Riou C., 1990.- Bioclimatologie des oasis. Ed. D. V. and T. G., les systèmes agricoles oasiens, Montpellier, CIHEAM, vol. 11: 207-220. Consulté à l'adresse <http://om.ciheam.org/om/pdf/a11/CI901496.pdf>
- [25].- Bencheikh H., and Rchid A., 2012.- The effects of green spaces (Palme trees) on the microclimate in arides zones, case study : Ghardaia, Algeria. *Energy Procedia*, 18: 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.013>
- [26].- Ali-Toudert F., Djenane M., Bensale, R., and Mayer H., 2005.- Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Climate research*, 28(3): 243-256. <https://doi.org/10.3354/cr028243>
- [27].- Givoni B., 1998.- *Climate considerations in building and urban design*. New York: John Wiley and Sons.
- [28].- Meier I. A., Roaf S. C., Gileard I., Runsheng T., Stavi I., and Mackenzie-Bennett J., 2004.- The vernacular and the Environment towards a comprehensive Research methodology. *Proc. 21st Int. Conf. on PLEA*, vol. 2 : 719-724
https://www.researchgate.net/profile/Isaac_Meir/publication/249660646_The_Vernacular_and_the_Environment_-_Towards_a_Comprehensive_Research_Methodology/links/00b4953b54958486ae000000/The-Vernacular-and-the-Environment-Towards-a-Comprehensive-Research-Meth
- [29].- Hamel K., 2005.- la ville compacte: une forme urbaine d'une ville durable en régions arides. Mémoire de Magister, Université de Biskra-Mohamed Khider, pages ???.
- [30].- Djenane M., 1998.- Participation de la forme urbaine au contrôle de l'irradiation solaire. Référence particulière au rôle de la rue dans les régions chaudes et sèches. Mémoire de magister, Centre universitaire Mohamed Khider, Biskra, pages ???.
- [31].- Nouibat B., 1997.- Adaptation d'un COS optimal à l'habitation individuelle en milieux arides et semiarides. Cas de Bou-Saâda. Mémoire de Magister, Institut d'architecture et d'urbanisme, Biskra, pages ???
- [32].- Alkama D., 1995. Analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra. Thèse de magister. Institut d'Architecture, Centre universitaire de Biskra, pages ???.
- [33].- Nguyen V. T., et Baghdad B., 2000.- Changement du climat à Béchar. In *Espace Saharien et Développement Durable* , Biskra, Pp 146-150.
- [34].- CLIMATE-DATA.ORG. (s. d.). Biskra climat (Algérie). Consulté 2 février 2020, à l'adresse <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/biskra/biskra-3691/>

- [35].- Weather Spark. (s. d.). Météo habituelle à Biskra Algérie. Consulté à l'adresse <https://fr.weatherspark.com/y/51506/Météo-habituelle-à-Biskra-Algérie>
- [36].- Sriti L., Belakehal A., Boussora K., et Saouli A. Z., 2002.- Le damier colonial de Biskra ou l'histoire de la marginalisation d'un centre ville. Le courrier du savoir scientifique et technique, 2: 53-60, <http://revues.univ-biskra.dz/index.php/cds/article/view/207>
- [37].- Bruse M., 2019.- ENVI-met Model. <http://www.envi-met.com>
- [38].- Taleghani M., Kleerekoper L., Tenpierik M., and Dobbelsteen A. Van Den., 2014.- Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. Building and Environment. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>
- [39].- Bruse M., and Fler H., 1998.- Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. Environmental Modelling and Software, 13(3-4): 373-384. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5)
- [40].- Yang X., Zhao L., Bruse M., and Meng Q., 2013.- Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. Building and Environment, 60: 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.008>
- [41].- Johansson E., 2006.- Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. Building and Environment, 41(10): 1326-1338. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.022>
- [42].- Bourbia F., and Boucheriba F., 2010.- Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). Renewable Energy, 35(2): 343-347. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.017>
- [43].- Hedquist B. C., and Brazel A. J., 2014.- Seasonal variability of temperatures and outdoor human comfort in Phoenix, Arizona, U.S.A. Building and Environment, 72: 377-388. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.018>
- [44].- Taleb D., and Abu-Hijleh B., 2013.- Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE. Renewable Energy, 50: 747-762. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.030>
- [45].- Wong N. H., Kardinal Jusuf S., Aung La Win A., Kyaw Thu H., Syatia Negara T., and Xuchao W., 2007.- Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. Building and Environment, 42(8): 2949-2970. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.004>
- [46].- Srivanit M., and Hokao K., 2013.- Evaluating the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment at an institutional campus in the summer. Building and Environment, 66: 158-172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.012>

- [47].- Lahme E., and Bruse M., 2003.- Microclimatic effects of a small urban park in densely built-up areas: measurements and model simulations. ICUC5, Lodz, 5(1), <http://www.envi-met.net/documents/papers/park2003.pdf>
- [48].- Emmanuel R., and Fernando H., 2007.- Urban heat islands in humid and arid climates: role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. Climate Research, 34(3): 241-251, <https://doi.org/10.3354/cr00694>
- [49].- Rosheidat A., and Bryan H., 2010.- Optimizing the effect of vegetation for pedestrian thermal comfort and urban heat island mitigation in a hot arid urban environment. In Simbuild (Fourth National Conference of IBPSA-USA, vol. 4: 230-237, <https://ibpsa-usa.org/index.php/ibpusa/article/download/293/282>
- [50].- Louafi-Bellara S., and Abdou S., 2016.- Vegetation effects on urban street microclimate and thermal comfort during overheated period under hot and dry climatic conditions. Journal of New Technology and Materials, 6(2): 87-94. Consulté à l'adresse <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/2507>
- [51].- Athamena K., 2012.- Modélisation et simulation des microclimats urbains: Etude de l'impact de la morphologie urbaine sur le confort dans les espaces extérieurs. Cas des éco-quartiers. Ecole Centrale de Nantes (ECN). Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00811583>
- [52].- Yahia M. W., Johansson E., Thorsson S., Lindberg F., and Rasmussen M. I., 2018.- Effect of urban design on microclimate and thermal comfort outdoors in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. International Journal of Biometeorology, 62(3): 373-385. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1380-7>
- [53].- Mills G., 1997.- An urban canopy-layer climate model. Theoretical and Applied Climatology, 57(3-4): 229-244. <https://doi.org/10.1007/BF00863615>
- [54].- Ratti C., Raydan D., and Steemers K., 2003.- Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. Energy and Buildings, 35(1): 49-59. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00079-8)

INFLUENCE DES MÉTHODES DE RÉCOLTE DE LA MICROALGUE *Dunaliella salina* DUNADZ1 SUR QUELQUES PARAMÈTRES NUTRITIONNELS

YAICHE ACHOUR Hafsa^{1,2,*}, SAADI Sid Ahmed¹, DOUMANDJI Amel³, ATTAL Fella-Sara^{4,5}, BOURAS Nouredine^{1,6}, ZITOUNI Abdelghani¹

⁽¹⁾Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM)

Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger, Algérie

⁽²⁾Ecole Supérieure des Sciences de l'Aliment et des Industries Agroalimentaires,
Beaulieu, El Harrach, Algérie

⁽³⁾Département Agro-alimentaire, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Université de Blida 1, Algérie

⁽⁴⁾Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition Humaine, Département de Technologie
Alimentaire, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Alger, Algérie

⁽⁵⁾Institut des Sciences et Techniques Appliquées, Université de Blida 1, Blida, Algérie

⁽⁶⁾Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre
Université de Ghardaia, Algérie

*E-mail: hafsa_yah@hotmail.fr

(Received 04 February 2021 – Accepted 14 June 2021)

Résumé.- La microalgue *Dunaliella salina* représente une ressource prometteuse, notamment pour la production de β -carotène. Cependant, sa récolte est actuellement un obstacle compte à son exploitation à grande échelle, ce qui fait du choix de la méthode de récolte une étape primordiale et déterminante. Ce travail a pour objectif l'étude de l'efficacité de deux méthodes de récolte de la biomasse, la centrifugation et la floculation à différents pH et leurs effets sur la qualité nutritionnelle de la biomasse collectée. La récolte par centrifugation a été effectuée à six différentes rotations. Les valeurs de pH testées pour la récolte par floculation sont de 4; 6,5; 8,5; 10; 10,5; 11,5 et 12. L'effet de la méthode de récolte sur la qualité de la biomasse est estimé à travers le dosage des protéines et des carbohydrates ainsi que l'analyse du profil des acides gras qui est effectuée par Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG) après une transméthylation. Une récupération totale de la biomasse a été obtenue par floculation à un pH basique au-delà de 10,5. Tandis que pour la centrifugation le maximum de récupération était de $94,85 \pm 0,47\%$ à 2500 rpm pendant 10 min. Les teneurs les plus élevées en protéines et en carbohydrates ont été détectées dans la biomasse récoltée par centrifugation et qui sont de $54,51 \pm 0,27\%$ MS et $18,13 \pm 1,11\%$ MS, respectivement. Cependant, la biomasse récoltée par floculation présente un taux quatre fois plus faible en protéines ($13,39 \pm 0,13\%$ MS) et un taux six fois plus faible en carbohydrates ($3,02 \pm 0,22\%$ MS). Les teneurs en acides gras dans la biomasse récoltée par floculation ont aussi été affectées, certains ont même disparu. La méthode de récolte peut affecter la qualité nutritionnelle de la biomasse, il est donc nécessaire de choisir avec soin la méthode à adopter.

Mots clés: *Dunaliella salina*, biomasse, récolte, centrifugation, floculation, qualité nutritionnelle.

EFFECTS OF HARVESTING METHODS ON THE NUTRITIONAL PROFILE OF THE MICROALGAE *Dunaliella salina* DUNADZI

Abstract.- *The microalgae Dunaliella salina is a valuable resource, especially for β -carotene production. However, the biomass harvesting is currently an obstacle for its large-scale exploitation, which makes the choice of the harvesting method an essential and decisive step. The aim of this work is to study the efficiency of two harvesting methods, centrifugation and flocculation at different pH and their effects on the nutritional quality of the harvested biomass. For the centrifugation six rotations were tested. The pH values tested for flocculation were 4; 6.5; 8.5; 10; 10.5; 11.5 and 12. The effect of the harvesting method on the biomass quality is estimated by the determination of proteins, carbohydrates and fatty acids profile which is carried out by Gas Chromatography (GC) after transmethylation. Total biomass recovery was obtained by flocculation at a basic pH above 10.5. While a maximum recovery of $94.85 \pm 0.47\%$ at 2500 rpm for 10 min was obtained for centrifugation. The highest proteins and carbohydrates amounts were detected in the biomass harvested by centrifugation, $54.51 \pm 0.27\%$ DM and $18.13 \pm 1.11\%$ DM, respectively. However, the biomass harvested by flocculation has a protein amount four times lower ($13.39 \pm 0.13\%$ DM) and for the carbohydrates content six times lower ($3.02 \pm 0.22\%$ DM). The fatty acid contents in the biomass harvested by flocculation were also affected, some have even disappeared. The harvesting method can affect the nutritional quality of the biomass, so it is necessary to choose carefully the method to be adopted.*

Key words: *Dunaliella salina, biomass, harvesting, centrifugation, flocculation, nutritional quality.*

Introduction

Les microalgues sont des microorganismes eucaryotes, unicellulaires et photosynthétiques. Elles sont très diversifiées et sont représentées par plusieurs milliers d'espèces potentiellement utilisables dans divers domaines [1]. Leur diversité ouvre de nombreuses possibilités de valorisation. En revanche, il n'y a qu'une dizaine d'espèces qui sont cultivées à l'échelle industrielle, avec une prédominance de *Chlorella* et *Dunaliella*, ainsi que de la spiruline, cyanobactérie classée autrefois parmi les *Cyanophyceae* ou algues bleues [2].

Dunaliella salina est une microalgue verte halophile, appartenant à l'ordre des *Chlamydomonadales* et à la famille des *Dunaliellaceae*. Elle est retrouvée dans plusieurs écosystèmes, principalement les eaux salines [3]. La principale caractéristique morphologique chez le genre *Dunaliella* est l'absence de paroi cellulaire. Cependant, les cellules sont entourées d'une enveloppe fine de nature glycoprotéique [4]. *Dunaliella salina* est considérée comme la source naturelle la plus riche en pigments caroténoïdes, notamment le β -carotène [5]. Dans des conditions de stress, *D. salina* produit des teneurs élevées en β -carotène, pouvant atteindre jusqu'à 10% de son poids sec [6]. Chez *D. salina*, différents facteurs de stress peuvent déclencher la caroténogénèse, tels qu'une forte salinité, une forte intensité lumineuse, une déficience en nutriments, etc. [7-9].

Le choix de la méthode de récolte des microalgues dépend de l'espèce étudiée, de la taille cellulaire, de la densité de la biomasse dans le milieu de culture et de la valeur du produit fini désiré (lipides, pigments, composés antioxydants, etc.) [10-13]. La qualité de la biomasse obtenue doit être prise en considération lors du choix de la méthode de récolte. Cette qualité ne doit pas être affectée, ni contenir des éléments toxiques [14,15].

Le coût de la récolte de biomasse représente 20 à 30% du coût total de la production [16, 17]. La quantité de biomasse dans la culture est faible (inférieur à 1 g/l), ce qui rend le processus de récupération de cette biomasse assez coûteux, d'où la nécessité de développer une méthode efficace et moins cher.

La culture de *D. salina* est une culture diluée (~ 0,5 g/l), sa densité est variable selon les conditions de culture, elle se situe autour de 1,1. En effet, ces conditions empêchent la décantation rapide des cellules. Tous ces paramètres rendent la récolte de *D. salina* l'un des principaux obstacles au développement de sa production, notamment pour les marchés de produits à faible valeur ajoutée, d'où la nécessité au recours à des méthodes de récolte adaptées [18].

La centrifugation est une méthode très utilisée pour la récolte de la biomasse de toutes les espèces de microalgues. Elle présente l'avantage d'être applicable même pour les microalgues dont la taille cellulaire est petite (3 - 30 μm) [19,20]. En comparaison avec d'autres méthodes de récolte, la centrifugation offre plusieurs avantages: le taux de biomasse récupéré est élevé, la biomasse obtenue est exempte de résidus de produits chimiques et/ou de produits toxiques (cas de la floculation en utilisant des produits chimiques) et la composition des cellules n'est pas altérée [21].

En revanche, la floculation est un procédé dans lequel les particules en solution se rejoignent afin de former des agrégats appelés «flocs» [12]. La floculation a été proposée par plusieurs auteurs comme étant une technique efficace pour la récolte des microalgues. Elle peut être utilisée à grande échelle et peut être appliquée sur plusieurs espèces de microalgues [22,23].

Dans cette étude l'efficacité de deux méthodes de récolte de la biomasse, la centrifugation et la floculation à différents pH, a été évaluée de point de vue récupération de biomasse ainsi que l'effet sur la qualité nutritionnelle de la biomasse récoltée.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Souche de microalgue et conditions de culture

La souche de *D. salina* DunaDZ1 utilisée lors de cette étude a été isolée des eaux du Zahrez Chergui (wilaya de Djelfa, Algérie) et elle a été identifiée à travers la taxonomie classique et moléculaire [24]. La mise à l'échelle est réalisée en multipliant le volume des cultures par un facteur de 4 à 5 à chacune des étapes en passant d'un volume de 50 à 250 ml, puis à 1 L, et en dernier, à 20 L (fig. 1). Toutes les cultures sont incubées devant une source lumineuse d'intensité $120 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ et à une température avoisinant les 22°C. Le milieu de culture utilisé dans cette étude est le milieu f/2 avec ajustement de la salinité à 1 M.

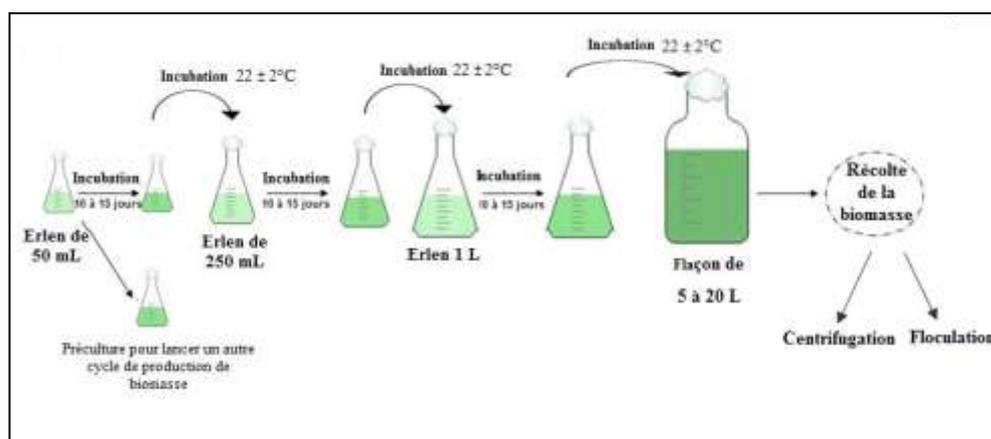


Figure1.- Mise à l'échelle de la culture de la souche *D. salina*

1.2.- Récolte de la biomasse

Deux méthodes de récolte de la biomasse de la souche Duna DZ1 ont été testées, par centrifugation et par floculation en ajustant le pH de la culture. Le volume de la culture utilisé dans cette partie est de 50 ml pour chaque expérience.

1.3.- Par centrifugation

Les tests de récolte par centrifugation ont été menés en faisant varier deux paramètres, à savoir, le nombre de tours par minute (rpm) et le temps. Six vitesses ont été testées: 500, 600, 1000, 1200, 2000 et 2500 rpm et cela pendant 3, 5 et 10 min. Les expériences ont été menées en duplicata. La centrifugeuse utilisée est réfrigérée à 4°C . L'absorbance à 680 nm est mesurée sur la culture initiale, avant de commencer les tests de récupération par centrifugation, puis sur le surnageant après chaque test. Les meilleures conditions de récolte par centrifugation ont été retenues pour des analyses ultérieures.

1.4.- Par floculation

Cette partie consiste en la modification du pH de la culture afin de déterminer le pH optimal de la récolte de la souche *D. salina* DunaDZ1. Le pH de la suspension microalgale a été ajusté par l'ajout d'une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) 1 M pour les pH acides, ou par l'ajout d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 1 M pour les pH basiques. Les valeurs de pH testées lors de cette expérience sont: 4; 6,5; 8,5; 10; 10,5; 11,5 et 12. Un volume précis de la culture a été mis dans des béchers, puis le pH est ajusté sous une agitation continue à l'aide d'un agitateur magnétique. Une fois que le pH voulu est atteint, une agitation vigoureuse est appliquée à 1000 rpm pendant 5 min, suivie d'une agitation faible de 100 rpm durant 2 min. Lorsque l'agitation est interrompue, le floc commence à décanter. Afin d'évaluer l'effet de différents pH sur la récolte de la souche DunaDZ1, la densité optique à 680 nm du surnageant a été mesurée à différents intervalles de temps: 10; 20; 35; 55; 95 et 140 min. Après avoir sélectionné le meilleur pH de récolte, la biomasse obtenue à partir de ce traitement a été retenue pour la suite des analyses.

1.5.- Efficacité de récupération

Après chaque méthode de récolte, l'efficacité (E) de récupération ou de floculation est évaluée en mesurant la densité optique à 680 nm de la culture initiale, et celle du surnageant après traitement. Cette efficacité est calculée par la formule suivante [22]:

$$E \% = (1 - A/B) \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Avec:

A: densité optique à 680 nm du surnageant après traitement.

B: densité optique à 680 nm de la culture initiale avant traitement.

Toutes les biomasses obtenues par différents traitements de récolte ont été lyophilisées dans un lyophilisateur (Chaist) puis conservées à -20°C jusqu'à l'analyse.

1.6.- Analyses des protéines et des carbohydrates

La méthode employée lors du dosage des protéines est la méthode colorimétrique de LOWRY *et al.* (1951) [25]. Une quantité de 5 mg de biomasse lyophilisée est additionnée de 200 µL d'acide trichloroacétique (TCA) à 24%. Le mélange est placé dans un bain Marie à 95°C pendant 15 min. Après refroidissement, 600 µL d'eau distillée sont ajoutées. Par la suite, le mélange est centrifugé à 1500 rpm pendant 20 min. Le surnageant est écarté et le culot est resuspendu dans 0,5 ml de réactif de Lowry. Ce mélange est incubé à 55°C pendant 4 h, puis centrifugé de nouveau à 1500 rpm pendant 20 min. Le surnageant peut être conservé à -20°C jusqu'à l'analyse. Au moment de l'analyse, 100 µl de surnageant sont mis en réaction, dans des tubes Eppendorfs avec 950 µL de réactif de Lowry, puis sont mélangés par inversion. Après un repos de 10 min à température ambiante, 0,1 ml de réactif de Folin ciocalteu est ajouté. Le mélange est vortexé immédiatement. Après 30 min, l'absorbance est lue à 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (Jenway 6705). Les teneurs des biomasses en protéines sont déterminées en se référant à une gamme étalon de 0 à 300 µg/ml, préparée à partir d'une solution mère de sérum albumine bovine à 2,5 mg/ml.

La méthode de dosage des carbohydrates utilisée est celle de DUBOIS (1956) [26]. C'est une méthode colorimétrique qui permet la détermination des glucides totaux. Les liaisons glycosidiques des polysaccharides sont hydrolysées à chaud en présence d'acide sulfurique. Les monosaccharides obtenus sont déshydratés pour former du furfural à partir des pentoses ou hydroxyméthylfurfural à partir des hexoses, lesquels interagissent avec du phénol par condensation pour former des composés de coloration orange-jaune qui absorbent à 490 nm.

1.7.- Extraction des lipides et dosage des acides gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG)

L'extraction des lipides est effectuée en utilisant la méthode de BLIGH ET DYER (1959) [27]. L'analyse du profil des acides gras est effectuée par CPG après transméthylation. Une masse de lipide d'environ 50 mg est mise en réaction avec 1 ml de H₂SO₄ 6% dans du méthanol. Le mélange est soniqué (sonificateur Transsonic T700) à température ambiante pendant 60 min. Après évaporation du méthanol, les méthylesters sont resuspendus dans 1 ml de chloroforme. L'échantillon est ainsi prêt pour être analysé par CPG.

Les acides gras méthylesters sont identifiés par une chromatographie en phase gazeuse de type Chrompack CP9002, équipée d'une colonne capillaire DB23 (50% cyanopropyl), 30 m × 0,32 mm × 0,25 µm. L'injection de 3 µl de l'échantillon a été faite avec le mode split. La température de l'injecteur est de 250°C, et le gaz vecteur utilisé est l'azote. La température du four est maintenue à 70°C pendant 2 min, puis augmentée progressivement à 220°C avec une marge de 4°C/min. Cette température est maintenue pendant 10 min.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Récolte de la biomasse de *D. salina* DunaDZ1 par centrifugation

La centrifugation est une méthode très utilisée pour la récolte de la biomasse de toutes les espèces de microalgues [19, 20].

La séparation de la biomasse du milieu de culture est évaluée par le calcul de l'efficacité de la récupération qui est exprimée en pourcentage. Les résultats sont illustrés dans la figure 2. L'efficacité de la récupération augmente avec l'augmentation du nombre de rotation et du temps. Un maximum de récupération de $94,85 \pm 0,47\%$ a été enregistré pour un nombre de tours de 2500 rpm pendant 10 min. La plus faible récupération est de $74,37 \pm 0,74\%$, obtenue par la rotation la plus faible (500 rpm) et la durée la plus courte, de 3 min. Ces résultats sont comparables à ceux de HEASMAN *et al.* (2000) [28]. Il est constaté qu'à des nombres de rotations élevés (supérieurs à 2500 rpm) l'intégrité de la souche est touchée et la plupart de ses cellules ont éclaté.

HEASMAN et DIEMAR (2000) [28] ont évalué la récolte par centrifugation de 9 espèces de microalgues. Ils ont enregistré une récupération de biomasse de 60 et de 100% pour des rotations de 1300 et 13000 rpm, respectivement. A une récupération de 100% de biomasse, le taux de viabilité des cellules était de 88,92%, pour deux espèces de microalgues, *Pavlova lutheri* et *Isochrysis* sp. Les résultats obtenus par centrifugation sont aussi dépendants des espèces de microalgues à récupérer. Il n'existe pas une méthode de récolte universelle qui pourrait être appliquée pour toutes les souches de microalgues, en donnant les mêmes résultats [17].

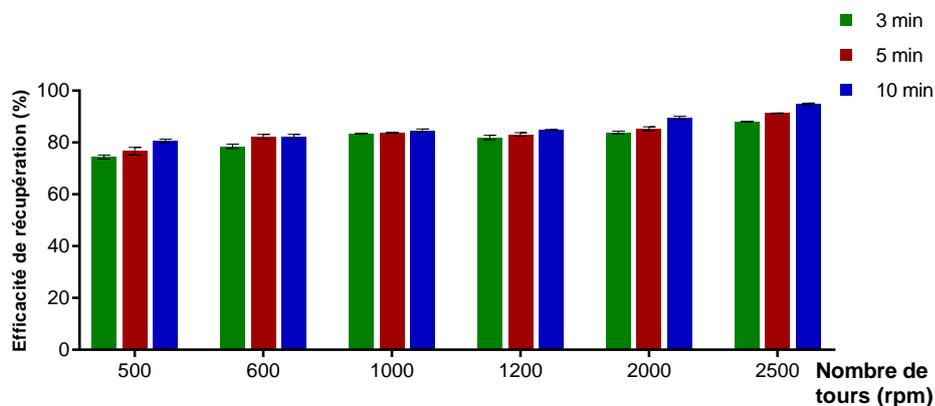


Figure 2.- Efficacité de la récupération de la biomasse par centrifugation.

2.2.- Récolte de la biomasse de *D. salina* DunaDZ1 par floculation

La floculation en fonction du pH est une méthode peu coûteuse pour la récolte de la biomasse des microalgues. Il est de ce fait intéressant d'évaluer l'efficacité de cette méthode. Des pH acides (4 et 6,5) et basiques (8,5; 10; 10,5; 11,5 et 12) ont été testés sur la biomasse de *D. salina* DunaDZ1. Une récupération de 100% de biomasse a été obtenue à des pH basiques (10,5; 11,5 et 12). En revanche, à des pH acides l'efficacité atteinte est de $63,65 \pm 0,24$ et $68,3 \pm 0,38\%$, pour des pH de 4 et 6,5, respectivement. A un pH de 10, l'efficacité de récupération est de $86,79 \pm 0,56\%$. A pH 10,5 la récupération totale de la biomasse est atteinte au bout de 35 min seulement, comparativement aux pH 11,5 et 12 (55 min). Il est constaté à partir de ces résultats que les pH basiques sont plus efficaces pour la floculation que les pH acides (fig. 3).

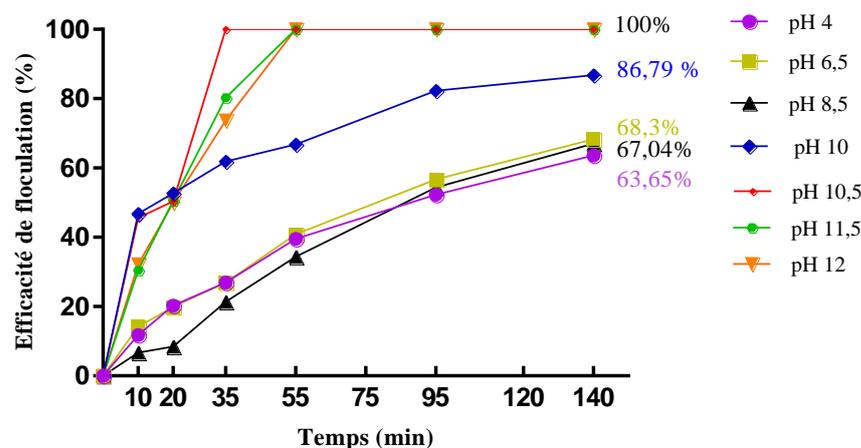


Figure 3.- Efficacité de floculation en fonction du pH et du temps de la biomasse de la souche *D. salina* DunaDZ1.

La floculation est obtenue en fonction du pH, mais aussi de la densité des cellules et de la concentration des ions Mg^{2+} dans le milieu de culture [29]. La floculation de la biomasse est achevée quand des pH basiques sont appliqués. Dans l'eau naturelle, les microalgues sont chargées négativement, ce qui empêche les cellules de se joindre. Quand le NaOH est ajouté pour atteindre des pH basiques de 10, 11 ou 12, une quantité importante de charges positives est ajoutée dans le milieu provoquant ainsi une neutralisation du milieu. La force de répulsion entre les cellules devient nulle, ce qui permet à ces dernières de former des agrégats appelés floc. Le floc ainsi formé précipite par la suite, après la précipitation des ions Mg^{2+} et Ca^{2+} qui se trouvent dans le milieu [30].

Une étude a été menée par Pirwitz *et al.* (2015) sur la floculation due au pH de la microalgue *Dunaliella salina* (CCAP19/18). Cette étude a abouti à un maximum de récupération à un pH de 12 [15]. PEREZ *ET AL.* (2017) ont enregistré une récupération totale de la biomasse à partir d'un pH de 11 pour la diatomée *Skeletonema costatum*, tandis que pour la diatomée *Chaetoceros gracilis*, une récupération de 100% a été enregistrée pour des pH supérieurs à 10,5 [30].

2.3.- Effet des méthodes de récolte sur la qualité nutritionnelle de la biomasse

La caractérisation de la biomasse obtenue en utilisant les conditions qui ont abouti à une meilleure récupération, par centrifugation (2500 rpm pendant 10 min) et par floculation (à pH 10,5) a été réalisée afin de détecter si la qualité nutritionnelle de la

biomasse a été affectée par ces techniques de récolte.

2.4.- Effet sur la quantité des protéines et des carbohydrates

La figure 4 montre les taux de protéines et de carbohydrates exprimés en pourcentage de matière sèche. La teneur la plus élevée en protéines qui est de $54,51 \pm 0,27\%$ de matière sèche (%MS) a été détectée dans la biomasse récoltée par centrifugation. Cependant, la biomasse récoltée par floculation présente un taux quatre fois plus faible par rapport à la biomasse récoltée par centrifugation, ce taux étant de $13,39 \pm 0,13\%$ MS.

Comme pour les protéines, la teneur en carbohydrates est aussi affectée par la floculation. Le taux de carbohydrates est de $3,02 \pm 0,22\%$ MS pour la biomasse récoltée par floculation et de $18,13 \pm 1,11\%$ MS pour la biomasse récoltée par centrifugation.

2.5.- Effet sur le profil des acides gras

Les résultats du profil des acides gras présents dans les biomasses collectées par centrifugation et par floculation sont illustrés dans le tableau I.

Les acides gras majoritaires dans le profil de la biomasse de la souche *D. salina* DunaDZ1 sont l'acide palmitique (C16:0) et l'acide caproïque (C6:0). La quantité de ces acides gras est meilleure dans la biomasse récoltée par centrifugation et il en est de même pour les autres acides gras. De ce fait, la biomasse récoltée par centrifugation comporte le taux le plus élevé en acides gras monoinsaturés (14,29%) par comparaison à celle obtenue par floculation à pH 10,5, qui est de 6,83%. Il en est de même pour les acides gras saturés (61,10% par centrifugation et 49,81% par floculation) (tableau I et figure 4). Un acide gras important, l'acide gadoléique (C20:1), n'a pas été détecté dans la biomasse récoltée par floculation. Toutes les teneurs en acides gras monoinsaturés sont significativement plus élevées dans la biomasse récoltée par centrifugation. En revanche, les teneurs en acides gras polyinsaturés n'ont été presque pas influencées par la méthode de récolte.

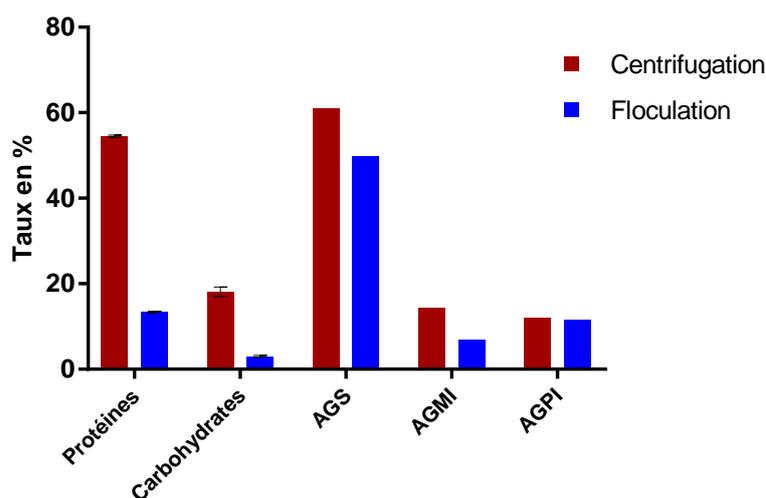


Figure 4.- Influence de la centrifugation et de la floculation sur la quantité de protéines, de carbohydrates et des acides gras de la souche DunaDZ1.
AGS: acides gras saturés; AGMI: acides gras monoinsaturés; AGPI: acides gras polyinsaturés.
Floculation: biomasse récoltée par floculation à pH 10,5.
Centrifugation: biomasse récoltée par centrifugation à 2500 rpm pendant 10 min.

Tableau I.- Profil des acides gras de la biomasse de la souche *D. salina* DunaDZ1 récoltée par centrifugation et par floculation

| Acides gras | Récolte par centrifugation (%) | Récolte par floculation (%) |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Acide caproïque C6:0 | 23,22 | 17,96 |
| Acide caprique C10:0 | 0,63 | 0 |
| Acide laurique C12:0 | 2,87 | 2,17 |
| Acide myristique C14:0 | 2,13 | 1,9 |
| Acide myristoléique C14:1 | 1,32 | 0,34 |
| Acide palmitique C16:0 | 24,25 | 20,25 |
| Acide palmitoléique C16:1 n-7 | 2,9 | 1,46 |
| Acide stéarique C18:0 | 7,56 | 6,53 |
| Acide oléique C18:1 n-9 | 5,51 | 2,73 |
| Acide élaidique C18:1 Trans | 3,3 | 2,3 |
| Acide linoléique C 18:2 n-6 | 2,65 | 2,33 |
| Acide linoléique C18:3 n-3 | 9,34 | 9,19 |
| Acide arachidique C20:0 | 0,44 | 0 |
| Acide gadoléique C20:1 | 1,26 | 0 |
| Acides gras saturés (AGS) | 61,10 | 49,81 |
| Acides gras monoinsaturés (AGMI) | 14,29 | 6,83 |
| Acides gras polyinsaturés (AGPI) | 11,99 | 11,52 |

En comparaison avec d'autres méthodes de récolte, la centrifugation offre plusieurs avantages: le taux de biomasse récupéré est élevé, la biomasse obtenue est exempte de résidus de produits chimiques et/ou de produits toxiques et la composition des cellules n'est pas altérée [21].

La qualité de la biomasse obtenue doit être prise en considération lors du choix de la méthode de récolte. Cette qualité ne doit pas être affectée, ni contenir des éléments toxiques. En revanche, dans l'étude, les taux de protéines et de carbohydrates ont été largement affectés par la floculation. Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que le NaOH interagit avec les cellules de la souche DunaDZ1 en se liant à la membrane cellulaire formant ainsi une couche, ce qui rend difficile la pénétration des solvants d'extraction à l'intérieur de la cellule, d'où l'obtention de taux assez faible de protéines et de carbohydrates [14, 15].

Les taux d'acides gras dans la biomasse récoltée par floculation ont aussi été affectés, ce qui montre que l'usage du NaOH n'est pas adéquat. Borges *et al.* (2016) ont réalisé une étude sur la floculation de la biomasse de la microalgue marine *Nannochloropsis oculata* en calibrant le pH par l'ajout du NaOH. Ces auteurs ont montré que certains acides gras importants, tels l'acide eicosapentaénoïque (C 20:5) et l'acide eicosatetraénoïque (C 20:4), ont disparu de la biomasse récoltée par floculation. Ils ont également montré que les taux de lipides sont largement affectés par l'ajout du NaOH, avec des teneurs dix fois moindres que le témoin (biomasse récupérée par centrifugation) [31].

Conclusion

Une étude sur l'efficacité de deux méthodes de récoltes a permis de retenir la centrifugation comme étant la meilleure méthode de récupération de la biomasse de *D. salina* DunaDZ1. La méthode par floculation, par ajustement du pH, s'avère efficace du point de vue quantité récupérée, mais inefficace de point de vue qualité nutritionnelle de la biomasse récoltée. En effet, cette méthode affecte d'une manière très remarquable non seulement la quantité des protéines et des carbohydrates cellulaires, mais aussi le profil des acides gras.

Dédicace

Les remerciements vont à notre ancien directeur de laboratoire (Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens) le défunt Professeur Nasserline SABAOU (1956-2019), sans lui ce travail n'aurait pas vu le jour.

Références

- [1].- Lü J., Sheahan C., Fu P., 2011- Metabolic engineering of algae for fourth generation biofuels production. *Energy & Environmental Science*, 4: 2451-2466.
- [2].- Amor H. B., 2015- Etude et optimisation de bioaccumulation de Mg^{2+} dans les microalgues «*Chlorella vulgaris*». Thèse de doctorat en génie des procédés, Université Paris-Saclay, 216 p.
- [3].- Oren A., 2014- The ecology of *Dunaliella* in high-salt environments. *Journal of Biological Research*, 21, Pp 23.
- [4].- Borowitzka M., Siva C., 2007 - The taxonomy of the genus *Dunaliella* (*Chlorophyta*, *Dunaliellales*) with emphasis on the marine and halophilic species. *Journal of Applied Phycology*, 19: 567–590.
- [5].- Zhang J., Sun Z., Sun P., Chen T., Chen F., 2014 - Microalgal carotenoids: Beneficial effects and potential in human health. *Food Funct*, 5: 413-425.
- [6].- Ben-Amotz A., Polle J. r. E. W., Subba Rao D. V. 2009 - The alga *Dunaliella*: biodiversity, physiology, genomics and biotechnology, Place, xvii, 555 p.
- [7].- Pasqualetti M., Bernini R., Carletti L., Crisante F., Tempesta S., 2010 - Salinity and nitrate concentration on the growth and carotenoids accumulation in a strain of *Dunaliella salina* (*Chlorophyta*) cultivated under laboratory conditions. *Transitional Waters Bulletin*, 4: 94-104.
- [8].- Xu Y., Ibrahim I. M., Harvey P. J., 2016 - The influence of photoperiod and light intensity on the growth and photosynthesis of *Dunaliella salina* (*Chlorophyta*) CCAP 19/30. *Plant Physiology and Biochemistry*, 106: 305-315.
- [9].- Ismaiel M. M. S., El-Ayouty Y. M., Said A. A., Fathey H. A., 2018 - Transformation of *Dunaliella parva* with PSY gene: Carotenoids show enhanced antioxidant activity under polyethylene glycol and calcium treatments. *Biocatalysis and Agricultural*

Biotechnology, 16: 378-384.

- [10].- Rawat I., Kumar R. R., Mutanda T., Bux F., 2011 - Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied energy*, 88: 3411-3424.
- [11].- Misra R., Guldhe A., Singh P., Rawat I., Stenström T. A., Bux F., 2015 - Evaluation of operating conditions for sustainable harvesting of microalgal biomass applying electrochemical method using non sacrificial electrodes. *Bioresource Technology*, 176: 1-7.
- [12].- Uduman N., Qi Y., Danquah M. K., Forde G. M., Hoadley A., 2010 - Dewatering of microalgal cultures: a major bottleneck to algae-based fuels. *Journal of renewable and sustainable energy*, 2: 012701.
- [13].- Amaro H. M., Guedes A. C., Malcata F. X., 2011 - Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. *Applied energy*, 88: 3402-3410.
- [14].- Ríos S. D., Castañeda J., Torras C., Farriol X., Salvadó J., 2013 - Lipid extraction methods from microalgal biomass harvested by two different paths: screening studies toward biodiesel production. *Bioresource Technology*, 133: 378-388.
- [15].- Pirwitz K., Rihko-Struckmann L., Sundmacher K., 2015 - Comparison of flocculation methods for harvesting *Dunaliella*. *Bioresource Technology*, 196: 145-152.
- [16].- Dassey A. J., Theegala C. S., 2013 - Harvesting economics and strategies using centrifugation for cost effective separation of microalgae cells for biodiesel applications. *Bioresource Technology*, 128: 241-245.
- [17].- Barros A. I., Gonçalves A. L., Simões M., Pires J. C., 2015 - Harvesting techniques applied to microalgae: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 1489-1500.
- [18].- Besson A., Guiraud P., 2013 - High-pH-induced flocculation–flotation of the hypersaline microalga *Dunaliella salina*. *Bioresource Technology*, 147: 464-470.
- [19].- Gultom S., Hu B., 2013.- Review of microalgae harvesting via co-pelletization with filamentous fungus. *Energies*, 6: 5921-5939.
- [20].- Milledge J. J., Heaven S., 2013 - A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 12: 165-178.
- [21].- Singh G., Patidar S., 2018 - Microalgae harvesting techniques: A review. *Journal of Environmental Management*, 217: 499-508.
- [22].- Ummalyma S. B., Mathew A. K., Pandey A., Sukumaran R. K., 2016 - Harvesting of microalgal biomass: Efficient method for flocculation through pH modulation. *Bioresource Technology*, 213: 216-221.

- [23].- Liu J., Zhu Y., Tao Y., Zhang Y., Li A., Li T., Sang M., Zhang C., 2013 - Freshwater microalgae harvested via flocculation induced by pH decrease. *Biotechnol Biofuels*, 6: 98-98.
- [24].- Yaiche Achour H., Doumandji A., Bouras N., Sabaou N., Assunção P., 2018 - Isolation, molecular identification and the carotenogenesis process of the microalgae *Dunaliella salina* strain DunaDZ1 isolated from an Algerian salt lake. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19: 399-407.
- [25].- Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L., Randall R. J., 1951 - Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193: 265-275.
- [26].- Dubois M., Gilles K. A., Hamilton J. K., Rebers P. t., Smith F., 1956 - Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356.
- [27].- Bligh E. G., Dyer W. J., 1959 - A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37: 911-917.
- [28].- Heasman M., Diemar J., O'connor W., Sushames T., Foulkes L., 2000 - Development of extended shelf-life microalgae concentrate diets harvested by centrifugation for bivalve molluscs—a summary. *Aquaculture Research*, 31: 637-659.
- [29].- García-Pérez J. S., Beuckels A., Vandamme D., Depraetere O., Foubert I., Parra R., Muylaert K., 2014 - Influence of magnesium concentration, biomass concentration and pH on flocculation of *Chlorella vulgaris*. *Algal Research*, 3: 24-29.
- [30].- Pérez L., Salgueiro J. L., Maceiras R., Cancela Á., Sánchez Á., 2017 - An effective method for harvesting of marine microalgae: pH induced flocculation. *Biomass and Bioenergy*, 97: 20-26.
- [31].- Borges L., Caldas S., Montes D'Oca M. G., Abreu P. C., 2016 - Effect of harvesting processes on the lipid yield and fatty acid profile of the marine microalga *Nannochloropsis oculata*. *Aquaculture Reports*, 4: 164-168.

ANALYSE MORPHOMETRIQUE ET HYDROLOGIQUE DU SOUS-BASSIN VERSANT DU NIAOULE (BASSIN DE LA GAMBIE) A L'AIDE DE TECHNIQUES SIG

FAYE Cheikh^{1*}, DIÈYE Sidy², FAYE Guilgane³

⁽¹⁾Département de Géographie, U.F.R. Sciences et Technologies
Université Assane Seck de Ziguinchor, Laboratoire de Géomatique et d'Environnement
Ziguinchor, Sénégal

⁽²⁾Département de Géographie, Faculté des lettres et Sciences Humaines
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, BP 5005 Dakar-Fann, Sénégal

⁽³⁾Département de Géographie, Faculté des lettres et Sciences Humaines
Université Cheikh Anta Diop de Dakar,

Laboratoire de Géomorphologie, Dakar-Fann, Sénégal

E-mail: cheikh.faye@univ-zig.sn / dieyesidy@gmail.com / fayguilgane@yahoo.fr

(Received 16 March 2021 - Accepted 30 June 2021)

Résumé.- La demande croissante et la concurrence des secteurs domestique, industriel et agricole pour l'eau ont atteint leur limite. Sur terre, les bassins de drainage, les bassins versants et les sous-bassins sont des unités hydrologiques idéales pour la planification de la conservation des ressources en eau. L'aménagement des bassins versants reste fondamentalement pour la conservation des sols et des eaux afin de répondre à des préoccupations différentes. Dans cette perspective, le recours aux techniques SIG et à la télédétection sont utiles pour l'analyse des propriétés morphométriques des bassins de réception des eaux de surface. Les aspects morphométriques tels que les aspects linéaires, de relief et de surface du sous-bassin versant du Niaoulé localisé dans le bief continental de la Gambie ont été analysés à l'aide d'outils spatiaux et de l'outil arc-hydro dans Arcgis 10.5. Le rapport de bifurcation (3 à 5) indique un bassin avec une géologie raisonnablement homogène et sans perturbations structurales, et une topographie jeune avec un degré d'intégration du drainage moins élevé. Ce bassin versant présente une forme moins allongée avec un faible relief, une pente douce, un drainage de type grossier, une faible propension à l'érosion des sols, une texture de drainage très modérée, un sous-sol perméable et une couverture végétale moins dense. Les techniques utilisées dans l'étude et les résultats sont utiles pour la planification et la surveillance des sous-bassins versants pour un développement durable.

Mots clés: MNT, SIG, hydrologie, morphométrie, bassin versant

MORPHOMETRIC AND HYDROLOGICAL ANALYSIS OF THE NIAOULE SUB-WATERSHED (GAMBIA BASIN) USING GIS TECHNIQUES

Abstract.- The growing demand and competition from the domestic, industrial and agricultural sectors for water have reached their limit. On land, drainage basins, watersheds and sub-basins are ideal hydrologic units for water resource conservation planning. The development of watersheds remains fundamentally for soil and water conservation in order to respond to different concerns. From this perspective, recourse to GIS techniques and remote sensing are useful for analyzing the morphometric properties of surface water reception basins. Morphometric aspects such as linear, relief and surface aspects of the Niaoulé sub-watershed located in the continental reach of The Gambia were analyzed using spatial tools and the arc-hydro tool in Arcgis. 10.5. The bifurcation ratio (3 to 5) indicates a basin with a reasonably homogeneous geology and without structural disturbances, and a young topography with a lower degree of drainage integration. This watershed has a less elongated shape with low relief, a gentle slope, coarse-type drainage, low propensity for soil erosion, a very moderate drainage texture, a permeable subsoil and a less dense vegetable cover. The techniques used in the study and the results are useful for planning and monitoring sub-watersheds for sustainable development.

Key words: DEM, GIS, hydrology, morphometry, watershed

Introduction

Depuis le premier quart du XX^e siècle, le bassin versant est considéré comme une unité aréolaire de l'investigation géomorphologique, mais comme une unité géomorphologique de base, ces analyses étant utiles pour l'application de diverses techniques morphométriques. L'étude des risques naturels dans un bassin versant exige une bonne compréhension hydrologique, géologique, géomorphologique, écologique et climatique pour déterminer les facteurs qui agissent sur la naissance des risques naturels (le couvert végétal, la pente, l'occupation du sol et le réseau hydrographique). Ces indices sont nécessaires pour déterminer la priorisation des bassins versants et ainsi planifier un programme pour la lutte contre les risques naturels. La bonne gestion d'un bassin versant nécessite l'utilisation des techniques des systèmes d'informations géographiques (SIG) et les modèles numériques du terrain (MNT), pour une meilleure évaluation de la zone d'étude en termes de pente, de système de drainage, de topographie, de géomorphologie et de lithologie à partir des cartes géologiques [1].

Comme ressource essentielle au développement durable, la question de l'eau a été incluse dans de nombreux documents et stratégies pour le développement aux niveaux régional, national et mondial. Les différents aspects des questions liées à l'eau ont donc été incorporés dans les objectifs de développement durable (ODD), une tâche réalisée grâce au dur labeur et aux efforts inlassables des différentes parties prenantes. De nos jours, en raison de la croissance démographique rapide, du développement économique et des multiples impacts qui affectent les ressources naturelles, l'eau ne cesse d'être une préoccupation fondamentale et un bien précieux à gérer en raison notamment de la pression démographique sur les ressources en eau augmente de jour en jour au Sénégal. En outre, le bassin versant est une unité fondamentale pour la conservation et la préservation des ressources naturelles, car la conservation des sols et de l'eau est une question cruciale dans sa gestion qui demeure essentielle dans le développement économique et social de tout pays [2-5].

L'analyse morphométrique est la dimension et l'investigation mathématique de la surface de la terre, de sa forme, et la mesure des formes de terrain [6]. Il est facile de comprendre le comportement du système hydrologique [7], de reconnaître les particularités hydrologiques, et les résultats constitueront un apport précieux pour la gestion globale des ressources en eau [8;9]. HORTON (1945) [10] et STRAHLER (1957) [11] ont entrepris des études morphométriques dans le domaine de l'hydrologie avec des résultats impliquant l'analyse de divers paramètres linéaires, aréolaires et de relief des bassins versants. Ces paramètres sont très importants pour la gestion des bassins versants et l'étude hydro-géomorphologique [12]. L'analyse quantitative des paramètres morphométriques est donc d'une immense utilité dans les études consacrées à l'évolution des bassins hydrographiques, et elle est très importante pour comprendre les processus de la topographie, les propriétés physiques du sol et les caractéristiques de l'érosion. Elle reflète également la quantité d'érosion, d'engorgement, d'inondation, de sécheresse, etc., ce qui aide considérablement à comprendre les roches, le climat, le drainage, le relief et la couverture végétale dans le bassin hydrographique [5].

Les paramètres physiographiques, morphométriques [13] et sociaux sont étroitement associés à la planification et au développement des bassins versants. De nombreux auteurs ont utilisé les aspects linéaires, aériens et de relief pour la priorisation des bassins versants dans les projets de développement [14-16]. De plus, GEBRE *et al.* (2015) [17] ont utilisé des informations sur la relation entre les types de sol et la texture du

sol avec les paramètres morphométriques. Certains chercheurs ont signalé une relation entre les caractéristiques d'utilisation / couverture des terres et la morphologie, la pente, le sol, les processus de surface des terres, le climat, l'hydrologie, etc. ainsi que les activités humaines [18-20]. Des paramètres comme la géologie et la pluviométrie montrent moins de variations et d'influences sur le développement des micro-bassins versants [12]. De même, la géologie et les précipitations montrent une influence considérable sur la formation et la variation des caractéristiques des sous-bassins versants dans les bassins fluviaux moyens et majeurs [21;22], alors que la pression démographique est l'une des causes de la surexploitation des ressources naturelles. Cependant, les paramètres morphométriques sont utilisés avec succès avec la géologie, la pluviométrie et la répartition de la population pour la hiérarchisation des sous-bassins versants dans un bassin hydrographique moyen. Ainsi, l'étude des différentes propriétés des bassins hydrographiques devient significative en raison de leur conséquence dans le développement du relief. Elle fournit des connaissances d'un apport essentiel aux stratégies d'aménagement des bassins fluviaux et à la compréhension de leurs propriétés hydrologiques.

La présente étude a été réalisée pour comprendre les divers aspects morphométriques: linéaire, aréolaire et relief du sous-bassin versant du Niaoulé en utilisant des techniques géospatiales. L'analyse morphométrique utilisant des techniques de télédétection et de SIG a été largement utilisée pour la priorisation des bassins hydrographiques, l'analyse et la gestion des sous-bassins [23-26]. Les techniques SIG offrent un potentiel d'informations spatiales précises et opportunes pour la planification et la gestion des bassins versants [5].

1.- Zone d'étude

Le fleuve Gambie prend sa source à environ 1150 m d'altitude dans le Fouta Djallon, près de Labé en République de Guinée. Le bassin de la Gambie couvre une superficie de près de 77100 km², partagés entre trois Etats [27]: la Guinée (13%), le Sénégal (71%) dont il draine presque toute la région Tambacounda, une partie de la Haute-Casamance et du Saloum méridional et la Gambie (16% de la superficie) dont il est l'épine dorsale et où il rejoint l'océan Atlantique. Il s'étend, en latitude, du 11°22 Nord (dans le Fouta-Djallon) au 14°40 Nord (dans le Ferlo sud-oriental) et, en longitude, du 11°13 Ouest (Fouta-Djallon) au 16°42 Ouest (Banjul, embouchure). La longueur du cours d'eau principal est de 1180 km, un cours d'eau constitué de deux biefs: un bief continental et un bief maritime [28-30]. Le bief continental reçoit de nombreux affluents sur sa rive droite (DiarhaNiokolo-Koba, Niéri-Ko, Niaoulé, Sandougou...) et sur sa rive gauche (Thiokoye, Diaguéri, Koulountou...) (fig. 1). Le Niaoulé, un des affluents de rive droite du fleuve Gambie1 couvre une superficie de 1230 km², soit 1.6 % du bassin de Gambie². Le bassin du Niaoulé s'étend entre les latitudes 13°24' et 13°54' N et entre les longitudes 13°12' et 13°44' Ouest (carte 1). Il est équipé avec la station hydrométrique de Niaoulé-Tanou située à environ dix kilomètres de la confluence avec la Gambie [29]. Petit affluent du fleuve Gambie, le cours d'eau du Niaoulé ne participe que très peu au débit terminal de la Gambie. Durant la période 1971-1993, le fleuve n'a écoulé que 4.609.000 m³/an, d'où la faible disponibilité en eau de surface. L'écoulement est caractérisé par sa brièveté, allant jusqu'à l'arrêt total pendant de nombreux jours durant l'année. L'écoulement dure huit mois à Niaoulé Tanou (de mai à décembre), période qui couvre la saison pluvieuse qui s'étend de mai à octobre.

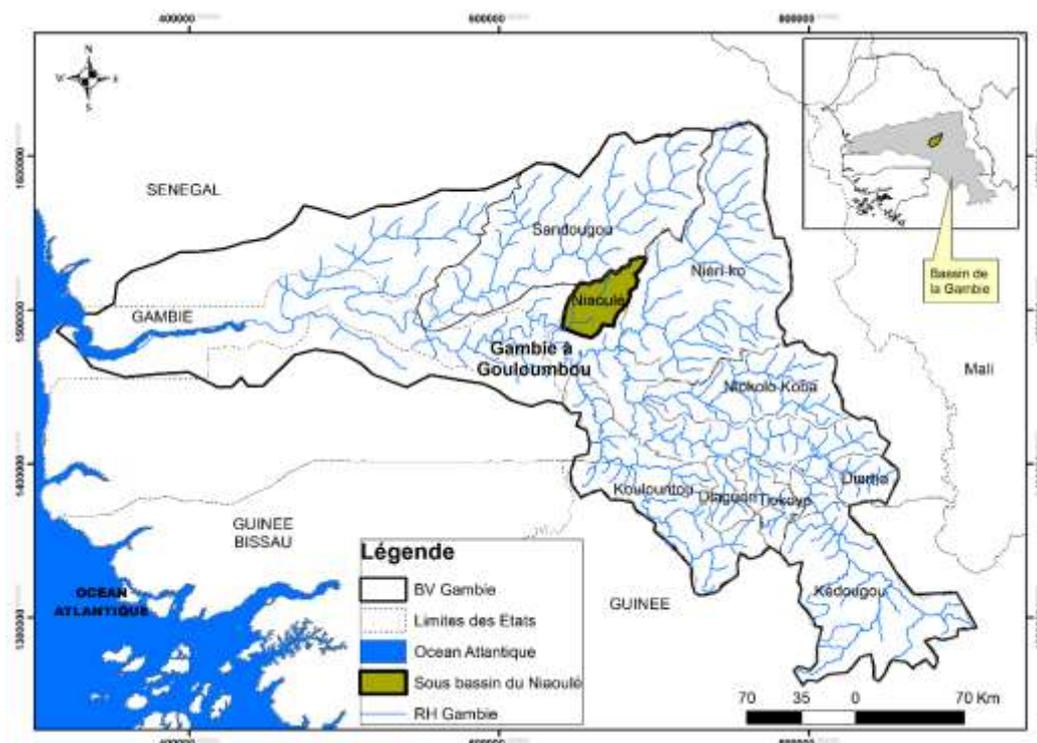


Figure 1.- Localisation du sous-bassin du Niaoulé dans le bassin versant de la Gambie

Les principales unités géomorphologique dans le sous-bassin versant du Niaoulé sont des plateaux et buttes résiduels, les versants à pentes et glacis d'épandages et les terrasses colluvio-alluviales (fig. 2). La seule structure géologique qui apparaît dans le bassin du Niaoulé est le bassin sédimentaire du Continental Terminal. Selon MICHEL (1973) [31], il s'agit d'éléments remaniés sous un climat semi-aride qui ont formé les faciès grès-argileux du Continental Terminal de l'Oligocène au Pliocène (fig. 3). Localement, il se rencontre une cuirasse ferrugineuse et des sables limoneux dans les talwegs. Quand la cuirasse est démantelée, elle abrite une nappe phréatique généralisée, laquelle nappe peut soutenir les débits d'étiage. Le relief du bassin du Niaoulé est assez uniforme avec des altitudes très faibles dans l'ensemble. Le point culminant, avec 71 m, se trouve à l'extrême Nord-est du bassin. L'altitude minimale qui correspond à 0 m est notée vers l'exutoire. Par ailleurs, il se rencontre trois grands types de sols dans le sous-bassin versant du Niaoulé (fig. 4). Les sols sur matériau gravillonnaire sont les plus représentés avec 39.61% des sols du bassin et sont développés sur éboulis de cuirasse accumulés au pied des escarpements de la cuirasse. Les sols minéraux bruts sont surtout de sols minces et résultent d'une importante érosion. Il se distingue deux sous-groupes. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés (26% des sols du bassin) sont subdivisés en deux familles. Dans l'ensemble, les sols du bassin sont minces et peu profonds en raison de leur évolution peu importante et de leur origine (sols d'apport ou d'érosion) d'où leur faible capacité à contenir des nappes superficielles importantes. Quant aux formations d'occupation du sol, elles sont dominées par la savane malgré la présence d'une forte activité agricole La carte de l'occupation des sols a été préparée à partir des images satellitaires Landsat acquises le 23 décembre 2019 de l'USGS et classée à l'aide de l'outil de télédétection Idrisi Terr Set (fig. 5). Comme l'a déjà souligné SOW (2014) [32], les différentes unités d'occupation du sol rencontrées vont de la savane boisée à la savane arborée à arbustive, avec quelques portions de forêt claire. La savane boisée est la formation la plus étendue et couvre plus de la moitié de la superficie du bassin, avec des espèces très variées. Elle est plus dense dans

les larges vallées et sur les sols sableux colluviaux [29].

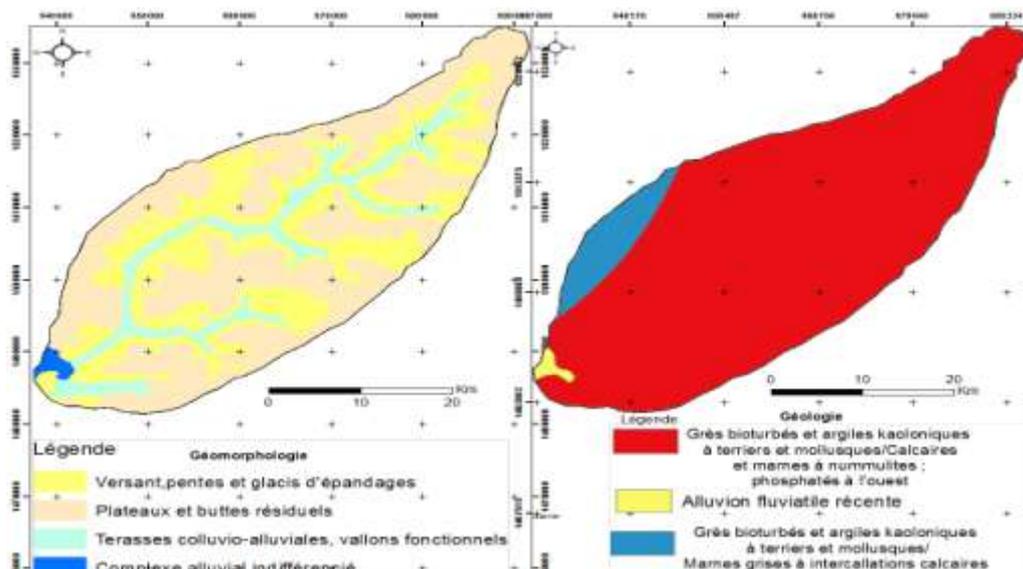


Figure 2.- Unités géomorphologiques du sous-bassin du Niaoulé

Figure 3.- Unités géologiques du sous-bassin du Niaoulé

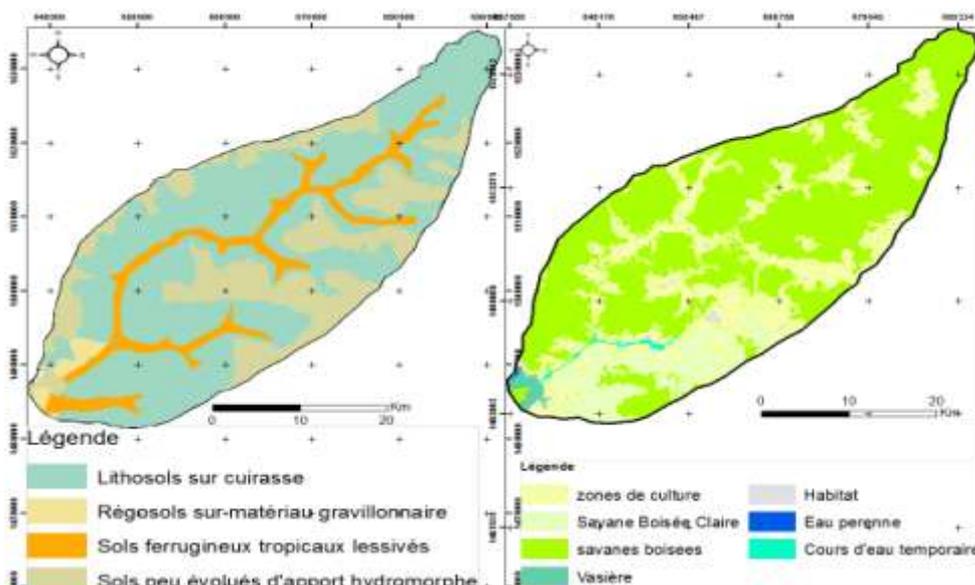


Figure 4.- Unités pédologiques du sous-bassin du Niaoulé

Figure 5.- Classes d'occupation des sols du sous-bassin du Niaoulé

3.- Données et méthodes

Les aspects morphométriques: aspects linéaires, de forme et de relief du bassin versant ont été analysés [5;10;11;33-37]. La méthodologie adoptée dans ce travail est l'utilisation des cartes topographiques de la zone d'étude à l'échelle de 1/50000, pour valider le réseau hydrographique extrait à partir d'un modèle numérique du terrain (MNT), de type SRTM avec une résolution de 90 m (des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines: la NASA et la NGA). Les paramètres du bassin de drainage sont dérivés de la longueur des cours d'eau, du nombre de cours d'eau, de la superficie du bassin, du périmètre et de la longueur du bassin. Les

paramètres morphométriques ont été calculés, dans le cadre de cette étude, en utilisant la formule proposée par HORTON (1945) [10], MILLER (1953) [33], SCHUMM (1956) [34] et STRAHLER (1957) [11].

Les cartes thématiques ont été vérifiées et modifiées sur la base d'informations recueillies sur le terrain à l'aide du GPS et de techniques de travail sur le terrain. Au départ, les cartes topographiques ont été géoréférencées et le réseau de cours d'eau numérisé dans un environnement SIG. La classification des cours d'eau a été effectuée selon la loi de Horton. Les aspects linéaires comprennent l'ordre des cours d'eau (U), le nombre de cours d'eau (Nu), la longueur du cours d'eau (Lu), le rapport de bifurcation (Rb), la longueur moyenne des cours d'eau des ordres correspondants (Lum), le rapport de longueur des cours d'eau (Lur) et le rapport de longueur moyenne des cours d'eau (Lurm). Les aspects spatiaux comprennent la surface du bassin (A), le périmètre du bassin (P), la fréquence des courants (Fs), le rapport de circularité (Rc), le rapport d'allongement (Re), le facteur de forme (Ff), la longueur de l'écoulement terrestre (Lg), le ratio de texture (Rt), le maintien constant du canal (C), la texture de drainage (Tj), le coefficient de compacité de Gravelius (K_G) et la densité de drainage (Dd). Les aspects liés au relief comprennent le relief du bassin (Rh), le rapport de relief (Rhl), le relief relatif (Rr), le nombre de robustesse (Rn) et l'analyse de la pente (m). Tous ces paramètres ont été calculés et analysés pour le sous-bassin hydrographique du Niaoulé (tab. 1).

Tableau I.- Paramètres morphométriques

| Paramètres morphométriques | Descriptions | Références |
|---|---|------------|
| Aspects linéaires | | |
| Numéro des cours d'eau (Nu) | $Nu = N_1 + N_2 + \dots + N_n$; où, Lu = Longueur du cours d'eau, L1 = Longueur du cours d'eau du premier ordre et L2 = Longueur du cours d'eau du second ordre et Ln = Nombre 'n' de la longueur du cours d'eau | [11] |
| Longueur des cours d'eau (Lu) | $Lu = L_1 + L_2 + \dots$; où, N1 = Cours d'eau de premier ordre, N2 = Cours d'eau de second ordre et Nn = Nombre de cours d'eau | [11] |
| Longueur moyenne des cours d'eau (Lum) | $Lum = Lu / Nu$; où, Lu = Longueur moyenne des cours d'eau d'un ordre donné (km), Nu = Nombre de segments des cours d'eau | [11] |
| Rapport de longueur des cours d'eau (Lur) | $Lur = Lu / Lu-1$; où, Lu = Longueur totale des cours d'eau de l'ordre (u), Lu-1 = Longueur totale des cours d'eau de l'ordre inférieur suivant. | [11] |
| Rapport de bifurcation (Rb) | $Rb = Nu / Nu+1$; où, Nu = Nombre de segments des cours d'eau présents dans l'ordre donné, Nu+1 = Nombre de segments de l'ordre supérieur suivant. | [34] |
| Aspects de forme | | |
| Densité de drainage (Dd) | $Dd = L / A$; où, L = Longueur totale du cours d'eau, A = Superficie du bassin | [11] |
| Fréquence de flux (Fs) | $Fs = N / A$; où, L = Nombre total de cours d'eau, A = Superficie du bassin | [11] |
| Coefficient de compacité de Gravelius (K_G) | $(K_G) = 0,25P / \sqrt{A}$; où K_G = Coefficient de compacité de Gravelius, P = Périmètre du bassin, A = Superficie du bassin | [38] |
| Ratio de texture (Rt) | $Rt = N1 / P$; où, N1 = Nombre total de cours d'eau de premier ordre, P = Périmètre du bassin | [11] |

| | | |
|--|--|------|
| Facteur de forme (Ff) | $Ff=A/(Lb)^2$; où, A = Superficie du bassin, Lb = Longueur du bassin | [11] |
| Facteur de forme (k) | $k=Lb^2\pi/4A$; où A = Superficie du bassin, $\pi = 3,14$, Lb = longueur du bassin | [39] |
| Rapport de circularité (Rc) | $Rc=4\pi A/P^2$; où A = Superficie du bassin, $\pi = 3,14$, P = Périmètre du bassin. | [33] |
| Ratio d'allongement (Re) | $Re=\sqrt{(A/\pi)/Lb}$; où, A = Superficie du bassin, $\pi = 3,14$, Lb = Longueur du bassin | [34] |
| Longueur de l'écoulement terrestre (Lg) | $Lg=1/2Dd$, où, Dd = Densité de drainage | [11] |
| Maintien constant du canal (C) | $C=1/Dd$, où, Dd = Densité de drainage | [11] |
| Texture de drainage (Tj) | $Tj = Dd*Nj/A$, où Tj = Coefficient de torrentialité du flux d'ordre; Nj = Nombre de cours d'eau d'ordre j, A = Surface du bassin, Dd = Densité de drainage (km/km ²) | [11] |
| Aspects liés au relief | | |
| Relief du bassin (Rh) | Distance verticale entre le point le plus bas et le point le plus haut du bassin | [34] |
| Rapport du relief (Rhl) | $Rhl = Bh / Lb$; où, Bh = Relief du bassin, Lb = Longueur du bassin | [34] |
| Relief relatif (Rr) | $Rr = Rh*100/P$, où Rh = Relief du bassin, P = Périmètre du bassin. | [40] |
| Nombre de robustesse (Rn) | $Rn=Bh\times Dd$; où, Bh = Relief du bassin, Dd = Densité de drainage | [34] |
| Pente (m) | $m = \Delta y/\Delta x$ ou Rise/Run où, m = Pente, Δy est un changement vertical, Δx est un changement horizontal | [41] |

3.- Résultats et discussion

3.1.- Analyse morphométrique

3.1.1.- Aspects linéaires

Les aspects linéaires des sous-bassins hydrographiques sont déclinés en termes d'ordre des cours d'eau, associés aux attributs du nombre et de la longueur moyenne des cours d'eau avec leur ordre correspondant. Dans la présente étude, divers aspects linéaires, dont l'ordre des cours d'eau (U), le nombre de cours d'eau (Nu), la longueur des cours d'eau (Lu), le rapport de bifurcation (Rb), le rapport de longueur des cours d'eau (Lur) et le rapport de longueur moyenne des cours d'eau (Lurm) ont été pris en compte dans l'analyse de détaillée (tab. II).

Tableau II.- Aspects linéaires du sous-bassin du Niaoulé

| Ordonnances de cours d'eau | Nombre de cours d'eau | Longueur de cours d'eau | Longueur moyenne | Rapport de longueur | Rapport de bifurcation |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|---------------------|------------------------|
| 1 | 842 | 756,23 | 0,90 | - | 4,55 |
| 2 | 185 | 301,8 | 1,63 | 1,82 | 5,00 |
| 3 | 37 | 144,3 | 3,90 | 2,39 | 3,08 |
| 4 | 12 | 68,9 | 5,74 | 1,47 | 4,00 |
| 5 | 3 | 41,2 | 13,7 | 2,39 | 3,00 |
| 6 | 1 | 44,5 | 44,5 | 3,24 | - |
| Total/moyenne | 1080 | 1356,93 | 1,26 | 2,26 | 3,93 |

3.1.1.1.- Ordre de cours d'eau (U)

L'ordonnancement des cours d'eau est la première étape de l'analyse quantitative des bassins versants. Elle exprime la relation hiérarchique entre les segments de cours d'eau, leur connectivité et le débit provenant des bassins versants qui y contribuent. Par la suite, ce concept a été adapté par STRAHLER (1957) [11]. Selon STRAHLER (1957) [11], les cours d'eau de premier ordre sont ceux qui n'ont pas d'affluents. Les cours d'eau de second ordre sont les affluents des canaux de premier ordre uniquement. Les canaux de second ordre se joignent aux segments des cours d'eau de troisième ordre. De même, deux canaux de troisième ordre déversent de l'eau dans des canaux de quatrième ordre, etc. Le cours d'eau principal, par lequel passe la totalité de l'eau et des sédiments, est le segment de cours d'eau de premier ordre. Ainsi, dans la présente étude, le classement des cours d'eau est basé sur la méthode proposée par STRAHLER (1957) [11] et constitue un réseau de cours d'eau de 6^e ordre. La fréquence maximale est dans le cas de cours d'eau de premier ordre et diminue à mesure que l'ordre des cours d'eau augmente. Environ 1080 cours d'eau observés dans le sous-bassin versant du Niaoulé, dont 842 sont de premier ordre, 145 de deuxième ordre, 37 de troisième ordre, 12 de quatrième ordre, 3 de cinquième ordre et un seul de sixième ordre (fig. 6). Le schéma de drainage du sous-bassin versant du Niaoulé est de type dendritique (en forme d'arbre), ce qui indique une homogénéité de la texture sans contrôle structural.

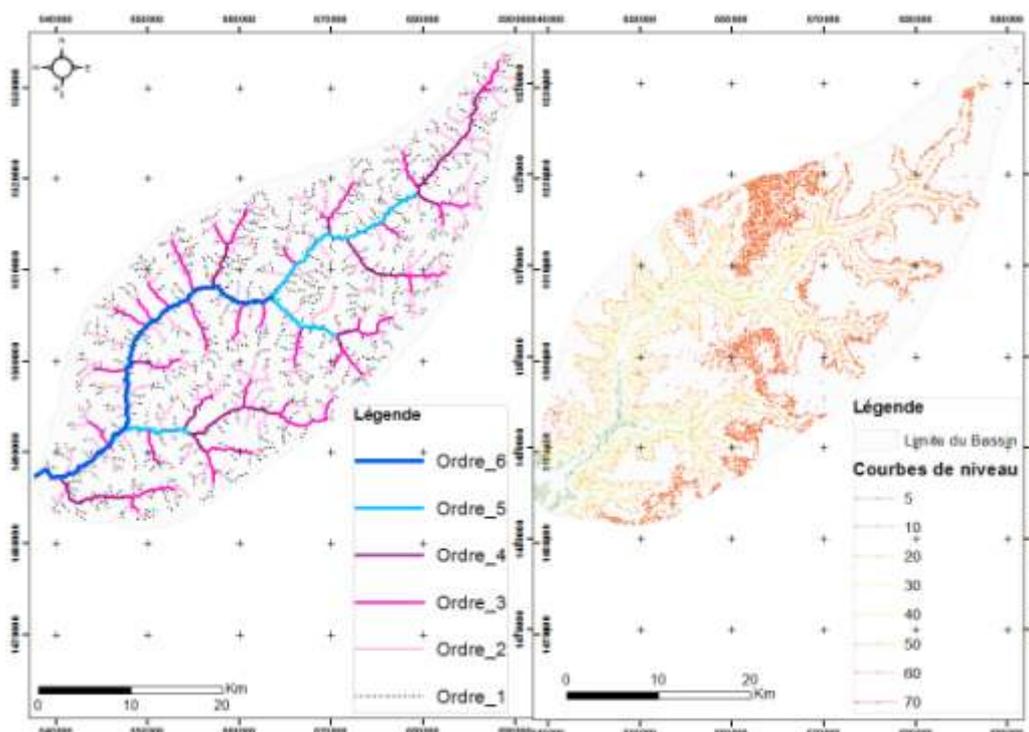


Figure 6.- Ordres des cours d'eau du sous-bassin du Niaoulé

Figure 7.- Courbes de niveau du sous-bassin du Niaoulé

3.1.1.2.- Nombre de cours d'eau (Nu)

Les "nombres de segments de cours d'eau de chaque ordre forment une séquence géométrique inverse avec un numéro d'ordre" [10]. Environ 1080 cours d'eau observés dans le sous-bassin versant du Niaoulé. La fréquence maximale était dans le cas des cours d'eau de premier ordre et diminue à mesure que l'ordre des cours d'eau augmente.

3.1.1.3.- Longueur du cours d'eau (Lu)

La longueur du cours d'eau révèle les caractéristiques de l'écoulement de surface du bassin. Elle a été mesurée à l'aide d'un rotamètre. Le cours d'eau d'une longueur relativement plus faible est caractéristique des zones ayant des pentes plus importantes et une surface exquise. En général, "la longueur totale des segments de cours d'eau est maximale dans les cours d'eau de premier ordre" et diminue avec l'augmentation de l'ordre des cours d'eau. La loi de Horton sur la longueur des cours d'eau suggère une relation géométrique entre le nombre de segments de cours d'eau dans les ordres successifs des cours d'eau et les formes de terrain [10]. Dans le sous-bassin versant du Niaoulé, la longueur des cours d'eau a été calculée en utilisant les cartes topographiques qui découlent du MNT.

La longueur totale maximale des cours d'eau est observée pour les cours d'eau de premier ordre (tab. II) et diminue à mesure que l'ordre augmente, à l'exception du cours d'eau de cinquième et sixième ordre. Les cours d'eau de premier ordre ont une longueur de 756,23 km, les cours d'eau de deuxième ordre de 301,8 km, les cours d'eau de troisième ordre de 144,3 km, les cours d'eau de quatrième ordre de 68,9 km, les cours d'eau de cinquième ordre de 41,2 km et les cours d'eau de sixième ordre de 44,5 km. Cette incohérence entre les cours d'eau de cinquième et de sixième ordre est probablement due à la variation du relief, à la variation lithologique et à l'état des roches dans la région [42].

3.1.1.4.- Longueur moyenne du cours d'eau (Lum)

La longueur moyenne des cours d'eau est une propriété sans dimension qui montre la taille du réseau de drainage et les surfaces des bassins [11]. La longueur moyenne d'un cours d'eau (Lum) est le rapport entre la longueur totale du cours d'eau et le nombre de cours d'eau (par ordre). La longueur moyenne des cours d'eau du sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,90 pour le premier ordre, 1,63 pour le deuxième ordre, 3,90 pour le troisième ordre, 5,74 pour le quatrième ordre, 13,7 pour le cinquième ordre et 44,5 pour le sixième ordre. La longueur moyenne des cours d'eau augmente avec l'augmentation du nombre de cours d'eau. La valeur moyenne de la longueur moyenne des cours d'eau du sous-bassin versant du Niaoulé est de 1,26.

3.1.1.5.- Ratio de longueur du cours d'eau (Lur)

Le rapport de longueur du cours d'eau est le rapport entre la longueur moyenne du cours d'eau de l'ordre sélectionné et la longueur moyenne du cours d'eau de l'ordre précédent dans le bassin versant [10]. Les variations du rapport de longueur entre les cours d'eau d'ordre différent indiquent un stade de développement géomorphologique tardif [42]. Le rapport de longueur des cours d'eau dans le sous-bassin versant du Niaoulé varie de 1,47 (entre la longueur moyenne du cours d'eau d'ordre 4 et celle d'ordre 3) à 3,24 (entre la longueur moyenne du cours d'eau d'ordre 6 et celle d'ordre 5) pour une moyenne de 2,26 et un total de 11,31.

3.1.1.6.- Ratio de bifurcation (Rb)

Le ratio de bifurcation est le rapport entre le nombre total de cours d'eau de l'ordre sélectionné et le nombre total de cours d'eau de l'ordre immédiatement supérieur dans le bassin versant. C'est un indice de relief et de dissection [10;34]. Le ratio de bifurcation indique le degré d'intégration entre les cours d'eau d'ordres différents dans un bassin de

drainage. Les valeurs les plus faibles indiquent la planéité ou la physiographie de roulement du bassin, tandis que les valeurs les plus élevées indiquent un contrôle structurel robuste sur le schéma de drainage avec des bassins de drainage bien disséqués [11].

Dans la plupart des études, le rapport de bifurcation varie typiquement entre 3 et 5 pour le bassin versant dans lequel la géologie est raisonnablement homogène sans perturbations structurelles du bassin de drainage, ce qui est le cas du sous-bassin versant du Niaoulé. Les rapports de bifurcation sont classés en 3 classes différentes: bassin circulaire (≤ 2.25), bassin de type chêne (2.25 et 5) et bassin allongé (>5). Le ratio de bifurcation moyen du sous-bassin versant du Niaoulé est de 3,93 pour un total de 19,63. Les ratios de bifurcation qui varient de 3,00 (entre le nombre total de cours d'eau d'ordre 5 et celle d'ordre 6) à 4,55 (entre le nombre total de cours d'eau d'ordre 1 et celle d'ordre 2), classent le sous-bassin versant du Niaoulé dans la catégorie des bassins de type chêne.

3.1.2.- Aspects spatiaux ou de forme

Parmi les aspects régionaux, citons la densité de drainage, la fréquence des courants, le rapport de texture, les facteurs de forme, le rapport circulatoire, le rapport d'allongement, la longueur de l'écoulement terrestre et la constante de l'entretien du canal. Cette analyse peut être utile pour établir une relation entre le débit du cours d'eau et la superficie totale du bassin.

Tableau III.- Aspects spatiaux ou de forme du sous-bassin du Niaoulé

| Aspects spatiaux ou de forme | Résultats |
|--|-----------|
| Superficie (km²) (A) | 1343 |
| Périmètre (km) (P) | 166 |
| Longueur du bassin (km) (Lu) | 72,3 |
| Longueur du cours d'eau (km) | 90 |
| Relation longueur du cours d'eau / Superficie (Lar) | 0,067 |
| Lemniscate (k) | 3,05 |
| Densité de drainage km/km² (Dd) | 1,01 |
| Fréquence de flux (Fs) | 0,80 |
| Ratio de texture (Dt) | 5,07 |
| Coefficient de compacité de Gravelius (K_G) | 1,27 |
| Facteur de forme (Ff) | 0,26 |
| Ratio d'allongement (Re) | 0,29 |
| Rapport de circularité (Rc) | 0,61 |
| Longueur de l'écoulement terrestre (Lg) | 0,51 |
| Maintien constant du canal (C) | 0,99 |
| Texture de drainage (Tj) | 0,135 |
| Fréquence des cours d'eau | 0,627 |
| Coefficient de torrentialité | 0,633 |

3.1.2.1.- Superficie totale du bassin (A)

La superficie totale du bassin est un paramètre important dans l'analyse morphométrique. La forme d'un bassin a pour origine une poire et tend à s'allonger au fil du temps. La superficie du sous-bassin versant du Niaoulé est de 1343 km².

3.1.2.2.- Périmètre du bassin (P)

La limite extérieure du bassin versant englobe la totalité de la zone. La longueur de cette limite externe, qui est également mesurée le long de la ligne de partage des eaux, est le périmètre du bassin. Le périmètre est un indicateur de la taille et de la forme du bassin versant [34]. Le périmètre du sous-bassin versant du Niaoulé est de 166 km.

3.1.2.3.- Longueur du bassin (Lb)

La longueur du bassin est la distance linéaire droite entre l'embouchure du bassin et le point le plus éloigné de la ligne de partage des eaux. Cette ligne coupe la projection de la direction de la ligne à partir de la source du courant principal [10]. La longueur du sous-bassin versant du Niaoulé est de 72,3 km.

3.1.2.4.- Relation longueur/surface (Lar)

La longueur du cours d'eau et la superficie du bassin sont liées par de simples fonctions d'alimentation dans un grand nombre de bassins. Le rapport entre la longueur du cours d'eau et la superficie du sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,067.

3.1.2.5.- Valeur de Lemniscate (k)

La pente du bassin peut être exprimée à l'aide de la valeur de Lemniscate [39]. La valeur de Lemniscate (k) pour le sous-bassin versant du Niaoulé qui est de 3,05, indique que le bassin est occupé par un petit nombre de cours d'eau d'ordre supérieur.

3.1.2.6.- Densité de drainage (Dd)

Le rapport entre la "longueur totale des cours d'eau de tous ordres" et la "superficie" du bassin est défini comme la densité de drainage et est exprimé en km/km². La proximité dans l'espacement des canaux peut être identifiée par l'utilisation de la densité de drainage. Cela est utile pour les mesures quantitatives de la longueur moyenne d'un cours d'eau par rapport à l'ensemble du bassin. Elle est classée en 5 classes différentes: très grossière (<1,2), faible (1,2 à 2,4), modérée (2,4 à 3,6), élevée (3,6 à 4,8) et très élevée (4,6 à 6). Des valeurs plus élevées indiquent une perméabilité plus faible, une végétation clairsemée et un relief accidenté, et des valeurs plus faibles indiquent une perméabilité plus élevée [11]. La densité de drainage dans le sous-bassin versant du Niaoulé est d'environ 1,01 km/km², ce qui est très grossière (c'est à dire de type limité) et indique un sous-sol perméable, une couverture végétale moins dense et un relief moins accidenté [2].

3.1.2.7.- Fréquence de flux (Fs)

L'expression du nombre total de segments de cours d'eau appartenant à tous les ordres par unité de surface est identifiée comme la fréquence de flux ou densité hydrographique [10]. La fréquence de flux tend à être en corrélation positive avec la densité de drainage. La fréquence de flux du sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,80. Cette faible valeur de la fréquence de flux indique un ruissellement et une inondation plus lents dans le bassin versant [43]. Généralement une faible fréquence de flux est liée à un matériau perméable. La faible variation de la fréquence du flux s'expliquerait par la dominance des alluvions, des sables graveleux et des grès du bassin sédimentaire du Continental Terminal dans le sous-bassin versant du Niaoulé [32].

3.1.2.8.- Ratio de texture (Rt)

Le rapport entre le nombre de cours d'eau de premier ordre et le périmètre du bassin peut être défini comme le rapport de texture [39]. Il est indicatif de l'espacement des cours d'eau. SMITH (1939) [44] a établi une classification quintuple des classes de texture très grossière (<2), de texture grossière (2 à 4), de texture modérée (4 à 6), de texture fine (6 à 8) et de texture très fine (>8). La texture de drainage du sous-bassin versant du Niaoulé est de 5,07 et indique une texture de drainage très modérée.

3.1.2.9.- Coefficient de compacité de Gravelius (K_G)

L'indice de compacité de GRAVELIUS (1914) [38] K_G est défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface. Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Le Coefficient de compacité est défini comme le périmètre du bassin divisé par la circonférence d'un cercle à la même zone du bassin. Il est proportionnel à l'évaluation du risque d'érosion, ce qui nécessite la mise en œuvre des mesures de protection et de conservation. Le coefficient de compacité est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée. Il est classé en 3 classes de formes différentes: ramassée (1 à 1,15), intermédiaire (1,15 à 1,5) et allongée (1,5 et plus). Le coefficient de compacité du sous-bassin versant du Niaoulé est de 1,27 et indique un bassin dont la forme est intermédiaire (ni tout à fait ramassée, ni tout à fait allongée).

3.1.2.10.- Facteur de forme (Ff)

Le facteur de forme (Ff) est le rapport entre la surface du bassin et la source de la longueur du bassin. L'intensité du cours d'eau d'une unité de surface peut être identifiée grâce à ce facteur [10]. Pour un bassin parfaitement circulaire, la valeur du facteur de forme sera supérieure à 0,78 (une valeur de 1 indiquerait une forme parfaitement circulaire). Plus le bassin est allongé, plus la valeur du facteur de forme serait faible (proche de 0). Le facteur de forme du sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,26, et symbolise une forme intermédiaire, légèrement allongée et donc peu vulnérable à l'érosion.

3.1.2.11.- Ratio d'allongement (Re)

La forme d'un bassin peut être identifiée par le rapport d'allongement. Il est calculé comme le rapport entre le diamètre d'un cercle ayant une surface similaire à celle du bassin et la longueur maximale du bassin [34]. Des environnements climatiques et géophysiques variés sont évalués entre les valeurs du rapport de 0,60 à 1,00. Les valeurs proches de 1,00 indiquent un relief plus faible, tandis que celles comprises entre 0,60 et 0,80 peuvent être associées à des pentes de terrain abruptes et à un relief élevé [11]. Les différentes formes d'un bassin versant, à savoir la forme circulaire (0,9-0,10), ovale (0,8-0,9) et moins allongée (<0,7). Le rapport d'allongement du sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,29, ce qui indique une forme moins allongée.

3.1.2.12.- Rapport de circularité (Rc)

Le rapport de circularité défini par Miller [33] est le rapport de la surface d'un bassin à l'aire d'un cercle ayant la même circonférence que le périmètre du bassin. Ce rapport est un indice sans dimension utilisé pour identifier la forme du contour du bassin.

La valeur varie de zéro (une ligne) à un (un cercle). La valeur tend à être influencée par la longueur et la fréquence de flux dans leur ordre respectif, leur gradient, leur lithologie et leur mode de drainage [45]. Le rapport de circularité du sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,61, ce qui indique une forme modérée du bassin. Cela implique un stade de jeunesse tardif du développement géomorphologique du bassin de drainage.

3.1.2.13.- Longueur de l'écoulement terrestre (Lg)

HORTON (1945) [10] identifie la longueur du cours d'eau sur la surface du sol avant de se concentrer dans un canal de ruisseau. Il s'agit d'une variable indépendante qui affecte le développement du bassin de drainage. Elle peut être assimilée à la moitié de la valeur réciproque de la densité de drainage. La longueur de l'écoulement terrestre dans le sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,5.

3.1.2.14.- Maintien constant du canal (C)

SCHUMM (1956) a utilisé l'inverse de la densité de drainage comme une propriété appelée Maintien constant du canal [34]. Le Maintien constant du canal ou Coefficient de stabilité du flux est le rapport entre la superficie d'un bassin de drainage et la longueur totale de tous les canaux exprimée en km^2 . Le Maintien constant du canal dépend du type de roche, de la durée de l'érosion, du relief, de la perméabilité, de la couverture végétale et des conditions climatiques. SCHUMM (1956) [34] a classé le Maintien constant du canal (km^2/km) en cinq catégories différentes, à savoir plus érodables ($<0,2$), modérément érodables (0,2 à 0,3), modérément peu érodables (0,3 à 0,4), peu érodables (0,4 à 0,5) et moins érodables ($>0,5$) [34]. Le Maintien constant du canal du sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,99 km^2/km , ce qui indique que ce sous-bassin versant est moins érodable.

3.1.2.15.- Texture de drainage (km^2/km) (Tj)

La texture du drainage (ou coefficient de torrentialité) détermine l'espacement relatif entre les biefs dans un terrain disséqué par l'érosion. Cela dépend de plusieurs facteurs naturels, tels que le climat, les précipitations, la couverture végétale, le type de sol, la capacité d'infiltration et le terrain. La texture de drainage du cours d'eau évalue l'adaptabilité d'un bassin de drainage à l'écoulement de surface ou à l'infiltration. Il est donné selon l'ordre I de flux et se subdivise en cinq catégories de drainage différentes, à savoir drainage grossier (<4), intermédiaire (4 à 10), fin (10 à 15) et ultra fin (> 15). La texture du drainage du sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,633 pour le premier ordre, 0,139 pour le deuxième ordre, 0,028 pour le troisième ordre, 0,009 pour le quatrième ordre, 0,002 pour le cinquième ordre et 0,001 pour le sixième ordre pour une moyenne de 0,135, ce qui indique que ce sous-bassin versant a un drainage de type grossier. La fréquence des cours d'eau qui représente le rapport des cours d'eau d'ordre 1 à la surface du bassin versant étudié est de 0,627 pour le sous-bassin versant du Niaoulé. Le coefficient de torrentialité qui est donné par la multiplication entre la fréquence des cours d'eau d'ordre 1 avec la densité de drainage est de 0,633 pour le sous-bassin versant du Niaoulé. Les paramètres de formes comme le taux d'allongement, le facteur de forme et le coefficient de compacité sont inversement proportionnels à la vigueur de l'érosion des sols. L'étude permet de conclure que le paramètre de forme est le plus déterminant, la faiblesse de sa valeur est un indicateur de risque d'érodabilité.

3.1.3.- Aspects liés au relief

Les aspects de relief ou de gradient sont des paramètres tout à fait essentiels de l'analyse des bassins de drainage car ils décrivent la nature de la rugosité et de la configuration de la surface. Le rapport du relief, le relief relatif et l'indice de rugosité sont quelques paramètres importants de la morphométrie du relief qui est examinée dans la suite (tab. 4).

Tableau IV.- Aspects liés au relief du sous-bassin du Niaoulé

| Aspects liés au relief | Résultats |
|---------------------------|-----------|
| Relief du bassin (Rh) | 71 m |
| Rapport du relief (Rhl) | 0,001 |
| Relief relatif (Rr) | 0,04 |
| Nombre de robustesse (Rn) | 0,072 |

3.1.3.1.- Relief du bassin (H)

Il est défini comme étant la différence d'altitude entre le point le plus bas (exutoire) et le point le plus élevé (ligne de partage des eaux) d'un bassin versant [46]. Il joue un rôle important dans le développement des formes de relief, le développement de drainage de surface et l'écoulement de l'eau souterraine [47]. Le relief moyen du sous-bassin versant du Niaoulé est de 52 m. L'altitude la plus élevée du bassin versant est de 71 m, et l'altitude la plus basse du bassin versant est de 0 m (fig. 7) pour une dénivellation de 71 m. La courbe de niveau la plus élevée est de 70 m dans la direction nord-est des zones du sous-bassin versant du Niaoulé (fig. 7). La courbe de niveau la plus basse est de 5m dans la partie sud-ouest de la zone du bassin. L'altitude la plus basse du sous-bassin versant du Niaoulé qui est de 0 m est donc notée dans la partie sud.

3.1.3.2.- Rapport du relief (Rhl)

Le relief ratio mesure la pente globale d'un bassin de drainage. C'est un indicateur de l'intensité du processus d'érosion se produisant dans un bassin versant [34]. L'un représente l'horizontale et l'autre passe par le point le plus élevé du bassin. Le relief ratio mesure la pente globale d'un bassin de drainage. C'est un indicateur de l'intensité du processus d'érosion se produisant dans un bassin versant. Il indique l'intensité du processus d'érosion qui s'opère sur la pente de ce bassin particulier [34]. Le relief ratio est classé en 6 classes de pente: pente nulle (0 à 0,01), faible (0,01 à 0,09), moyenne (0,09 à 0,25), assez forte (0,25 à 0,49), forte (0,49 à 1), très forte (plus de 1). La valeur du rapport de relief dans le sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,001, ce qui indique un faible relief et une pente douce ou nulle. La faible valeur du rapport de relief est principalement due au faible degré de pente.

3.1.3.3.- Relief relatif (Rr)

L'indice Relief relatif (Rr) est une variable morphométrique importante utilisée pour l'estimation des caractéristiques morphologiques générales du terrain [40]. Les sous-bassins versants ayant un relief relatif plus élevé ont un potentiel de ruissellement plus élevé que les autres sous bassins [40]. Le relief relatif pour le sous-bassin versant du Niaoulé de 0,04% Correspond à un potentiel de ruissellement faible.

3.1.3.4.- Nombre de robustesse (Rn)

Le nombre de robustesse (Rn) est le produit de la densité de drainage (Dd) et celui du relief du bassin (Rh) [11;48] dans la même unité. Dans certains cas, les deux variables sont significatives, et la pente est aussi bien raide que longue, cet indice de robustesse temporelle se produit dans des valeurs énormément élevées. Dans le sous-bassin versant du Niaoulé, la valeur de l'indice de robustesse de 0,072 est faible, ce qui indique qu'il s'agit d'une zone peu sensible à l'érosion des sols.

3.1.3.5.- Modèle numérique d'altitude (MNA)

Le terme "soulagement relatif" a été introduit par MELTON (1957) [48]. Une analyse visuelle de la zone d'étude a été réalisée à l'aide d'un modèle numérique d'altitude (MNA). Le MNA a été produit sur la base de données de contour (fig. 8). Le relief du sous-bassin du Niaoulé est assez uniforme avec des altitudes très faibles dans l'ensemble. Le point culminant, avec 71 m, se trouve à l'extrême Nord-est du bassin. L'altitude minimale qui correspond à 0 m est notée vers l'exutoire. Le relief est constitué d'un plateau tabulaire de 40 m d'altitude en moyenne. La répartition des altitudes présente deux tranches d'altitude exprimée par la courbe hypsométrique [49]: 88% du bassin se trouvent en dessous de 40 m, correspondant aux versants, pentes et glacis d'épandage qui cernent la zone de confluence du Niaoulé avec la Gambie; 12% du bassin se situent entre 40 et 75 m, il s'agit de plateaux et buttes résiduels recouverts de lithosols sur cuirasse. La classe d'altitude la plus fréquente du bassin est la classe 55-60 m dont la surface correspondante est de 688 km (soit plus de la moitié du bassin). L'indice de pente globale du bassin du sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,6 pour une dénivelée spécifique de 22,8 m, ce qui indique un relief de type faible. C'est pour cela que le bassin est donc exposé à un faible drainage et à une forte infiltration.

3.1.3.6.- Pentas (m)

L'analyse des pentes est un facteur essentiel dans les études géomorphologiques [10]. La pente est définie comme le taux de changement de hauteur de la valeur de chaque cellule par rapport à ses voisines [41]. La lithologie et les processus climatiques morphogènes contrôlent les éléments de la pente dans la région avec une résistance variable. La compréhension de la pente joue un rôle essentiel dans la planification de l'agriculture, de la déforestation et de la gestion des catastrophes. Les valeurs de pente les plus faibles indiquent un terrain plat et les valeurs de pente les plus élevées indiquent un terrain plus raide. L'ensemble de données de sortie sur les pentes peut être calculé en pourcentage ou en degré de pente [50]. Dans le sous-bassin versant du Niaoulé, la carte de la pente est réalisée à partir de la plateforme Arcgis. Il existe six classes de pente identifiées et calculées en degrés. Dans la zone du sous-bassin versant du Niaoulé, les pentes varient de 0° à 90°. La partie sud du sous-bassin versant du Niaoulé est observée en terrain plat et la partie nord de la zone du bassin est couverte par une zone de plateaux et buttes résiduels (fig. 9).

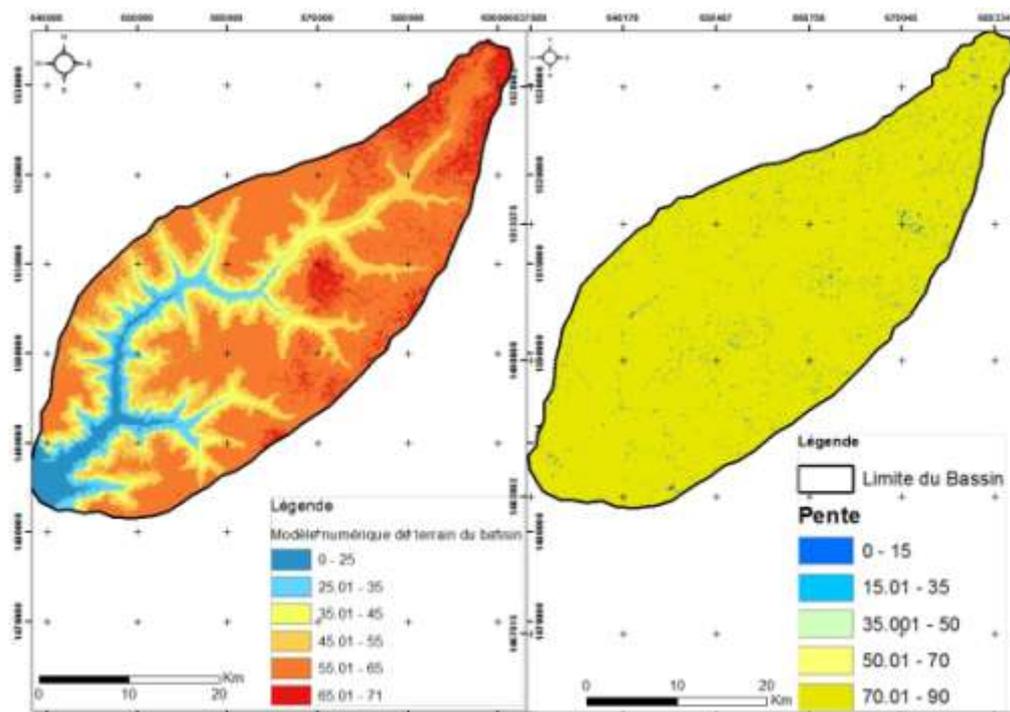


Figure 8.- MNA du sous-bassin du Niaoulé

Figure 9.- Penthes du sous-bassin du Niaoulé

La géologie, le relief et le système de pentes qui l'accompagne, les sols qui porte la végétation constituent les facteurs stables de l'écoulement du bassin. La pluviométrie (donnée aléatoire) qui dépend du climat, de même que les températures et les effets induits comme l'évaporation ont une large influence sur les modalités de l'écoulement. L'indice de pente, très faible dans le bassin du Niaoulé traduisant ainsi une très grande faiblesse des pentes du bassin. L'indice de pente a une grande influence sur l'écoulement. C'est elle qui, en définitive, constitue le facteur principal de ruissellement, qui sera d'autant plus important et rapide que le relief sera vigoureux. Cette faiblesse des pentes, due aux variations des altitudes qui sont peu importantes, a pour conséquence une diminution de la vitesse de l'écoulement, donc une atténuation des débits de crue et des pertes par évaporation plus importantes. La forme du bassin exprimée par le coefficient de compacité Gravelius et qui est égal à 1.27 traduit aussi une forme assez allongée, qui est plus apte à écouler l'eau. Les sols et la végétation ont aussi un rôle important dans l'écoulement d'un cours d'eau. Deux phénomènes ont laissé leur empreinte sur les sols du bassin versant du Niaoulé. Le cuirassement et la latérisation qui sont déterminants non seulement sur la capacité d'infiltration des sols mais aussi sur leur aptitude à porter une végétation importante [29;32].

3.2.- Analyse hydrologique

Le tableau V présente les données d'analyse du régime moyen annuel du sous-bassin versant du Niaoulé. L'évolution des valeurs moyennes mensuelles de débits traduit deux périodes. La période de montée des eaux dure 4 mois et va d'avril à juillet où le débit passe de $0\text{ m}^3/\text{s}$ à $0,85\text{ m}^3/\text{s}$ soit un accroissement total de $0,85\text{ m}^3/\text{s}$. Entre avril et mai le module augmente de $0,04\text{ m}^3/\text{s}$, soit 4,71% en valeur relative. Entre mai et juin, le module passe de $0,04\text{ m}^3/\text{s}$ à $0,36\text{ m}^3/\text{s}$ soit une augmentation brute de $0,32\text{ m}^3/\text{s}$ (37,65%) par rapport au module de mai, ce qui est important. Entre juin et juillet le module passe de $0,36\text{ m}^3/\text{s}$ à $0,85\text{ m}^3/\text{s}$ soit une augmentation de $0,49\text{ m}^3/\text{s}$, la plus forte augmentation qui fait

59,65% en valeur relative. La période de descente des eaux s'amorce dès le maximum de juillet. En août, le débit diminue faiblement passant de 0,85 m³/s (juillet) à 0,70 m³/s, soit une diminution de 0,15 m³/s (-17,75%). La plus forte diminution du débit intervient entre septembre et octobre avec le module qui passe de 0,69 m³/s à 0,16 m³/s soit une baisse de 0,53 m³/s (-62,35%), ce qui est très élevé. De juillet à septembre, le débit du sous-bassin du Niaoulé diminue, en trois mois, de 0,69 m³/s, soit 82,2 %. Si on y ajoute la baisse de 1,18 % entre août et septembre et de 17,65 % entre octobre et novembre, la rivière, en quatre mois, perd 99,2% du débit, un débit qui s'annule dès le mois de janvier avec une rivière qui est à sec le reste de l'année (tab. V). La décroissance des modules qui s'effectue en cinq mois (juillet-novembre) est plus lente que la montée.

Tableau V.- Débits moyens de 1970 à 1993 (24 ans) à la station hydrologique de Niaoulé Tanou

| Descripteurs | M | J | J | A | S | O | N | D | J | F | M | A | An |
|--|----------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Moyenne | 0,04 | 0,36 | 0,85 | 0,70 | 0,69 | 0,16 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,24 |
| CMD | 0,18 | 1,50 | 3,55 | 2,92 | 2,88 | 0,66 | 0,06 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Ecart-type | 0,12 | 0,43 | 0,80 | 0,93 | 1,04 | 0,39 | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,36 |
| Coef. de Variation | 0,36 | 0,83 | 1,07 | 0,75 | 0,67 | 0,41 | 0,36 | 0,37 | . | . | . | . | 0,66 |
| Evolution brute | 0,04 | 0,32 | 0,49 | 0,15 | 0,01 | 0,53 | 0,15 | 0 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | |
| Evolution (%) | 4,71 | 37,65 | 57,65 | 17,65 | 1,18 | 62,35 | 17,65 | 0,00 | 1,18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Coef. de croissance et de décroissance | 0 | 0,95 | 0,37 | -0,08 | -0,01 | -0,63 | -1,20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

L'écoulement dure huit mois à Niaoulé Tanou de mai à décembre, période qui couvre la saison pluvieuse qui s'étend de mai à octobre. Le débit maximum mensuel intervient au mois de juillet avant le maximum pluviométrique qui est noté en août, ce qui est précoce. Le régime du Niaoulé est de type pluvial tropical pur. Il traduit d'une manière assez nette le régime des pluies du bassin, seule source d'alimentation [32]. Le tableau V révèle la faiblesse et la modicité des débits du sous-bassin versant du Niaoulé à la station de Niaoulé Tanou durant la période 1970-1993, les débits mensuels faibles n'atteignant jamais 1m³/s. Le coefficient mensuel de débit (CMD), montre que quatre mois ont un $CMD \geq 1$ correspondant à la période de hautes eaux (juin, juillet, août et septembre) et le reste de l'année hydrologique (8 mois) correspond à la période des basses eaux.

L'accroissement brutal des modules entre juin et juillet est lié à l'installation effective de la saison pluvieuse, les pluies du mois de mai (17 mm à Tambacounda) étant faibles n'occasionnent pas un écoulement important. En revanche celles du mois de juin (108 mm) expliquent l'augmentation du débit de 0.49 m³/s soit 58% entre juin et juillet. Cette forte augmentation de la pluie situe le maximum hydrologique en juillet, il est précoce par rapport au maximum pluviométrique. Cela montre l'absence ou la faiblesse de la rétention des sols qui aurait pu entraîner un décalage entre le maximum de l'écoulement intervenant après le maximum de la pluie. Entre septembre et octobre, la chute brutale des modules est liée à la décroissance rapide des pluies qui passent de 202 mm en septembre à 65 mm en octobre, et cela au moment où le mois d'octobre enregistre le second maximum thermique avec 29°C (les températures élevées accélèrent le ressuyage des sols). Le mois de novembre marque la fin de l'écoulement liée à l'arrêt des pluies, ce qui explique, par ailleurs, les débits nuls enregistrés dès le mois de janvier et l'absence totale d'écoulement durant quatre mois. Ces débits nuls sont aussi révélateurs de l'absence de soutien par les réserves souterraines des débits d'étiage, quoique le bassin soit dans l'ensemble perméable. Mais, comme les autres paramètres de l'écoulement, le régime saisonnier est caractérisé

par une grande variabilité.

Conclusions

L'étude de l'analyse morphométrique à l'aide de la technique SIG peut résoudre efficacement divers problèmes liés aux bassins versants, comme les sécheresses, l'érosion des sols, l'évaluation des bassins versants, les inondations, l'analyse du potentiel des eaux souterraines, etc. De nombreux chercheurs ont constaté que l'approche basée sur les SIG dans l'analyse morphométrique des bassins hydrographiques est plus fiable que les méthodes conventionnelles. La technique SIG est un outil simple, convivial, durable qui permet de gagner du temps dans l'étudier des sous-bassins versants grâce à la bonne qualité des résultats et au degré élevé de précision issu du processus de traitement des données.

A la suite des résultats obtenus, on peut conclure que les variables morphométriques du bassin du sixième ordre de la zone sont influencées par la lithologie. Par ailleurs l'étude a également fait ressortir les caractéristiques variées du réseau de drainage du sous-bassin versant du Niaoulé avec des résultats utilisables dans un cadre des stratégies de gestion des bassins versants. Cependant les valeurs du rapport de bifurcation (3 à 5) indiquent que le bassin de drainage n'est pas affecté par des perturbations structurelles, alors que la faible valeur du ratio de bifurcation montre que la topographie jeune avec un degré moins élevé d'intégration du drainage. En outre, le sous-bassin versant a une forme moins allongée et un climat et une géologie homogènes. Les valeurs calculées de la densité de drainage et de la fréquence des cours d'eau soulignent que le bassin est de drainage grossier. Le rapport de relief du sous-bassin versant du Niaoulé est de 0,001, ce qui indique un faible relief et une pente douce. La valeur de l'indice de robustesse, de 0,072, est élevée et montre que le bassin est peu sujet à l'érosion du sol. Ces résultats corroborent un faible potentiel de drainage au niveau du sous-bassin versant du Niaoulé qui lui permettrait de remplir sa fonction de drainage efficacement. En effet, le cours d'eau ne participe que très peu au débit terminal de la Gambie. Durant la période 1971-1993, le fleuve n'a écoulé que 4.609.000 m³/an, d'où de faibles disponibilités en eau de surface. L'écoulement est caractérisé par sa brièveté, allant jusqu'à l'arrêt total pendant de nombreux jours durant l'année (plus de la moitié). Cette situation révèle une absence de pondération des débits du cours d'eau, alors que le facteur lithologique semble assez favorable à la constitution de réserves souterraines en raison de la perméabilité des terrains. Cette perméabilité devrait toutefois être relativisée par le fait que les sols du bassin, notamment les sols ferrugineux, se caractérisent par l'individualisation d'un niveau fortement induré à moyenne profondeur qui favorise le ruissellement hypodermique au détriment de l'alimentation des réserves souterraines. En réalité, le seul soutien des débits d'étiage dans le bassin est dû à la restitution des quantités d'eau accumulées dans les alluvions ou aquifères superficiels du cours d'eau, alluvions constituées de graviers et sables caractérisés par une forte perméabilité. Et ce soutien est faible, d'où la faiblesse de l'écoulement, le cours d'eau s'assèche dès l'absence des pluies et ceci pendant un nombre important de jours dans l'année.

Toutefois, l'amélioration de la capacité de stockage des masses d'eau, la réhabilitation et la restauration des canaux selon des normes standard amélioreront la capacité de rétention d'eau des sous-bassins, ce qui sera d'une immense utilité pour répondre aux demandes en eau des zones environnantes pour l'agriculture et à des fins domestiques.

Références

- [1].- Benzougagh B., Dr. Boudad L., Dridri A., Sdkaoui D., 2016.- Utilisation Du Sig Dans L'analyse Morphométrique Et La Prioritisation Des Sous-Bassins Versants De Oued Inaouene (Nord-Est Du Maroc). *European Scientific Journal*, 12 (6): 266-289.
- [2].- Nag S. K., 1998.- Morphometric Analysis Using Remote Sensing Techniques in the Chaka Sub-basin, Purulia district, West Bengal. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 26 (1 and 2): 69-76.
- [3].- Reddy G. P. O., Maji A. K. and Gajbhiye, K. S., 2004.- Drainage Morphometry and its Influence on Landform Characteristics in a Basaltic Terrain, Central India – A Remote Sensing and GIS Approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Pp 1-16.
- [4].- Das A. K. and Mukherjee S., 2005.- Drainage Morphometry using Satellite Data and GIS in Raigad District, Maharashtra. *Journal of the Geological Society of India*, 65: 577- 586.
- [5].- Manojkumar P. D., Nitin N. M., Akshada H. K., Ganesh M. D., 2019.- Morphometric Analysis of Kolavadi Sub-Watershed in Bhore Taluk Using GIS Techniques. *J. Geographical Studies*, 3(1): 1-10, 87-96.
- [6].- Clarke J. J., 1966.- *Morphometry from Maps, Essays in Geomorphology*. Elsevier Publishing Company, New York, Pp 235-274.
- [7].- Agarwal C. S., 1998.- Study of Drainage Pattern through Aerial Data in Nahargarh Area of Varanasi District, U.P. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 26 (4): 169-175.
- [8].- Jawaharraj N., Kumaraswami K. and Ponnaiyan K., 1998.- Morphometric Analysis of the Upper Noyil basin (Tamil Nadu). *Journal of the Deccan Geographical Society*, 36: 15-29.
- [9].- Sree devi P. D., Srinivasalu S. and Kesavaraju K., 2001.- Hydrogeomorphological and Groundwater Prospects of the Pageru River Basin by using Remote Sensing Data. *Environmental Geology*, 40(8): 1088-1094.

- [10].- Horton R. E., 1945.- Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydro-physical Approach to Quantitative Morphology. Bulletin of the Geological Society of America, 56: 275-370.
- [11].- Strahler A. N., 1957.- Quantitative Analysis of Watershed Geometry. Transactions of American Geophysical Union, 38: 913-920,
- [12].- Gaikwad R. and Bhagat V., 2018.- Multi-criteria Prioritization for Sub-watersheds in Medium River Basin using AHP and Influence Approaches. Hydrospatial Analysis, 2(1): 61-82.
- [13].- Zolekar R. B. and Bhagat V. S., 2015.- Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote Sensing and GIS approach. Computers and Electronics in Agriculture, 118: 300-321.
- [14].- Aouragh M. H. and Ali E., 2014.- Morphometric analysis of a Guigou Sub-Watershed, Sebou Basin, Middle Atlas , Morocco Using GIS Based ASTER (DEM). International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 3(4): 11503-11512.
- [15].- Gharde K. D. and Kothari M., 2016.- Hydromorphometric analysis and prioritization of Savitri Basin of Maharashtra, India using GIS. International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development (IJCSEIERD), 6(2): 1-10.
- [16].- Gabale S. M. and Pawar N. R., 2015.- Quantitative morphometric analysis of Ambil Odha (Rivulet) in Pune, Maharashtra, India. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 9(7): 41-48.
- [17].- Gebre T., Kibru T., Tesfaye S. and Taye G., 2015.- Analysis of watershed attributes for water resources management using GIS: The case of Chelekot micro-watershed, Tigray, Ethiopia. Journal of Geographic Information System, 7(2): 177-190.
- [18].- Romshoo S. A., Bhat S. A. and Rashid I., 2012.- Geoinformatics for assessing the morphometric control on hydrological response at watershed scale in the Upper Indus Basin. Journal of Earth System Science, 121(3): 311-335.

- [19].- Gumma M. K., Birhanu B. Z., Mohammed I. A., Tabo R. and Whitbread A. M., 2016.- Prioritization of watersheds across Mali using Remote Sensing data and GIS techniques for agricultural development planning, *Water*, Pp 1-17.
- [20].- Gashaw T., Tulu T. and Argaw M., 2017.- Erosion risk assessment for prioritization of conservation measures in Geleda watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 6(1): 1-16.
- [21].- Rai P. K., Mohan K., Mishra S., Ahmad A. and Mishra V. N., 2014.- A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. *Appl. Water Sci.*, 7(1): 217-232.
- [22].- Gajbhiye S, Sharma S. K. and Meshram C., 2014.- Prioritization of watershed through sediment yield index using RS and GIS approach. *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*, 7(6): 47-60.
- [23].- Khan M. A., Gupta V. P. and Moharana P.C., 200.- Watershed Prioritization Using Remote Sensing and Geographical Information System: A Case Study from Guhiya, India. *Journal of Arid Environments*, 49: 465-475.
- [24].- Vittal S. S., Govindaonah S. and Gowda H. H., 2004.- Morphometric Analysis of Subwatersheds in the Pawagada Area of Tumkur District South India Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, 32(4): 351-362.
- [25].- Chopra R., Dhiman R. and Sharma P. K., 2005.- Morphometric Analysis of Subwatersheds in Gurdaspur District, Punjab Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of Indian society of remote sensing*, 33(4): 531-539.
- [26].- Ratnam N. K., Srivastava Y. K., Venkateswarao V., Amminedu E. and Murthy K. S. R., 2005.- Check Dam Positioning by Prioritization of Micro-watersheds using SYI Model and Morphometric Analysis – Remote Sensing and GIS Perspective. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 33(1): 25-28.
- [27].- Lamagat J.P., 1989.- Monographie hydrologique du fleuve Gambie. Collection M & m. ORSTOM-OMVG, 250 p.

- [28].- Dione O., 1996.- Evolution climatique récente et dynamique fluviale dans les hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Thèse de doctorat, Université Lyon 3 Jean Moulin, 477 p.
- [29].- Sow A. A., 2007.- L'hydrologie du Sud-est du Sénégal et de ses Confins guinéo-maliens: les bassins de la Gambie et de la Falémé. Thèse d'Etat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 1232 p.
- [30].- Sow N. D., 2008.- Ecoulement dans le bassin versant du Niaoule. Mémoire de Maitrise, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 86 p.
- [31].- Michel P., 1973.- Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie: Etude géomorphologique Tome 1, Tome 2, Tome 3, 752p, 91 photos, 9 planches, 6 cartes. ORSTOM, Dakar, 1170 p.
- [32].- Sow A.A., 2014.- Le Niaoule et son bassin : étude hydrologique. Publication.lecames.org, Pp 201-226.
- [33].- Miller, V. C., 1953.- A quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristic in the Clinch, Mountain Area, Verdinia and Tennessee. Tech Report 3 Office of Novel Research, Department of Geology, Columbia University, New York, Pp 1-30.
- [34].- Schumm, S. A., 1956.- Evolution of Drainage System and Slope in Badlands of Perth Amboy, New Jersey. Bulletin of Geological Society of America, 67: 597-646.
- [35].- Langbein, W. B., 1947.- Topographic characteristics of drainage basins. Water Supply Paper, 968- C, Pp 125-157.
- [36].- Smart, J.S. and Surkan, A.J., 1967.- The relation between mainstream length and area in drainage basins. Water Resources Research, 3(4): 963-974.
- [37].- Mueller, J. E., 1968.- An Introduction to the Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes. Annals of the Association of American Geographers, 58(2): 372-385.

- [38].- Gravelius, 1914.- Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. Band I: Flufikunde (Compendium of Hydrology, vol. I. Rivers, in German). Goschen, Berlin, 10 p.
- [39].- Chorley, R. J., 1957.- Illustrating the Laws of Morphometry. Geological Magazine. 94, 140-150.
- [40].- Umair A., Syed A A., 2014.- Analysis of Drainage Morphometry and Watershed Prioritization of Romushi - Sasar Catchment, Kashmir Valley, India using Remote Sensing and GIS Technology. International Journal of Advanced Research (2014), 2 (12): 5-23.
- [41].- Todhunter I., 1888.- A Treatise on Plane Co-ordinate Geometry as Applied to the Straight Line and the Conic Sections. London, Macmillan and Co. and New York, 114 p.
- [42].- Singh, S. and Singh, M. C., 1997.- Morphometric Analysis of Kanhar River Basin. National Geographical Journal of India, 43(1): 31-43.
- [43].- Kale V. S. and Gupta, A., 2001.- Introduction to Geomorphology. India: Orient Longman Ltd., Pp 82-101.
- [44].- Smith, G. H., 1939. The morphometry of Ohio: The average slope of the land (abstract). Annals of the Association of American Geographers, 29, 94.
- [45].- Umrikar, B. N., 2016.- Morphometric analysis of Andhale watershed, Taluka Mulshi, District Pune, India. Applied Water Science, 7, 2231-2243.
- [46].- Kartic B., Jatisankar B., 2013.- Prioritization of Watershed using Morphometric Analysis through Geoinformatics technology: A case study of Dungra subwatershed, West Bengal, India. Int. Journal of Advances in Remote Sensing and GIS, 2 (1): 2013.
- [47].- Magesh N. S., Chandrasekar N., 2012.- GIS model-based morphometric evaluation of Tamiraparani subbasin, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India. Arab J Geosci DOI 10.1007/s12517-012-0742-z., Pp 131-144.

- [48].- Melton, M, A, 1957.- An analysis of the Relations among Elements of Climate, Surface Properties and Geomorphology. Columbia University, 389042 (11), 11 p.
- [49].- Konaté L., 1998.- Les Bas-fonds dans le réseau hydrographique du fleuve Gambie: (Cartographie, Régime hydrologique, Valorisation Agricole et Typologie). Thèse doctorat 3ième cycle, Département de géographie, UCAD, 183 p.
- [50].- Jensen, J. R., 2004.- Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. University of South California, 618 p

PLACE DE LA VARIETE LOCALE DE BLE DUR (*Triticum durum* L. VAR MOHAMED BEN BACHIR) PARMIS LES VARIETES PHARES ET LA NOUVELLE OBTENTION 'BOUTALEB' DANS LA REGION SEMI-ARIDE DE SETIF EN ALGERIE

HADDAD Leïla^{1,2*}, SALMI Manel^{3,2}, BENMAHAMMED Amar^{4,2},
BOUZERZOUR Hammema^{4,2}

⁽¹⁾Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Université Chadli Bendjedid, El Tarf 36000, Algérie

⁽²⁾Laboratoire de valorisation des ressources biologiques et naturelles
Université Ferhat Abbas Sétif-1, Sétif, 19000, Algérie

⁽³⁾Département d'Ecologie et Environnement, Université Batna-2, 05000, Algérie

⁽⁴⁾Département de Biologie et d'Ecologie Végétale, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie,
Université Ferhat Abbas Sétif-1, Sétif 19000, Algérie

E-mail: tarffac@yahoo.fr

(Received 28 March 2021 - Accepted 22 May 2021)

Résumé.- La variété locale algérienne de blé dur Mohamed Ben Bachir (MBB) est une variété très ancienne mais elle reste encore très utilisée surtout dans la région semi-aride de Sétif. La reconsidérer par son étude constitue un moyen stratégique pour mieux la connaître et en tirer profit de ses avantages et inconvénients. Pour ce faire, les données de trois campagnes agricoles, obtenues au niveau du site expérimental de l'ITGC de Sétif, ont servi pour réaliser cette étude comparative des caractères agro-phéno-morphologiques entre MBB d'une part et Waha, Vitron, Gta dur, Bousselam et Setifis variétés phares ainsi que la nouvelle obtention, la variété Boutaleb, d'autre part, dans la région semi-aride de Sétif. Les résultats ont abouti au fait que MBB se démarque par une hauteur moyenne importante par rapport aux autres variétés avec un peu plus de 95 cm et 132 cm au cours de la campagne agricole favorable 2012/2013. Par contre elle enregistre les plus faibles valeurs pour le poids des épis (PE), le nombre d'épis/m² (NGM²), le poids de mille grains et le rendement en grain. Malgré sa faible performance productive pour les trois campagnes, vu sa corrélation négative avec le PE et le NGM², caractères liés directement au rendement, elle est plus stable que les autres variétés. Mais il se trouve que la variété Waha est autant sinon plus stable que MBB en plus d'une performance relativement élevée. Avec une hauteur moyenne la variété Boutaleb, et contrairement à MBB, arrive à s'associer avec le PE caractère lié au rendement en grain. La variété Setifis est également avantageuse dans ce milieu puisque productive et offre moins de risque de réduction de la production par rapport à MBB dans les milieux défavorables contrairement aux variétés Vitron, Gta dur et Bousselam qu'il faut prendre avec précaution. MBB s'avère un bon repère pour les obtentions nouvelles et relativement anciennes puisqu'une variété originaire du pays et donc plus adaptée à ses conditions, notamment climatique, et qu'il serait intéressant d'exploiter dans la sélection vu ses potentialités pour la tolérance et la stabilité.

Mots clés: *Triticum durum*, Mohamed Ben Bachir, variété locale, tolérance, stabilité.

PLACE OF THE LOCAL VARIETY OF DURUM WHEAT (*Triticum durum* L. VAR MOHAMED BEN BACHIR) AMONG THE KEY VARIETIES AND THE NEW OBTAINING 'BOUTALEB' IN THE SEMI-ARID REGION OF SETIF IN ALGERIA

Abstract.- The Algerian local variety of durum wheat Mohamed Ben Bachir (MBB) is a very old variety but it is still widely used, especially in the semi-arid region of Sétif. Reconsidering it by studying constitutes a strategic way to know it better and take profit of its advantages and disadvantages. To do this, data from three agricultural seasons, obtained at the ITGC experimental site in Sétif, were used to carry out this comparative study of agro-pheno-morphological characters between MBB on the one hand and Waha, Vitron, Gta dur, Bousselam and Setifis key varieties as well as

the new variety Boutaleb on the other hand, in the semi-arid region of Sétif. The results have led to the fact that MBB stands out with a significant average height compared to the other varieties with a little over 95 cm and 132 cm during the favourable agricultural season 2012/2013. On the other hand, it records the lowest values for the weight of spikes (WS), the number of spikes/m² (NGM²), the weight of a thousand grains and the grain yield. Despite its poor productive performance for the three seasons, given its negative correlation with WS and NGM², traits directly linked to yield; it is more stable than the other varieties. But it turns out that the Waha strain is the same if not more stable than MBB in addition to relatively high performance. With an average height, the Boutaleb variety, and unlike MBB, manages to associate with the WS character linked to the grain yield. The Setifis variety is also advantageous in this environment since it is productive and offers less risk of reduced production compared to MBB in unfavourable environments unlike the Vitron, Gta dur and Bousselam varieties which must be taken with caution. MBB turns out to be a good benchmark for new and relatively old varieties since a variety originating of the country and therefore more adapted to its conditions, particularly climatic, and which would be interesting to exploit in the selection given its potential for tolerance and stability.

Key words: *Triticum durum*, Mohamed Ben Bachir, local variety, tolerance, stability.

Introduction

Parmi les céréales les plus cultivées et les plus productives en Algérie, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) vient en tête. Il occupe chaque année environ la moitié des terrains réservés à la céréaliculture et une production qui dépasse les 50%. Ceci reflète l'intérêt que relève cette spéculation surtout dans les habitudes alimentaires traditionnelles de sa population (couscous, pain à la semoule et même plusieurs autres préparations culinaires) ainsi que dans le secteur économique national [1,2]. Le blé dur jusqu'à lors est la céréale la plus prépondérante et d'excellence en Algérie [3].

Malgré de notables progrès dans la production du blé dur dans le pays, pendant certaines années, il se trouve que le plus souvent cette spéculation n'arrive pas à couvrir les besoins d'une population parmi les plus consommatrice dans le Maghreb et dans le monde. L'Algérie est connue pour être le premier importateur mondial de blé dur. Ceci a été attesté à sa faible et irrégulière production qui sont surtout liées à des conditions climatiques, le plus souvent, difficiles pour la culture au cours de son cycle. Ces conditions induisent les deux stress les plus fréquents à savoir le stress hydrique et thermique. Les zones céréalieres, en l'occurrence du blé dur, se localisent en grande partie là où ces stress abiotiques sont les plus marqués, à savoir les zones semi-arides parmi lesquelles les hautes plaines [4,10].

L'Algérie a déployé multiples moyens pour essayer de remédier à cette situation, l'emploi des ressources génétiques les plus performantes en fait partie. Le matériel génétique utilisé à cet effet est représenté par des variétés améliorées en Algérie et à l'étranger (variétés introduites). Ces variétés n'ont résolu que partiellement le problème. Certes dans les environnements favorables elles sont performantes, mais ce qui n'est pas le cas dans les environnements défavorables en raison de leur non tolérance aux stress prévalant régulièrement dans ces environnements, donc la production risque à chaque fois de régresser et même considérablement. Malgré cela et afin d'essayer de redresser à chaque fois la production faire recours aux variétés améliorées est toujours de rigueur. Face à cette situation, les variétés locales ont pris du recul au profit de ces variétés [11,14,9].

HAZMOUNE (2000), relate même un phénomène d'érosion. Le délaissement des variétés locales induit avec le temps la perte des ressources génétiques des plus anciennes qui sont reconnues d'avoir une production stable à travers les différents environnements, vu leur adaptation et résistance face aux contraintes des environnements aléatoires et difficiles notamment semi-arides [12]. Ces variétés sont mêmes dites rustiques, paysannes, traditionnelles et de terroir par certains auteurs [11,13,9].

Le maintien des variétés de blé dur locales est indispensable en tant que variétés typiques des zones céréalières algériennes. D'une part pour préserver un patrimoine génétique national et donc original et d'autre part pour faire-valoir leurs traits de stabilité vis-à-vis de la production, résultat de leur tolérance aux stress, et ceci en les utilisant comme géniteurs potentiels dans la sélection variétale [15,16].

Très peu de variétés locales se maintiennent toujours sur le circuit de multiplication des semences et de commercialisation depuis leur sélection avant les années soixante. Bidi 17, Hedba03, Oued Zenati et Mohamed Ben Bachir en sont les plus abondantes et connues parmi les variétés locales de l'Algérie [11,12,17]. Parmi ces variétés Mohamed Ben Bachir est la plus adoptée auprès des agriculteurs; sur dix campagnes son taux de semences vendues a atteint 13.66% contre 0,52%, 0,46% et 0% pour respectivement Bidi 17, Hedba03 et Oued Zenati [17]. Il serait alors très intéressant de se tourner vers cette variété locale traditionnelle qui se maintient de nos jours et qui a été d'après DUCCELLIER (1930) [18] épurée en 1907 et multipliée à partir de 1931 d'après LAUMONT et ERROUX (1961) [19].

La présente étude a pour objectif de mettre en comparaison la variété Mohamed Ben Bachir avec les variétés phares (les plus cultivées) de la région semi-arides de Sétif ainsi que la nouvelle obtention Boutaleb, inscrite récemment dans le catalogue officielle des variétés de céréales autogames. Cette comparaison est propre à quelques caractères d'ordre agro-phéno-morphologiques. Ce qui permettra de la positionner et de distinguer ses atouts et ses infériorités parmi ces variétés sous les conditions semi-aride de Sétif. Cette étude pourra également encourager l'initiation à des études portant sur d'autres variétés locales pour les valoriser à bon escient et qui jusqu'à nos jours ne sont pas aussi nombreuses et aussi influentes.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Site, matériel végétal et dispositif expérimental

Le site de l'étude se localise au niveau de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grande Culture (ITGC) de Sétif en Algérie. Cet Institut appartient à une zone de l'étage bioclimatique semi-aride caractérisé par un hiver froid, un été chaud alors que le printemps et l'automne sont brefs et peu distinctifs. Sept variétés de blé dur d'hiver (tab. I) ont été choisies parmi des variétés semées au cours de trois campagnes agricoles 2012/2013, 2014/2015 et 2017/2018 sur des parcelles élémentaires dans un dispositif en bloc complètement randomisé avec trois répétitions. Les pratiques agricoles appliquées au cours de ces campagnes sont d'ordre standard que les agriculteurs de la région et même partout ailleurs en Algérie en l'habitude de pratiquer. Travail du sol, fertilisation et désherbage en sont les principaux.

La variété locale Mohamed Ben Bachir est mise en comparaison avec six variétés améliorées de blé dur dont cinq sont les plus cultivées sur les hauts plateaux notamment dans la région semi-aride de Sétif [20]. Ces variétés sont Waha, Vitron, Gavita durum dite Gta dur, Bousselam et Setifis, ainsi qu'une nouvelle obtention, c'est la variété Boutaleb, sélectionnée à l'ITGC de Sétif et récemment homologuée et inscrite dans le catalogue officiel national comme variété autorisée à la production et à la commercialisation (tab. I).

Tableau I.- Les sept variétés de blés durs testés au cours des trois campagnes agricoles sur le site expérimentale de l'ITGC de Sétif en Algérie

| Nom | Pedigree | Origine | Code |
|-----------------------|--|---------------|------|
| Med Ben Bachir | lignée pure d'une population locale de Sétif | INRAA | MBB |
| Waha | Plc/Ruff//Gta's/3/Rolette CM 17904 | Cimmyt-Icarda | WAH |
| Vitron | Turkey77/3/Jori/Anhinga/Flamingo | Cimmyt-Icarda | VIT |
| Gaviota durum | Crane/4/PolonicumPI ₁₈₅₃₀₉ //T. glutin en/2* Tc60/3/Gil | Cimmyt-Icarda | GTA |
| Bousselam | Heider/Martes//Huevos de Oro. | Cimmyt-Icarda | BOU |
| Setifis | Bousselam/Ofanto | ITGC-Setif | SET |
| Boutaleb | Hedba3/Ofanto | ITGC-Setif | BTL |

INRAA = Institut Nationale de la Recherche Agronomique d'Algérie, ITGC = Institut Technique des Grandes Cultures.

1.2.- Mesures et notation

Les mesures et notations réalisées sur les variétés étudiées au cours des trois campagnes ont porté sur un nombre de caractères d'ordre agro-phéno-morphologiques. Concernant le caractère phénologique c'est la durée de la phase végétative (DPV, jours) reflétant toute la période végétative jusqu'à la réalisation de l'épiaison. Elle été compté en jours calendaires à partir du 1^{er} janvier jusqu'au jour où 50% des épis étaient à mi-chemin de sortir de la gaine de la feuille étendard (indiquant le stade d'épiaison). La durée de la phase végétative est déterminée pour avoir le degré de précocité ou tardivité de chaque variété. Pour le caractère morphologique, il est représenté par la hauteur de la plante (HT, cm). Au stade épiaison la hauteur est prise en cm à ras de sol jusqu'au sommet de l'épi barbes non comprises. Les caractères agronomiques regroupent; la biomasse aérienne (BIOM, g/m²), le poids des épis par mètre carré (PE, g/m²), le nombre des épis par mètre carré (NE, Nbre /m²), le nombre de grains par épi (NGE, Nbre /épi), le nombre de grains par mètre carré (NGM², Nbre /m²), le poids de mille grains (PMG, g) et le rendement en grain (RDT, g/m²). Ces caractères agronomiques ont été mesurés à partir d'une gerbe récoltée de chaque parcelle élémentaire des trois répétitions sur un rang de 1m de long au stade maturité.

1.3.- Analyse des données

Les données recueillies ont été soumises à une analyse de la variance (Anova) d'après un plan en bloc complètement aléatoire avec trois répétitions [21], en utilisant le logiciel Cropstat version 7.2 (2007). Les moyennes a analysé ont été tirées de ce même logiciel. L'analyse de la corrélation phénotypique a été réalisée par le Microsoft Excel (2007) et dont la signification a été vérifiée par rapport aux valeurs du tableau r aux niveaux de probabilités 5% et 1% [21].

2.- Résultats et discussion

2.1.- Variabilité phénotypique et comportement variétale

L'analyse de la variance 'ANOVA' de l'ensemble des variables étudiées indique un effet moyen génotypes, années et leur interaction génotypes x années significatif pour l'ensemble des variables ou caractères mesurés mis à part la durée de la phase végétative (DPV) qui apparaît non significative entre les sept variétés de l'étude pour son effet (tab. II). Des différences génotypiques et environnementales existent donc entre les sept variétés pour l'ensemble et entre les campagnes agricoles ou années expérimentales et il en est de même pour l'interaction des génotypes avec les trois années expérimentales. Cette diversité phénotypique entre les sept variétés permet d'entreprendre des analyses de moyennes pouvant conduire à expliquer certains faits afin de situer la variété locale Mohamed Ben Bachir (MBB) parmi les variétés phares et la nouvelle obtention 'Boutaleb' de blé dur, cultivées à Sétif, région semi-aride en Algérie.

Tableau II.- L'analyse de la variance des variables mesurés (Carrés moyens des écarts)

| Source de variation | Carré moyen des écarts | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| | dll | HT | DPV | BIOM | PE | NE | NGE | NGM ² | PMG | RDT |
| Génotype | 06 | 1035.03 ^{**} | 91.24 ^{ns} | 45171.0 ^{**} | 30548.0 ^{**} | 3798.41 ^{**} | 135.88 ^{**} | 9590010 ^{**} | 108.65 ^{**} | 16395.4 ^{**} |
| Année | 02 | 6600.19 ^{**} | 34.86 ^{ns} | 1585620 ^{**} | 888612 ^{**} | 119329 ^{**} | 748.06 ^{**} | 234809000 ^{**} | 523.12 ^{**} | 535814 ^{**} |
| Génotype x Année | 12 | 234.23 ^{**} | 11.02 ^{ns} | 94983.1 ^{**} | 48974.1 ^{**} | 4584.70 ^{**} | 83.25 ^{**} | 15019700 ^{**} | 23.83 ^{**} | 28480.8 ^{**} |
| Résiduelle | 42 | 10.04 | / | 4283.61 | 1122.51 | 457.56 | 5.02 | 345495 | 2.19 | 657.96 |

ns, **: effet non significatif et significatif au seuil de 1%, respectivement; dll: degré de liberté, HT: La hauteur de la plante, cm; DPV: La durée de la phase végétative, jours; BIOM: La biomasse aérienne mesurée à maturité, g/m²; PE: Le poids des épis, g/m²; NE: Le nombre des épis, Nbre/m²; NGE: Le nombre de grains par épi, Nbre/épi; NGM²: Le nombre de grains par mètre carré, Nbre/m²; PMG: Le poids de mille grains, g; RDT: Le rendement en grain, g/m².

Les valeurs moyennes des variables mesurées pour l'ensemble des trois campagnes agricoles des sept variétés étudiées sont données dans le tableau III. La variété MBB se démarque par sa hauteur qui enregistre une valeur moyenne de 95.63 cm. Cette hauteur peut procurer à la variété une certaine résistance face au stress hydrique pouvant survenir au cours du cycle de la plante surtout en post-épiaison, phase importante où débute le remplissage des grains de l'épi, ce qui peut entraver ce processus biologique [22,23]. La hauteur des autres variétés varie entre 66.33 cm et 70.94 cm respectivement pour Bousselam et Waha (tab. III). La variété MBB enregistre les plus faibles valeurs moyennes pour, le poids des épis, le nombre des épis, le poids de mille grains et le rendement en grain avec dans cet ordre des valeurs de 382.07 g/m², 269.39 épis/m², 40.69 g et 282.19 g/m² (tab. III). Les variétés Boutaleb, Waha, Boutaleb et Setifis enregistrent pour elles les valeurs moyennes les plus élevées avec 553.37 g/m², 318.56 épis/m², 49.35 g et 405.33 g/m² respectivement (tab. III).

Pour les variables de la biomasse aérienne, le nombre de grain par épi et le nombre de grains par mètre carré, c'est respectivement les variétés Gta dur, avec 942.88 g/m², Setifis avec 34.54 grains/épi et également Setifis avec 9749.02 grains/m² qui enregistrent les performances les plus élevées. Alors que c'est la variété Vitron qui enregistre la plus

faible performance pour ces trois variables avec respectivement 745.42 g/m², 22.62 grains/épi et 6919.57 grains/m² (tab. III).

Mis à part la caractérisation variétale; ce qui importe dans l'étude des traits phénotypiques et leurs valeurs moyennes, c'est de montrer ceux qui sont les plus déterminants pour le rendement en grain, caractère complexe relevant d'une importance primordiale dans la satisfaction nutritionnelle des peuplades. Mais aussi d'identifier les variétés qui cumulent le maximum de ces traits pour une éventuelle utilisation dans les sélections variétales. Points nettement soulevés par MEKHOLOUF et BOUZERZOUR (2000) [14].

Dans cette étude le rendement en grain est le plus corrélé et donc le plus dépendant du poids des épis (PE) $r_{5\%} = 0.972$ et du nombre de grain par mètre carré (NGM²) $r_{5\%} = 0.752$. Ces caractères peuvent être éventuellement pris comme des critères potentiels dans la sélection variétale du blé dur sous les conditions semi-arides. Il s'avère que la variété Setifis suivi de la variété Boutaleb sont les plus productives parmi les variétés étudiées. C'est la variété Setifis qui cumule le plus de caractères liés au rendement en grains, pour cette étude, en l'occurrence le poids des épis et le nombre de grain par mètre carré ainsi que le nombre de grain par épi dont dépend ce dernier (NGE) $r_{5\%} = 0.882$. Ceci a été attesté par ACRECHE *et al.* (2008) [24] qui ont trouvé que le nombre de grains/m² (NGM²) est beaucoup plus dépendant du nombre de grains par épi que le nombre d'épis par mètre carré. Pour la variété Boutaleb, elle dépend surtout dans la réalisation de son rendement du poids des épis qui lui est fortement lié. Et il apparaît également qu'il y a eu une contribution du nombre d'épis/m² et le poids de mille grains (PMG) dans la réalisation de son rendement d'autant plus que c'est la variété qui a enregistré les valeurs les plus élevées pour ces variables. Ceci indique que la réalisation du rendement grain peut suivre des chemins plus au moins différents en fonction des variétés et de l'environnement et aussi elle relève d'un aspect compensatoire entre ses composantes pour sa réalisation surtout en présence des contraintes, notamment d'ordre abiotiques, au cours du cycle de la culture [25,26]. La variété locale MBB enregistre le plus faible rendement en grain faisant preuve d'une liaison faible avec les traits liés au rendement en grain dans cette étude, à savoir le poids des épis et le nombre de grains/m². Le faible lien entre les traits de production avec les variétés locales de blé dur, les faits considérés comme des variétés non productives. TAÏBI *et al.* (2003) [27], les classent comme étant des variétés à adaptation spécifique aux milieux défavorables et dont le rendement reste limité même en bonnes conditions.

La biomasse aérienne n'est pas liée directement au rendement en grain ($r_{5\%} = 0.257$) mais c'est un caractère qui peut intervenir dans sa réalisation à condition que sa répartition valorise au mieux le poids des épis à maturité [28]. D'autant plus que ce dernier est très lié au rendement en grain sous les conditions de cette étude. Les variétés qui cumulent le plus de biomasse dans leurs épis produisent mieux que celles qui ne n'arrivent pas à le faire. Les variétés Boutaleb, Setifis, Bousselam et relativement Waha sont capables d'améliorer le poids de leurs épis et par conséquent leur rendement en grain (tab. III). Quoique la variété Bousselam enregistre une biomasse parmi les plus faibles, elle a pu en tirer un maximum de profit pour la réalisation du poids de ses épis avec près de 70% de la biomasse aérienne, enregistrant ainsi le troisième plus grand rendement parmi les variétés étudiées soit 366.34 g/m² (tab. III). La variété MBB n'arrive pas à valoriser sa biomasse aérienne malgré qu'elle maintient un bon classement parmi les variétés étudiées pour ce caractère et égalant presque la variété Boutaleb pour celui-ci. MBB arrive à utiliser seulement un peu plus de 45% (tab. III) de sa biomasse aérienne dans la réalisation du

poids de ses épis, ce qui constitue une entrave pour réaliser un bon rendement en grain. Parmi les variétés étudiées, Gta dur se comporte de la même manière que MBB pour cet aspect.

Tableau III.- Valeurs moyennes des variables mesurées au cours des trois campagnes de l'étude pour les 07 variétés de blé dur

| Génotypes | HT | DPV | BIOM | PE | NE | NGE | NGM ² | PMG | RDT |
|------------------|-------|--------|---------|--------|--------|-------|------------------|-------|--------|
| MBB | 95.63 | 128.67 | 833.98 | 382.07 | 269.39 | 26.21 | 6962.23 | 40.69 | 282.19 |
| WAH | 70.94 | 120.33 | 804.06 | 501.93 | 318.56 | 28.06 | 8932.78 | 41.01 | 357.68 |
| GTA | 66.82 | 120.67 | 942.88 | 497.94 | 298.33 | 25.83 | 7707.20 | 45.34 | 355.55 |
| VIT | 67.53 | 118.67 | 745.42 | 462.34 | 298.41 | 22.62 | 6919.57 | 44.17 | 319.06 |
| SET | 70.13 | 122.00 | 880.11 | 541.98 | 267.11 | 34.54 | 9749.02 | 41.63 | 405.33 |
| BOU | 66.33 | 123.00 | 746.38 | 524.56 | 306.67 | 23.95 | 7632.51 | 48.16 | 366.34 |
| BTA | 80.76 | 122.33 | 838.72 | 553.37 | 314.87 | 25.27 | 7956.45 | 49.35 | 395.85 |
| MOY | 74.02 | 122.24 | 827.37 | 494.88 | 296.19 | 26.64 | 7979.97 | 44.34 | 354.57 |
| Ppds 5% | 3.03 | 0.00 | 62.39 | 32.86 | 23.65 | 2.27 | 635.57 | 1.59 | 26.46 |
| 2012/2013 | 90.72 | 121.00 | 1144.64 | 732.14 | 368.29 | 32.30 | 11838.50 | 45.28 | 536.46 |
| 2014/2015 | 55.42 | 123.57 | 666.04 | 366.47 | 302.38 | 20.41 | 6174.47 | 38.94 | 237.13 |
| 2017/2018 | 75.93 | 122.14 | 671.41 | 386.04 | 217.91 | 27.21 | 5926.95 | 48.79 | 290.12 |
| Ppds 5% | 1.99 | 0.00 | 40.84 | 21.52 | 15.48 | 1.49 | 416.08 | 1.04 | 17.32 |

Ppds 5%: La plus petite différence significative au seuil de 5%; HT: La hauteur de la plante, cm; DPV: La durée de la phase végétative, jours; BIOM: La biomasse aérienne mesurée à maturité, g/m²; PE: Le poids des épis, g/m²; NE: Le nombre des épis, Nbre/m²; NGE: Le nombre de grains par épi, Nbre/épi; NGM²: Le nombre de grains par mètre carré, Nbre/m²; PMG: Le poids de mille grains, g; RDT: Le rendement en grain, g/m²; MBB: Mohamed Ben Bachir; WAH: Waha; GTA: Gaviota durum; VIT: Vitron; SET: Setifis; BOU: Bousselam; BTA: Boutaleb.

L'effet génotype ne renseigne pas dans tous les cas de la véritable performance d'une variété donnée, surtout dans les environnements contrastés, intermittents et contraignants, comme c'est le cas de la région semi-aride. Celle-ci se caractérise par une variabilité climatique intra et interannuelle très prononcée [29]. Pour cerner la véritable performance d'une variété donnée, un autre critère doit alors être pris en considération, c'est la stabilité face aux variations environnementales, qui elle-même engendrée par la tolérance aux stress. Avoir recours à l'étude de l'interaction génotype x environnement est un préalable qui donne plus de précision sur les caractéristiques de la variété en question [30]. L'environnement est pris dans son sens le plus large dans ce cas d'étude l'environnement est représenté par les trois années expérimentales.

Les valeurs moyennes des variables étudiées fluctuent d'une campagne à l'autre (tab. III), les variétés qui diminuent ce changement interannuel sont considérées comme stables pour le caractère en question et par conséquent considérées comme tolérantes. Le rendement en grain est un caractère recherché et il est difficilement régulier dans le temps et dans l'espace vu sa construction complexe, il se trouve lié à d'autres caractères qui le sont autant. Toutes les variétés de cette étude présentent des valeurs moyennes divergentes pour le rendement en grain d'une année à une autre, mais à des degrés différents (fig. 1).

Les variétés *Gta dur*, vitron, Setifis, Bousselam et Boutaleb présentent des valeurs moyennes de rendement en grain instables alors que les variétés MBB et Waha se montrent relativement plus stables à travers les trois campagnes agricoles (fig. 1). Le risque peut être important pour les variétés productives dites nouvelles obtentions ou nouvelles sélections, comme c'est le cas des variétés Setifis et Bousselam, très cultivées et adoptées dans la région de l'étude. Dans l'année favorable (2012/2013) leur rendement a atteint respectivement 702.40 g/m² et 640.72 g/m², alors que dans les environnements défavorables (2014/2015) et (2017/2018), leur rendement en grain a diminué considérablement avec des valeurs moyennes de l'ordre de 229.68 g/m² et 195.59 g/m² respectivement pour ces campagnes (fig. 1). Par contre, pour la variété MBB l'écart entre son rendement en grain à travers les campagnes est le plus faible notamment en comparaison avec les variétés Sétifis et Bousselam. Ses valeurs moyennes basculent entre 238.20 g/m² pendant la campagne défavorable 2017/2018 et 369.43 g/m² pendant la campagne favorable 2012/2013, donnant ainsi un écart de 131.23 g/m² (fig. 1).

Quoique, les rendements en grain moyens interannuels sont faibles (fig. 1), la variété MBB offre moins de risque que les variétés Bousselam, *Gta dur* et Vitron qui ont réduit considérablement dans la campagne 2014/2015 leur rendement en grain respectivement de 445.13 g/m², 314.61 g/m² et 365.15 g/m² par rapport à leur meilleur production de 2012/2013 et de 42.61 g/m², 43.78 g/m² et 115.70 g/m² par rapport au plus faible rendement de MBB en 2017/2018 (fig. 1).

Pour les producteurs céréaliers ainsi que les sélectionneurs, comme la performance de rendement, la stabilité est un critère important voir prioritaire dans des environnements fluctuants comme celui de la région semi-aride de Sétif. Les efforts sont continuels pour essayer de jumeler la performance des rendements en grains et leur stabilité pour les nouvelles variétés à sélectionner dans les environnements variables et contraignants, notamment semi-arides [25].

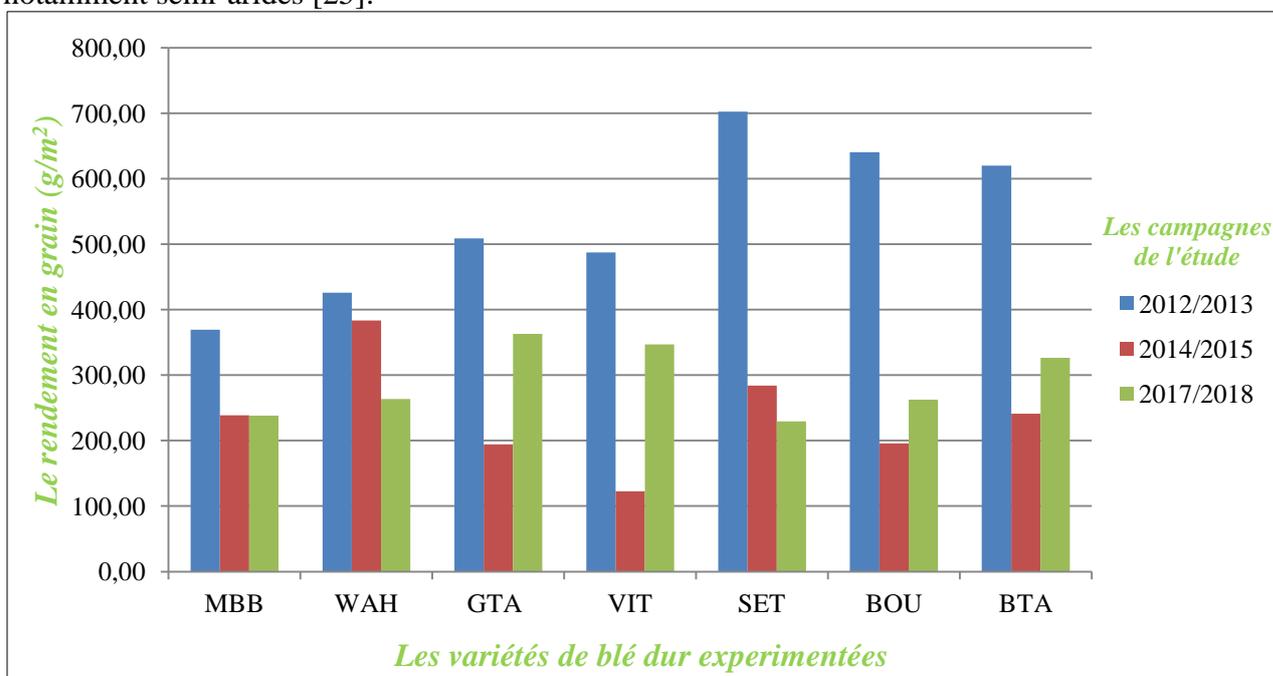


Figure 1.- Rendement en grain des 7 variétés au cours de chaque campagne de l'étude (2012/2013, 2014/2015, 2017/2018)

Les variétés Waha, Sétifis et Boutaleb sont les trois variétés qui minimisent le risque de diminuer leur rendement en grain, pendant les trois campagnes de l'étude, au dessous de la plus faible valeur de MBB au cours de la campagne défavorable 2014/2015 (fig. 1). La variété Waha semble être la variété qui peut offrir une production relativement performante et rester stable à travers les campagnes agricoles (fig. 1). Sa déviation moyenne pour le rendement en grain successivement au cours des trois campagnes est de $+ 1.25 \text{ g/m}^2$, $+ 1.13 \text{ g/m}^2$ et $- 0.77 \text{ g/m}^2$, renseignant ainsi sur sa stabilité et sa production relativement supérieure à la moyenne pour deux années sur trois.

2.2.- Performances des variétés phares et la nouvelle obtention par rapport à MBB

La mise en écart entre les variétés phares Waha, Gta dur, Vitron, Sétifis et Bousselam et la nouvelle obtention Boutaleb par rapport à la variété locale MBB sous les conditions semi-aride de la région de Sétif est représentée dans la figure 2. Les gains de ces variétés varient de 0.57% pour la biomasse aérienne jusqu'à 43.64% pour le rendement en grain et 44.84% pour le poids des épis par mètre carré (fig. 2).

MBB dépasse toutes les variétés avec des taux relativement élevés pour la hauteur allant de 15.55% jusqu'à 30.64% (fig. 2). Ce trait procure une résistance et une tolérance au stress hydrique notamment par le développement des racines qui sont proportionnelles à la hauteur de la plante. SIDDIQUE *et al.* (1989) [31] et HAZMOUNE (1995, 2000) [32,12] relèvent le caractère corrélatif de la hauteur des variétés locales et leur profondeur racinaires qui peut dépasser les 100 cm en année humide, leurs permettant ainsi de s'alimenter en eau à partir des horizons profonds lors des situations de sécheresse. La hauteur apparaît être un critère de sélection recherché dans les environnements connus pour leur stress hydrique tel le cas des régions semi-arides à conditions de lui associer des traits de rendements en grain. Ceci apparaît difficilement réalisable notamment avec la classe des variétés très longues pouvant dépassées les 105 cm comme c'est le cas de la variété MBB [33]. Hauteur dépassée par cette variété lors de la campagne 2012/2013 avec une valeur moyenne de presque 132 cm, où les traits de performance du rendement semblent injoignables à sa hauteur importante. Ceci dit des variétés à hauteur moyennes peuvent permettre la réalisation partielle de cette association et offrir ainsi un juste équilibre entre la performance et la tolérance variétale du blé dur dans les environnements à contraintes abiotiques. Il semble que c'est relativement le cas de la variété Boutaleb, qui avec une hauteur moyenne de 80.76 cm, elle arrive à s'associer avec le poids des épis, caractère pertinent dans la réalisation du rendement en grain sous les conditions de cette étude (tab. III), et d'autant plus qu'elle augmente son rendement par rapport à la moyenne générale et ne le diminue pas au dessous du rendement le plus faible de MBB lors de l'année défavorable 2014/2015 (fig. 1). Selon OUDJANI (2009) [33] les variétés à hauteur moyenne sont comprises entre l'intervalle de 80 à 94 cm. Maintenir les variétés locales hautes, comme MBB, dans le circuit de la sélection variétale pour leur utilisation comme parents géniteurs est important pour aboutir à l'obtention des variétés à hauteur moyenne. Les variétés Bousselam, Gta dur et Vitron réduisent le plus leur hauteur par rapport à la variété MBB avec respectivement 30.64%, 30.12% et 29.38% (fig. 2). Ces mêmes variétés dans ce même ordre réduisent leur rendement en grain dans l'année défavorable 2014/2015 au dessous de celui de MBB (fig. 1). Ce qui peut se traduire par le fait que les variétés Bousselam, Gta dur et Vitron ne cumulent pas des caractères de résistance, notamment celui de la hauteur, pour pouvoir tolérer les années défavorables et améliorer leur rendement. Bouzidi *et al.* (2020) [26] relatent qu'au cours de la sélection, certains

caractères de résistance n'ont pas été pris en considération pour certaines nouvelles obtentions. Ce qui réduit leur tolérance au cours des années défavorables.

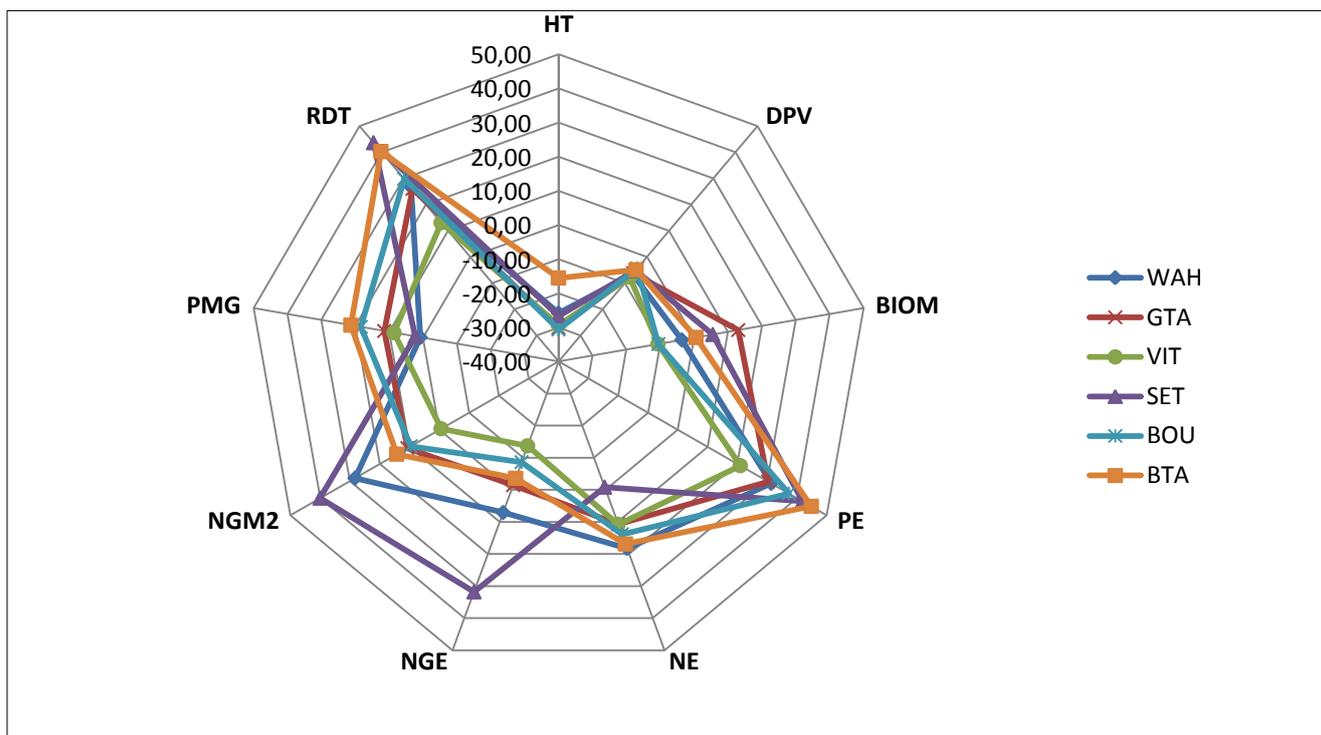


Figure 2.- Performances phénotypiques (%) des variétés étudiées en comparaison à la moyenne de la variété Mohamed Ben Bachir [$100 \cdot (\text{VAR}_i - \text{VAR}_{\text{MBB}}) / \text{VAR}_{\text{MBB}}$]

Comparativement à la variété MBB, la variété Setifis la dépasse de loin avec un taux de 40.03% pour le NGM^2 et c'est les variétés Boutaleb et Setifis qui la dépasse pour le poids des épis avec dans cet ordre un taux de 44.84% et 41.85% (fig. 2). Les variétés Setifis et Boutaleb de loin performant mieux que MBB pour le rendement en grain avec successivement un taux de 43.64% et 40.28%, suivies par les variétés Bousselam (29.82%), Waha (26.75%) et Gta dur (26.00%) avec une performance relativement plus élevée que MBB (fig. 2). Ceci dit il faut tenir en compte que les variétés Bousselam et Gta dur sont des variétés qui peuvent produire moins que MBB pendant les années défavorables vu leur sensibilité au stress, chose qui a été enregistrée pendant la campagne 2014/2015 (fig. 1). Pour la variété Vitron et avec un taux de 13.07% elle ne se tient pas très éloignée de la variété MBB pour le rendement en grain (fig. 2). La variété MBB n'est pas une variété productive sous les conditions semi aride de Sétif et elle se trouve dépassée par toutes les variétés phares de la région, de la moins à la plus ancienne des variétés améliorées de blé dur. Il se trouve que les traits les plus liés à la performance de rendement pour cette étude ne lui sont pas associées à savoir le poids des épis et le nombre de grain par mètre carré.

Pour le poids de mille grains (PMG) toutes les variétés dépassent MBB pour ce caractère avec des taux allant de 0.79% pour la variété Waha jusqu'à 21.27% pour la variété Boutaleb. Il se trouve que les nouvelles obtentions arrivent à améliorer ce caractère relativement mieux que MBB. Il en est de même pour le nombre d'épis/m², mis à part la variété Setifis qui le réduit de 0.85% par rapport à MBB. Pour le nombre de grains par épi, caractère très lié au NGM^2 , certaines variétés arrivent à améliorer ce caractère par rapport à la variété MBB, le cas de Setifis qui la dépasse de loin avec 31.79% et relativement Waha

avec 7.06%, alors que toutes les autres variétés au contraire le réduisent avec des taux de 1.44% à 13.71% respectivement pour les variétés Gta dur et Vitron.

Pour la biomasse aérienne, MBB est une variété connue pour ses performances pour ce caractère. D'ailleurs, les agriculteurs l'adoptent encore dans la région de l'étude, malgré ses faibles performances en rendement grain. C'est une source importante pour l'alimentation de leurs animaux d'élevage. C'est les variétés Gta dur et Setifis, dans les conditions de cette étude, qui améliorent relativement leur biomasse aérienne comparativement à MBB avec 13.06% et 5.53% respectivement (fig. 2). Par contre les variétés Vitron et Bousselam, la réduisent relativement dans cette ordre avec un taux de 10.62% et 10.50%. Cependant, la variété Boutaleb suivie de la variété Waha produisent presque une biomasse aérienne équivalente à MBB (fig. 2). La variété locale MBB se distingue des autres variétés par sa hauteur importante, mais se décline face à ces variétés pour les caractères les plus en rapport avec le rendement en grain.

Conclusion

La variété locale algérienne MBB se démarque par rapport aux obtentions relativement anciennes et nouvelle de blé dur de cette étude par sa hauteur. Ce caractère constitue un atout important pour la variété MBB sous les conditions semi-arides de la région de Sétif. Il lui permet d'acquérir une résistance face au stress hydrique par l'exploitation des réserves hydriques profondes à travers un système racinaire bien développé. Cette tolérance lui a certainement procuré la possibilité de stabilisé son rendement à travers les campagnes agricoles qu'ils soient favorables ou défavorables. En contre partie MBB, se décale à la dernière place pour le rendement en grain faute d'une faible alliance avec les caractères qui lui sont directement liés; dans cette étude il s'agit du poids des épis (PE) et du nombre de grains par mètre carré (NGM²). Il est également a considéré que MBB est parmi les variétés qui ne valorisent pas la biomasse aérienne dans la réalisation du poids de ses épis et par conséquent de son rendement grain.

La hauteur et la stabilité sont deux critères de la variété MBB et qui se trouve valorisés par deux variétés. D'une part, la nouvelle obtention Boutaleb avec sa hauteur moyenne, arrive a s'associé avec le poids des épis, trait lié au rendement grain. Du coup elle arrive à produire au delà de la moyenne générale et à réduire le risque de produire moins que la variété MBB dans les environnements défavorables. Waha d'autre part, peut offrir une certaine stabilité alignée à une certaine performance à travers les campagnes agricoles, même relativement mieux que la variété MBB. Il est à noter que la variété Setifis est à maintenir parmi les variétés phares de la région semi-arides de Sétif, tant qu'elle arrive à maintenir un rendement moyen au delà de la moyenne générale et ne réduit pas son rendement au dessous des variétés les moins productives dans les environnements défaillants, le cas de MBB. Ceci dit pour les variétés Vitron, Gta dur et Bousselam, elles sont à utiliser avec précaution vu qu'elles présentent un rendement grain irrégulier à travers les années et faible voir très faible dans les années défavorables.

L'intérêt de la variété locale de la région semi-aride de Sétif, MBB est prépondérant. D'un côté du fait qu'elle peut être utilisée pour orienter les choix en maintenant, améliorant voir même en écartant les sélections déjà existantes ainsi que les nouvelles obtentions. Et d'un autre côté et vu ses potentialités de tolérance aux stress, son utilisation dans les programmes de sélection est intéressant pour obtenir des variétés non seulement performantes mais aussi tolérantes et stables.

Références

- [1].- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural), 2018.- Statistiques Agricoles. Cellule d'écoute et d'orientation. Développé par intelifox. <http://madrp.gov.dz/agriculture/statistiques-agricoles/>
- [2].- Belaïd D., 2015.- Algérie, pour le renforcement de la filière blé dur locale. Algérie qualité des blés. Agriculture Algérie. <http://www.djamel-belaid.fr/céréales/blé-dur-qualité/>
- [3].- Rastoin J. L., Benabderrazik E. H., 2014.- Céréales et oléo-protéagineux au Maghreb, pour un co-développement de filières territorialisées. Construire la méditerranée, Chapitre 1. Algérie, Une agriculture sous fortes contraintes, IPAMED, Algérie, 30 p.
- [4].- Institut Technique des Grandes Cultures, 1998;- Programme intensification céréalières. Caractérisation, ITGC, Algérie, 123 p.
- [5].- Bouzerzour H., Benmahammed A., Benkharbache N., Hassous K., 2002.- Contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et à la stabilité du rendement d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. Revue Recherche Agronomique de l'INRAA, 10: 45-58.
- [6].- Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hassous K. L., 2005.- Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. Pak. J. Agron, 4: 360-365.
- [7].- Chennafi H., Aïdaoui A., Bouzerzour H., Saci A., 2006.- Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. Asian J. Plant Sci, 5: 854-860.
- [8].- Djermoun A., 2009.- La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. Revue Nature et Technologie, 1: 45-53.
- [9].- Beauval V., 2017.- Hauts plateaux algériens: supériorité des variétés paysannes de céréales. Inf°OGM. Veille citoyenne d'information sur les OGM et les semences. <https://www.infogm.org/6281-algerie-superiorite-varietes-paysannes-cereales>
- [10].- Bessaoud O., Pellissier J.P., Rolland J.P., Khechimi W., 2019.- Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. CIHEAM-IAMM, 83 p.
- [11].- Abdelguerfi A., Laouer M., 2000.- Les ressources génétiques des blés en Algérie passé, présent et avenir. Acte du 1^{er} Symposium International sur la Filière Blé, OAIC, Alger, 133-148.
- [12].- Hazmoune T., 2000.- Érosion des variétés de blé dur cultivées en Algérie: Perspectives. CIHEM-Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, 40: 291-294.

- [13].- Dekhili M., Guechi A., Aggoun A., 2000.- Discrimination des blés durs algériens (*Triticum durum* Desf.) dans la région de Sétif. Recherche Agronomique, INRRA, 7: 25-36.
- [14].- Mekhlouf A., Bouzerzour H., 2000.- Déterminisme génétique et associations entre le rendement et quelques caractères à variation continue chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Recherche Agronomique, INRAA, 7: 37-49.
- [15].- Bouzerzour H., Abbas K., Benmahammed A., 2003.- Les Céréales, Les Légumes Alimentaires, Les Plantes Fourragères Et Pastorales. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement MATE-GEF/PNUD. Projet ALG/97/G31, 22-23 Janvier 2003, thème 3: Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité importante pour l'agriculture, 3-18 p.
- [16].- Belaid D., 2015.- Cultures des céréales en Algérie: Aspects techniques et économiques chapitre 2: variétés et semences. «Les spécificités du blé dur du terroir est algérien». Collection: sciences et techniques agronomiques, 209 p.
- [17].- MATE (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement)., 2014.- 5ème Rapport national sur la mise en œuvre de la convention sur la diversité biologique au niveau national, n°5MATE/PNUD, 128 p.
- [18].- Ducellier L., 1930.- Espèces et variétés de céréales cultivées en Algérie. Direction de l'Agriculture et de la colonisation, 1-62.
- [19].- Laumont P., Erroux J., 1961.- Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. Mémoires Soc. Hist. Afri. Nord, 5: 1-96.
- [20].- Aït-Aballah-Djennadi F., Dekkiche N., Ghalem-Djender Z., Oumdjekane K., Zaghouane-Boufenar F., 2010.- Cultures et couts de production des grandes cultures. ITGC Alger, 96 p.
- [21].- Steel R.G.D., Torrie J.H., 1982.- Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. McGraw-Hill, London, 433 p.
- [22].- Belaid D., 1986.- Aspect sur la céréaliculture algérienne. O.P.U, 207 p.
- [23].- Ben Abdallah N., Ben Salem M., 1993 - Paramètres morphophysologiques de sélection pour la résistance à la sécheresse des céréales. In: Ben Salem M et Monneveux P. Ed. INRA, Paris, 1993: 173-190.
- [24].- Acreche M.M., Guillermo B.F., Sanchez J.A.M., Slafer G.A., 2008.- Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. Europ. J. Agronomy, 28: 162-170.
- [25].- Mazouz L., Bouzerzour H., 2017.- Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans la sélection du blé (*Triticum durum* Desf.) dans le climat semi-aride. Rev. Sci. Technol, Synthèse, 35: 45-58.

- [26].- Bouzidi A., Mahdadi M., Belagrouz A., Bachir A., Mehdaoui W., Razem R., Bouzerzour H., 2020.- Etude comparative des variétés élites de blé dur (*Triticum turgidum* (L) Thell.ssp. *turgidum* conv. *Durum* (Desf.) Mackey) sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales. *Revue Agriculture*, 11 (1): 41-50.
- [27].- Hadj Youcef Taïbi H., Khaldoun A., Mekliche A., 2003.- Etude comparative de la tolérance à la sécheresse de 08 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et de 04 variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) analyse de la stabilité du rendement avec multilocal. *ITGC, Céréaliculture*, 38 (1): 26-31.
- [28].- Bouzerzour H., Adjabi A., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A., Harkati N., 2002.- Productivité et adaptation comparée des variétés de céréales en zone semi-aride d'altitude. *ITGC, Céréaliculture*, 37(1): 4-13.
- [29].- Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hassous K.L., 2005.- Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy*, 4: 360-365.
- [30].- Mekhlouf M., Benmahammed A., Hassous K. L., Bouzerzour H., 2003.- Variabilité génotypique de la réponse à la double exploitation chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride. *ITGC, Céréaliculture*, 38(1): 32-39.
- [31].- Siddique K. H. M., Belford R. K., Perry M. W., Tennant D., 1989.- Growth development an light interception of old and modern whet varieties in Mediterranean environment. *Aust. J. Agri. Res*, 40: 473-487.
- [32].- Hazmoune T., 1995.- Contribution à la caractérisation de l'appareil racinaire de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en relation avec les composantes de rendement. Mémoire de Magister, Université de Batna.
- [33].- Oudjani W., 2009.- Diversité de 25 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.): étude des caractères de production et d'adaptation. Mémoire de Magistère. Université Mentouri de Constantine, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Département de biologie et écologie. Algérie, 112 p.

SOURCES OF WATER COMPENSATION OF THE ARGAN GROVE *Argania spinosa* L. IN ALGERIAN WESTERN SAHARA

KECHAIRI Réda

*Laboratory of Ecology and Management of Natural Ecosystems LECGEN n°13
Department of Ecology and Environment. Faculty of Nature and Life Sciences
University of Abu Bakr Belkaid, 13000 Tlemcen, Algeria
E-mail: kechairir79@gmail.com*

(Received 03 February 2021 - Accepted 28 July 2021)

Abstract.- *The Argan tree Argania spinosa L. is a major sylvopastoral component in the Algerian Western Sahara (Tindouf) in North West Africa. It grows in the rocky plateau "Hamada" of the Saharan desert. It is located in along the wadi beds, on sandy, rocky and gravelly substrates. It turns out that the region of Argan grove is characterized by extreme climatic conditions and a dry period that extends all year round. Under the severe aridity conditions the Argan tree adapts well on the hydrography of Hamada of Tindouf in the presence of underflows, where additional water supply is accumulated below the substrate of dry wadis beds.*

Key words: *Argan tree, hydrography, water sources, water compensation, Tindouf, Algeria.*

SOURCES DE COMPENSATION EN EAU DE L'ARGANERAIE *Argania spinosa* L. AU SAHARA OUEST ALGÉRIEN

Résumé.- *L'arganier Argania spinosa L. est un composant sylvopastoral majeur dans le Sahara occidental algérien (Tindouf), au nord-ouest de l'Afrique. Il pousse dans le plateau rocheux "Hamada" du désert saharien. Il est situé le long des lits d'oueds, sur des substrats sableux, rocheux et graveleux. Il s'avère que la région de l'arganeraie est caractérisée par des conditions climatiques extrêmes et une période sèche qui s'étend toute l'année. Dans les conditions d'aridité sévères, l'arganier s'adapte bien au sein de l'hydrographie de la Hamada en présence de sous-écoulements, où un apport d'eau supplémentaire est accumulé sous le substrat des lits d'oueds secs.*

Mots-clés: *Arganier, hydrographie, sources, compensation en eau, Tindouf, Algérie.*

Introduction

The forest plays an important role in the regulation of the hydrological regime [1]. Its disappearance would have unbearable effects. Trees such as the Argan tree are indispensable for stabilising the course of wadis and regulating their flow [2-4]. With its well-developed roots and the herbaceous stratum that it shelters, the Argan tree conserves the soil and protects it from the harmful effects of runoff caused by occasional and heavy rains and also against frequent violent winds [5].

According to Fabre [6], the Hamada appears monotonous, constituting a sandstone-clay complex, generally formed at the base by a conglomerate then one or more limestone or dolomitic slabs in flint beds. It is cut into cliffs and gullies by erosion in a semi-arid climate [6-8]. In general, it is a fairly flat Hamada whose horizontality is rarely disturbed [9] except

for the upper part of the sub-watershed of Wadi El-Ma which is composed of "Chaabats" of a disturbed nature. It consists of Tertiary sediment of Paleogenetic age, especially Neogene. These limestones are more or less silicified [10].

Climatic conditions in the area of studies are generally severe. That the maximum temperature reaches 50°C, and the dry period extends throughout the year. However, torrential rains appear every 3 to 4 years [11]. The hydrographic formation on the desert plateau of the Hamada of Draa has a mainly alluvial supply, favorable to the Argan tree. It is explained by the cruel influence of concentrated river flows [6]. According to BOUDAD *et al.* (2003), the hydrographic formation results from the intensity of the humidity of the Upper Pleistocene and Holocene that led to the flow of wadis [12]. At the northern depression which is constituted by the red clay deposits of Upper Carboniferous [6], a few feet of *Argania spinosa* are very scattered. The argan tree crosses the ravines of "Kreb El-Hamada" along the cliffs of Merkala and Targant, where it attaches itself on the cracks of hard sandstone and metamorphic and gypsum rocks.

1.- Material and methods

1.1.- Study region

Our study region is located in the northwest of Tindouf Province. It is constituted in its great part of a plateau of the Hamada, including the Hamada of Draa which contains the natural environment of the Argan tree, covers an area of 56000 ha [13,14]. It is limited in the south by the Hamada of Tindouf (northern version of Sebkhia of Tindouf), in the west by the Hamada El-Hamra (border region) and in the north by the depression of the North and Ouarkiz mountain. The vegetation of the study area is located precisely in the wadi beds (fig. 1).

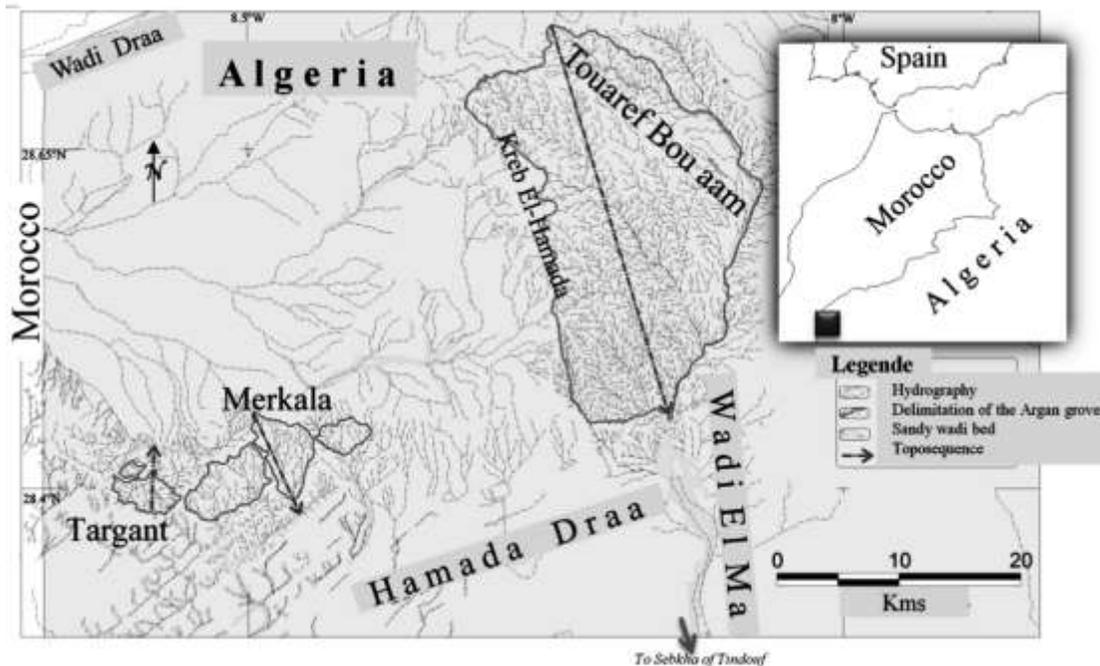


Figure 1.- Delimitation of the hydrography of Argan grove of Tindouf [13] and topographic profiles

1.2.- Hydrogeomorphological analysis

The purpose of this work is the analytical description of the hydrographic flow in the middle of Tindouf's Argan grove. The *Global-Mapper* software (3.0) was used in this study to highlight the geomorphological characteristics of the stations at *Argania spinosa* by Toposequences from the DTM (Digital Terrain Model).

2.- Results and discussion

2.1.- Description of the hydrography

In arid regions, the wadi has developed a system of alluvial terraces, which reach several tens of meters in thickness, an exceptional magnitude for North Africa [15]. At the mouth of Wadi El-Ma, the thickness of the sandy major wadi bed is about 250 meters (Fig. 2). This Upper Pleistocene formation recorded some more or less rapid variations in the middle [15]. This sandy substrate shows increasing sterilization by leaching and intensive overgrazing [14, 16]. As a result, vegetation seems to be absent, and the Argan tree is represented only by a few very distant subjects scattered with the feet of *Acacias*.

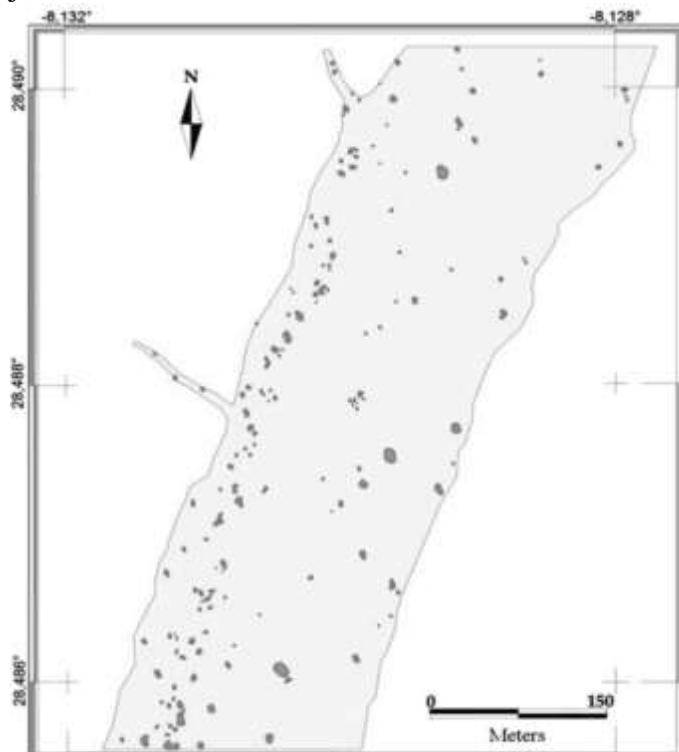


Figure 2.- Major wadi bed at the mouth of Touaref Bou-aam

2.2.- Water Resources

In the natural environment of the Tindouf Argan grove, the climatic conditions are severe. The dry period lasts all year round, sometimes three years pass without rain. The Argan tree is endemic and continues to be present since an older retreat in the dry wadi beds.

In these extremely arid environmental conditions, the vegetation in *Argania spinosa* compensates for the rainfall deficit by:

2.2.1.- Underflow

The wadis are called seasonal watercourses especially in North Africa, and the presence of vegetation on these wadis can be explained by the availability of water stored in the substrate [15]. The Argan tree takes advantage of underflows, where additional water is accumulated below the substrate. This phenomenon called "underflow" allows the vegetation and especially the Argan tree to see compensation in water necessary to continue to live in a region where annual rainfall does not exceed 50mm [16, 17].

2.2.2.- Guelta

In the lowlands of Targant, the limestone formations maintain sources that are at the origin of the perennial supply of Targant wadi. In this landscape of Argan oasis is a set of "Gueltas" in micro-basins where animals can come to drink even in the driest years [15]. In the Targant valley, spring water feeds the hydrographical network and converges in small reservoirs "Gueltas" (fig. 3).

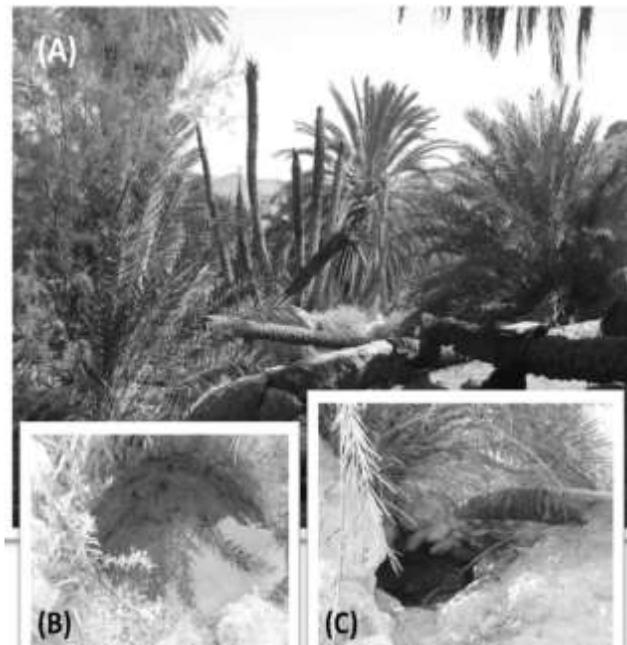


Figure 3.- Water sources at the oasis of the Targant valley
(A- Oasis of Targant; B- Water source; C- Gueltat)

2.2.3.- Ouglat

During all the field trips we observed a traditional system called "Ouglat" which is used to drain the water resulting from the inflow under the wadi bed by a small well [16, 18]. This one is founded by a cylindrical cavity, well built in stones, dug vertically the wadi bed; it has a depth of about one to two meters. Figure 4, shows "Ouglat En-Sara" at the midpoint of the El-

Ma wadi (8.155752°N; 28.564835°W). It is considered to be a small water reservoir for Saharawi nomads. This traditional technique is currently rare. It is substituted by pumping underground water.

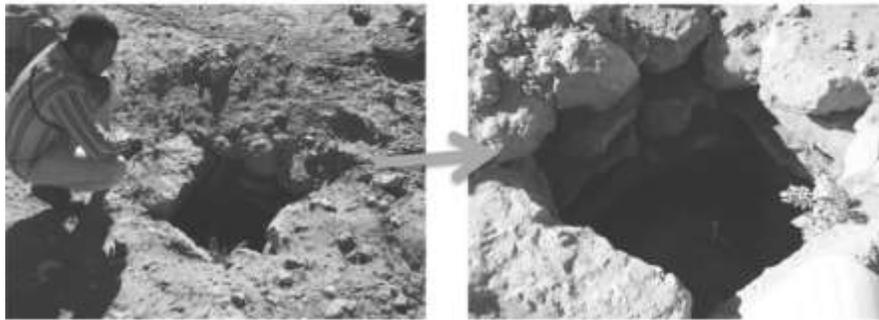


Figure 4.- "Ouglat En-Sara" at the mid-slope of wadi El Ma

2.3.- Effect of wind on the physiology of the Argan tree

The wind exerts a very important action on the Argan tree and its environment [19]. It has an effect on the phenomenon of transpiration which also acts on the physiology of the plant. The dominant winds in the study area are from the north-west, this is called '*Gharbi*' which represents almost all the winds of the year. Coming from the Atlantic Ocean, these winds soften the temperatures and increase the humidity of the air. Warm air waves from the southeast are called '*Chergui*'. They last a few days and show superficial leaf scorching between June and August.

The Argan tree in Merkala is constantly subjected to cruel winds because of the exposure and its altitude in front of the northern depression. This contributes to put the stand a little stressed compared to the Argan tree of the other stations of Targant and Touaref Bou-aam. The air currents blow stronger at Kreb El-Hamada "*Ross El-Ma*" between Merkala and the upstream northwest of Wadi El-Ma. These air currents generate strong evapotranspiration which increases the water needs of the trees [20]. The water that is already insufficient upstream where the remainder of the argan population becomes pure, in the form of bushes barely exceeding 2 meters in height. These bushes contain dwarf leaves and fruits that do not exceed the stage of small green buds, then fall (fig. 5).



Figure 5.- Geomorphological nature of Hamada Draa; the cliffs of Hamada "Kreb El Hamada" (a₁); northern depression (a₂); upstream "Ross El Ma" (b)

3.4.- Water flow

Table 1 shows the hydro-geographic data for the three stations studied. In Wadi El Ma, the harsh nature of the Hamada where the Argan tree settles in troubled Chaabats, contributes to the creation of water repellents that promote the good development of the species. With a low slope recorded in Touaref Bou-aam and Merkala (1.5 and 2.4%), almost all water runoff infiltrates and the mass of imported soil accumulates under the feet of trees by enlarging the mounds.

Table 1.- Hydrogeographic flow data for the three stations studied

| Stations | Touaref Bou-aam | Merkala | Targant |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Slope α (%) | 1.5 | 2.4 | 3.9 |
| Exhibition | from South to North-West | from South to North-West | from the North-West to the South-East |
| Altitude (m) | 550 à 600 | 540 à 570 | 375 à 525 |

Figure 6, shows the geomatics data for three topographic profiles (Toposequences). These were extracted from the DEM (*Digital Elevation Metric*: satellite image of the SRTM radar system, resolution 25m) processed by the Global-mapper software. The flow of Wadi El Ma converges from the extreme northern cliffs of *K'reb El-Hamada "Ross El Ma"* southward to join the Sebkhha of Tindouf. The flow of Wadi Merkala converges from north to southwest in micro depressions on the Hamada and then follows the furrows of the Hamada Draa to the southwest to Hamada El Hamara. Regarding Wadi Targant, one of the tributaries of the Draa Valley, its flow converges from south to northwest to join the Atlantic Ocean. At the natural reserve of the Argan grove, the water temporarily submerged at wadi El Ma at the time of torrential rains and built a hill reservoir at the mouth of Touaref Bou-aam. Thereafter, the water infiltrates to feed the underflows to the Sebkhha of Tindouf.

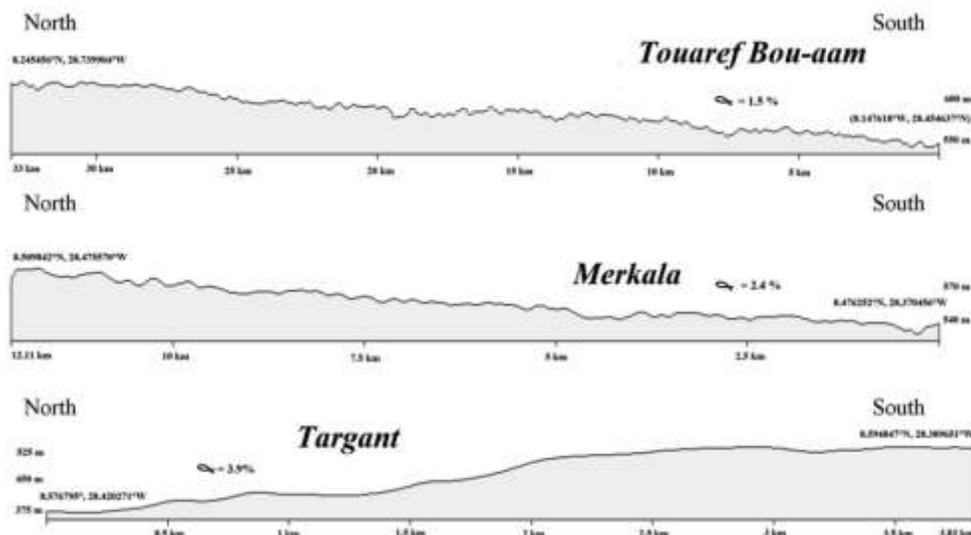


Figure 6.- Toposequences of the three stations of the Tindouf Argan grove

Conclusion

The distribution of the settlement in spatial discontinuity seems well attached to the nature of the hydrography of the wadis on Hamada. Indeed, the intensity of the flows during certain ancient periods increased the base of the hollows of the wadis (of varisque type) which increased the accumulation of the soils of contribution and favoured the installation of *Argania spinosa*.

The ecosystem of the Argan grove is threatened by the severity of the climate. In addition, the anthropogenic impact apparently leaves harmful footprints that risk minimizing water potential through the adversity of fatal depletion of the water table underlying the Argan forest nature reserve.

Disclosure statement: No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

- [1].- Harfouche A, Nedjahi A, Fallah, M, Daly-Hassen H, 2005.- Les ressources génétiques forestières nord-africaines et leur conservation. *Revue Forestière Française*, 58(1): 15-32.
- [2].- Challot J.-P, 1949.- L'arganier. *Revue de bois*, Pp 7-12.
- [3].- Ehrig F.-R, 1974.- Die Arganie Charakter, Ökologie und wirtschaftliche Bedeutung eines Tertiärreliktes in Marokko. *Petermans geographische Mitteilungen*, 118 (2): 117-25.
- [4].- Nouaim R, Chaussod R, El Aboudi A, Schnabel C, Peltier JP, 1991.- L'arganier: Essai de synthèse des connaissances sur cet arbre. *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*, John Libbey Eurotext, Paris, Pp 373-388.
- [5].- Errouati A, 2005.- Problématique de la régénération assistée et des reboisements à base d'*Argania spinosa* dans la région du massif forestier d'Amsitten (Province d'Essaouira). Doctorat Thesis, École Nationale Forestière d'Ingénieurs de Salé, Maroc, 42p.
- [6].- Fabre J, 2005.- Géologie du Sahara Occidental et Central. Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren African geoscience collection, Belgique, vol. 108, 572p.
- [7].- Papy L, Richard-Molard J, Pélissier P, 1952.- Cartes ethno-démographiques de l'Afrique occidentale. Feuille n° 1, Institut Français d'Afrique Noire, Cahiers d'outre-mer, Dakar, 1953, 22 (6): 198.
- [8].- Casenave A, Valentin C, 1989.- Les états de surface de la zone sahélienne: influence sur l'infiltration. ORSTROM, Paris, 229p.
- [9].- B.E.N.D.E.R., 2002.- Étude de la préservation et de la valorisation de l'espèce cameline au niveau de la Wilaya de Tindouf. Phase 02. Analyse de la situation actuelle de l'élevage camelin. Agricultural Services Directorate, Tindouf, 22p.

- [10].- Fabre J, Arnaud-Vanneau A, Belhadj Z, Monod Th, 1996.- Évolution des terrains méso-cénozoïques d'une marge à l'autre du craton ouest africain, entre le Tanezrouft (Algérie) et l'Adrar de Mauritanie. Mémoires du Service Géologique de l'Algérie, 8: 187-229.
- [11].- Beladjemi S, Kechairi R, 2018.- Varietal Variabilty of Argan tree foliage *Argania spinosa* (L.) Skeels in various bioclimatic stages in Algeria. Genetics and Biodiversity Journal, 2(1): 1-8.
- [12].- Boudad L, Kabiri L, Weisrock A, Wengler L, Fontugne M, El Maatoui M, Makayssi A, Vernet J.-L, 2003.- Les formations fluviatiles du Pléistocène supérieur et de l'Holocène dans la plaine" de Tazoughmit (Oued Rheris, piémont sud-atlasique de Goulmine, Maroc. Quaternaire, 14(3): 139-154.
- [13].- Kechairi R, Abdoun F, 2016.- État des lieux cartographiques de l'arganier *Argania spinosa* (L.) Skeels (Sapotaceae) en Afrique Nord-Occidentale (Algérie et Sahara Occidental). International Journal of Environmental Studies, 73(2): 286-393.
- [14].- Kechairi R, 2018.- Étude de l'arganeraie de Tindouf: État des lieux, contraintes et perspectives de son développement. Doctorate Thesis, University of Tlemcen, Algeria, 196p.
- [15].- Wengler L, Weisrock A, Brochier J.-E, Brugal J.-P, Fontugne M, Magnin F, Mathieu J, Mercier N, Ouammou A, Reyss J.-L, 2002.- Enregistrement fluviatile et paléoenvironnements au Pléistocène supérieur sur la bordure méridionale atlantique de l'Anti-Atlas (Oued Assaka, S.O. Marocain). Quaternaire, 13(3): 179-192.
- [16].- Kechairi R, 2009.- Contribution à l'étude écologique de l'arganier *Argania spinosa* (L) skeels dans la région de Tindouf (Algérie). Magister Thesis, University of USTHB, Algiers, 75p.
- [17].- Quézel P, Barbero, M, 1993.- Variations climatiques au Sahara et en Afrique sèche depuis le Pliocène: enseignements de la flore et de la végétation actuelles. Bulletin d'écologie, 24(2-3-4): 191-202.
- [18].- Bendou S, 2011.- Contribution à l'étude de la diversité floristique et écologique de l'arganeraie d'Oued El-Ma, Wilaya de Tindouf Magister Thesis, University of USTHB, Algiers, 91p.
- [19].- Bendaanoun M., 1991.- Contribution à l'étude écologique de la végétation halophile, halohygrophile et hygrophile des Estuaires, Lagunes, Delta et Sebkhass au littoral atlantique et méditerranéen et du domaine continental du Maroc: Analyse climatique, pédologique et chimique ; phytoécologique, phytosociologique et phytogéographique. Perspective de gestion, d'aménagement et de développement. Doctorate Thesis, Faculty of sciences, Marseille, 680p.
- [20].- Perrin H, 1953.- Sylviculture, I. Base scientifique de la sylviculture. École nationale des eaux et forêts, Nancy, 318p.

PHENOTYPIC DIVERSITY AND PGPR TRAITS OF RHIZOBIA NODULATING PEANUT (*Arachis hypogaea* L.) GROWN IN ALGERIAN SANDY SOILS

KRAIMAT Mohamed^{1,2*}, DJANI Halima¹, MEHAYA EI Alia¹, HADJ MAHAMMED Imane¹, BOUKHLIFA Lyna Koufala¹, BENBITOUR Imane¹, OULED HADJ AISSA Meriem¹, HADJ AMMAR Sara¹, BENSABA Samira¹, OULED HEDDAR Meriem^{1,3} and BISSATI Samia^{1,2}

⁽¹⁾Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Université de Ghardaïa, 47000 Ghardaïa, Algérie

⁽²⁾Laboratoire Bio Ressources Sahariennes, Préservation et Valorisation,
Université Kasdi Merbah, 30000 Ouargla, Algérie

⁽³⁾Laboratoire de Mathématiques et Sciences Appliquées, Université de Ghardaïa
47000 Ghardaïa, Algérie

*E-mail: kraimat.mohamed@univ-ghardaia.dz

(Received 11 May 2021 – Accepted 30 June 2021)

Abstract.- In order to assess phenotypic variability of native rhizobia nodulating peanut (*Arachis hypogaea* L.), a collection of fourteen isolates obtained from effective root nodules of peanut, cultivated in two potential regions of Algeria (Sebseb and EL Mansoura), was subjected to phenotypic characterization using morphological, biochemical and physiological tests. Some Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) properties had also been investigated in this study for each strain. Furthermore, a representative strain (M044713), forming a separate cluster in the UPGMA dendrogram of API 20NE tests was chosen for phylogenetic analysis using 16S rRNA gene. The results showed that most of bacterial isolates are Gram-negative bacilli. They can be divided into slow-growing and fast-growing rhizobia. Their responses to the various tests as well as their PGPR characteristics were interesting, but variable. The phylogenetic distribution of the isolate M044713, based on 16S rRNA sequence analysis, revealed low similarity percentages with all strains previously isolated from peanut and the most important percentage of similarity was 94.5%, noted with *Pseudoxanthomonas koreensis* species.

Key words: Native rhizobia, peanut, root nodules, phylogenetic analysis.

DIVERSITÉ PHÉNOTYPIQUE ET PROPRIÉTÉS PGPR DES RHIZOBIA NODULANT L'ARACHIDE (*Arachis hypogaea* L.) CULTIVÉE DANS LES SOLS SABLEUX ALGÉRIENS

Résumé.- Afin d'évaluer la variabilité phénotypique des rhizobia natifs nodulant l'arachide (*Arachis hypogaea* L.), une collection de quatorze isolats obtenus à partir de nodules racinaires d'arachide, cultivés dans deux régions potentielles d'Algérie (Sebseb et EL Mansoura), a été soumise à une caractérisation phénotypique, en utilisant des tests morphologiques, biochimiques et physiologiques. Certaines propriétés PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) ont été également examinées dans cette étude pour chaque souche. De plus, une souche représentative (M044713), formant un groupe distinct dans le dendrogramme UPGMA des tests API 20NE, a été choisie pour l'analyse phylogénétique basée sur le gène ARNr 16S. Les résultats ont montré que la majorité des isolats bactériens sont des bacilles à Gram négatif. Ils peuvent être divisés en rhizobia à croissance lente et à croissance rapide. Leurs réponses aux différents tests ainsi que leurs caractéristiques PGPR étaient intéressantes, mais variables. Néanmoins, la distribution phylogénétique de l'isolat M044713, basée sur l'analyse de séquence d'ARNr 16S, a révélé de faibles pourcentages de similitude avec toutes les souches précédemment isolées de l'arachide et le pourcentage de similitude le plus important était de 94,5%, noté avec les espèces de *Pseudoxanthomonas koreensis*.

Mots-clés: Rhizobia natifs, arachide, nodules racinaires, analyse phylogénétique

Introduction

Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is an important food crop which is cultivated in tropical, subtropical and temperate zone [1]. It is one of the few crops that adapts well to the conditions of drought and variable soil fertility [2]. Originally from South America, peanut has been cultivated in Algeria for about a century, especially in sandy soils, of which several genotypes have been identified. Although the areas devoted are around 2000 ha, its yield hardly exceeded 20 quintals per hectare in 2018 (with a production of 3409.7 tons). The high instability of these yields is linked to the low fertility on limestone and alkaline soils. Indeed, on these soils nitrogen and phosphorus are the two factors limiting the productivity of crops [3]. Reasoned fertilization remains the most effective way to obtain optimal productivity. However, the effectiveness of fertilizers is closely dependent on the pH and the amount of limestone in these soils [4, 5]. In addition, the excessive use of inorganic fertilizers is currently responsible for serious threats to environment and human health [6].

Even in arid environments, peanut have a high symbiotic N₂-fixing capacity and its contribution of biological N₂-fixing (BNF) was 40.9 kg N ha⁻¹ [7, 8]. The supply of nitrogen can occur by means of biological nitrogen fixing through symbiosis with efficient rhizobia dispensing or reducing the application of nitrogen fertilizers and enhancing ability of legumes, such as peanut, to withstand stress [9].

Several types of native rhizobia are widely distributed in various geographical and ecological areas of the world [10-13]. Peanut has been reported to form effective root nodules with slow-growing rhizobia [14-17]. These strains are classified into the genus of *Bradyrhizobium* [18]. Until now, new species of *Bradyrhizobium* have been isolated from *Arachis hypogaea*, including *Bradyrhizobium lablabi* [19], *B. arachidis* [20], *B. subterraneum* [21], *B. guangxiense*, *B. guangdongense* [22], *B. vignae* [23] and *B. yuanmingense* [24]. Though, Santos et al [25] reported the predominance of fast-growing bacteria that acidify the medium forming symbiosis with peanut grown in the soils of Northeastern Brazil. Previously, Taurian et al [26] also found that peanut forms symbiosis with fast-growing bacteria closely related to *Rhizobium giardini* and *R. tropici*.

Nodulation of peanut by indigenous bacteria is usually assumed to be adequate, and inoculation is seldom practiced. While, typical environmental stresses faced by the legume nodules and effective functioning of rhizobia populations may include high soil temperatures, salt and osmotic stress, soil acidity and alkalinity, pesticide and fungicide applications and nutrient deficiency stress [27, 28].

In order to assess the diversity of peanut rhizobial strains in the peanut producing area of the province of Ghardaia (Algeria), fourteen isolates from effective root nodules were collected from two geographical regions in southern Algeria. Isolates were subjected to phenotypic characterization, plant growth promoting rhizobacteria features and genotypic variability using PCR-amplified 16S rRNA gene.

2.- Materials and methods

2.1.- Bacterial isolates and nodulation test

Isolates collected from two geographical regions representing the potential peanut culture zone of Algeria (Sebseb and EL Mansoura) (fig. 1). In which, soils are sandy with

an alluvial supply, characterized by a sandy-silty texture (tab. I). Fourteen isolates obtained from effective root nodules were kept on desiccated CaCl₂ using standard method [29]. Strains were isolated from sterilized nodules and maintained on yeast mannitol agar (YMA) medium. Bacterial cultures were incubated at 28°C for 7 days. Rhizobial colonies were selected and streaked on YMA medium, several times to obtain pure cultures. To test isolates nodulation, 140 seeds of a local peanut genotype (Sebseb) were sterilized in sodium hypochlorite (13%) and germinated on sterile sand at 28°C. After germination, seedlings were inoculated with a bacterial culture of each isolate and then transferred to Gibson tubes containing the nutrient solution (60 ml) [30]. Plants were placed in a culture chamber at 28 °C, under 400 W m⁻¹ for 16 hours in the light and 50% humidity. After 35 days of inoculation, plants were harvested for root nodule observation.

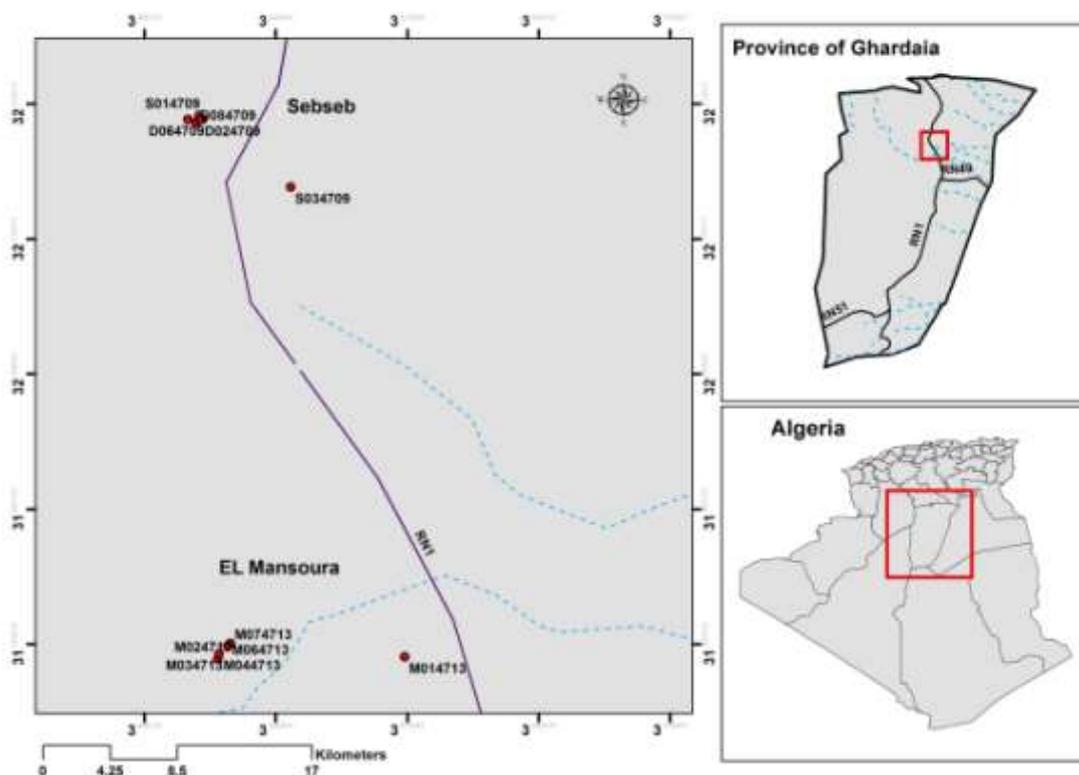


Figure 1. - Geographical location of the fourteen isolates collected from two agricultural areas in the province of Ghardaia, based on WGS 84 projection system (Original figure designed on ArcGIS software)

Table I.- Granulometric and chemical soils properties [2]

| Geographic region | Coarse sand (g kg ⁻¹) | Fine sand (g kg ⁻¹) | Silt+Clay (g kg ⁻¹) | pH | CE (ds cm ⁻¹) |
|-------------------|--|------------------------------------|------------------------------------|---|--|
| Sebseb | 451±1.1 | 483±1.0 | 66±0.3 | 8.64±0.22 | 0.138±0.03 |
| EL Mansoura | 527±1.4 | 392±0.8 | 81±0.5 | 7.86±0.13 | 0.146±0.04 |
| Geographic region | Active- CaCO ₃ (g kg ⁻¹) | OM (g kg ⁻¹) | Total-N (g kg ⁻¹) | P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹) | K ₂ O (mg kg ⁻¹) |
| Sebseb | 36.9±0.01 | 6.8±0.54 | 5.9±0.01 | 6.43±1.35 | 67±1.84 |
| EL Mansoura | 34.8±0.02 | 9.3±0.46 | 3.7±0.04 | 9.22±0.87 | 79±2.56 |

Data are means and SD of 3 replicates for soils from two geographic regions

2.2.- Phenotypic tests

Phenotypic features of isolates were determined according to the procedure described by Wdowiak and Malek [31]. The tested features included: (i) utilization as sole carbon sources of D-galactose (0.1%), glucose (0.1%), lactose (0.1%), fructose (0.1%) and mannitol (0.1%); (ii) utilization as sole nitrogen sources of L-glutathione (0.1%), casein hydrolysate (0.1%), L-tryptophan (0.1%), L-cysteine (0.1%) and L-leucine (0.1%); (iii) tolerance to sodium chloride (0.01, 1, 5%); (iv): capacity to grow at different pHs (4.5, 7, 9, 11) and (v): intrinsic antibiotic resistance to ampicillin (10 $\mu\text{g ml}^{-1}$), amoxicillin (25 $\mu\text{g ml}^{-1}$), gentamicin (10 $\mu\text{g ml}^{-1}$) and nalidixic acid (30 $\mu\text{g ml}^{-1}$). Biochemical tests, including activities of catalase, oxidase, amylase, gelatinase, reduction of litmus milk and Gram reaction, were also performed according to SMIBERT and KRIEG (1994) [32]. Similarly, assimilation of substrates was determined using API 20E and API 20NE kit for all isolates.

2.3.- Phosphate-potassium solubilizing ability

The ability of the isolates to solubilize inorganic phosphate was checked on two media: Pikovskaya (PVK) medium [33] and NBRIP medium [34], both containing 10 g l^{-1} of tricalcium phosphate ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). To test potassium solubilization, bacteria were regrown using Aleksandrov solid medium [35]. An aliquot of 10 μl of fresh bacterial culture was spotted onto these plates and incubated at 28°C for 7 days. Formation of halo around the colonies indicated solubilizing ability [36,37].

2.4.- Siderophores production

Siderophores production has been assessed using the method described by Schwyn and Neilands [38], based on chrome azurol S (CAS) and hexadecyltrimethylammonium bromide (HDTMA) as indicators. The CAS/HDTMA complexes tightly with ferric iron to produce a blue color. When a strong iron chelator such as a siderophore removes iron from the dye complex, the color changes from blue to orange. Chrome azurol S agar plates were inoculated with bacterial cultures and incubated at 28°C for 2-7 days. Development of yellow-orange halo around the colonies indicated siderophores production [39].

2.5.- Indole acetic acid production

Indole acetic acid (IAA) production was detected by the method of Bric et al [40]. Isolates were inoculated on Luria Bertani (LB) medium supplemented with glucose (5 g l^{-1}) and tryptophan (0.01 g l^{-1}) at 28°C for 72 h with shaking (180 rpm). Cultures were centrifuged at 1000 rpm for 15 min and 1 ml of the supernatant was recovered and added to 2 ml of the Salkowsky reagent. The mixture was then incubated in the dark for 20 min and IAA production has been evaluated by appearance of pink color.

2.6.- Hydrogen cyanide acid production

Hydrogen cyanide acid (HCN) production was determined according to the procedure described by Lorck [41]. Bacterial isolates were streaked on nutrient agar supplemented with glycine (4.4 g l^{-1}). A Whatman paper (N°42), saturated with alkaline picrate was placed in the lids of plates, sealed with para-film and inversely incubated at 30°C for 96 h. HCN production was indicated by changing of paper color to yellow or orange.

2.7.- DNA extraction and PCR amplification

Total genomic DNA for isolate M044713 was extracted in macrogen laboratory using InstaGeneTM Matrix protocol according to BIO-RAD catalog (732-6030). The supernatant containing total DNA was recovered and placed at -20 °C until required. DNA was isolated using MG Tissue SV kit (Doctor protein INC, Korea, Cat. no. DR00302). 16S rRNA gene has been amplified by DNA Engine Tetrad 2 Peltier Thermal Cycler using Dr. MAX DNA Polymerase (Doctor protein INC, South Korea, Cat. no. DR00302). The PCR conditions were as follows: initial denaturation (5 min at 95°C), 35 cycles each consisting of denaturation (30 s at 95°C), annealing (30 s at 55°C), extension (1 min 30 s at 72°C) and final extension for 7 min at 72 °C. PCR product was purified by multiscreen filter plate and sequenced by ABI PRISM 3730XL Analyzer (96 capillary type) using BigDye (R) Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems). Sequences were finally analyzed with Variant Reporter Software Version 1.1 (Applied Biosystems).

2.8.- Phylogenetic and data analysis

16S rRNA gene sequence was aligned using MEGA 5.05. Comparisons of the obtained sequence and reference sequences in the public databases were performed using EzBioCloud databases (<https://www.ezbiocloud.net/identify>). Phylogenetic trees were carried by the neighbor-joining and maximum likelihood models using MEGA 5.05 software. Bootstrap confidence levels were based on 1000 permutations of the data sets.

Data obtained for the various tests were subjected to heatmap analysis using heatmap2 function under R.3.5.2. An analysis of similarity (ANOSIM), according to the Bray-Curtis method was carried using Past 3.

3.- Results

3.1.- Phenotypic diversity

Although, all colonies were white and had a smooth, shiny appearance. Macroscopic analysis of bacterial isolates revealed variation in shape, opacity, consistency and texture. However, microscopic observation showed that isolates were mainly Gram negative, except M064713 and M074713 which were Gram positive. Peanut isolates could utilize most of the carbon sources including lactose, glucose, fructose, D-galactose and mannitol. Casein and L-tryptophan are the two most assimilated sources of nitrogen, whereas isolates D044709 and S034709 did not assimilate any source used. Most of them could grow on the YMA medium at pH 9 and up to 5% (W/v) of NaCl. Their spectrum of intrinsic antibiotics resistance was relatively narrow ampicillin ($10 \mu\text{g ml}^{-1}$) for all isolated strains and amoxicillin ($25 \mu\text{g ml}^{-1}$) for those isolated from EL Mansoura. Bacterial isolates could be divided into strict aerobic and positive catalase reaction for most isolates, except for M064713 and M074713 which were aero-anaerobic and possessing a catalase negative reaction. Reduction of litmus milk gave, however, a negative reaction for all isolates tested (tab. II).

Similarity analysis based on API 20E, using the Bray-Curtis method according to the UPGMA algorithm, grouped bacterial isolates into two main clusters. The first cluster formed by D054709 showing only positive reactions with ONPG, TDA and IND tests, having the lowest similarity index (0.25 to 0.70). The second grouped other isolates,

having variable responses and with a similarity index varying between 0.64 and 1 (Fig. 2). Identity analysis using Apiweb 20E V5.0 (<https://www.apiweb.biomerieux.com>), showed up to 96.4% of identity with *Ochrobactrum anthropi* for this group. For API 20NE, isolates could be divided into S014709, S034709, D044709 and D054709 that revealed positive reactions for NO₃, ESC and Ox tests. More of these tests, M044713 strain reacted positively with ARA, MNE NAG, GNT and MLT tests. Both had low similarity indices (0.19-0.55). Other isolates showed variable responses for all tests (Fig. 3). However, the identity profile from Apiweb 20NE V8.0 showed 98.9% of identity with *Rhizobium radiobacter*.

3.2.- Plant growth promotion properties

The study of PGPR properties based on heatmap analysis of five characters divided bacterial isolates into: M024713 could further solubilize phosphorus, potassium and produce considerably AIA and HCN, but not for siderophores; M034713, D024709, D064709 and M064713 group which did not solubilize potassium, having a low AIA and siderophores production; D044709 had a high of siderophores and AIA production but with a low capacity of the phosphate-potassium solubilizing. Other isolates revealed, however, variable results for all properties examined (fig. 4).

3.3.- Phylogenetic analysis

A representative strain, M044713, forming a separate cluster in the UPGMA dendrogram of API 20NE tests was chosen for phylogenetic trees. Analysis of 16S rRNA sequence using the BLAST function in EzBioCloud databases, according to the neighbor-joining and maximum likelihood models for nearly complete 16S rRNA gene sequences of several species of *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Sinorhizobium* and *Mesorhizobium*, that have been isolated from peanut and other legumes, had shown low similarity distances. However, the most important percentage of similarity was 94.5%, noted with *Pseudoxanthomonas koreensis* (fig. 5, 6).

4.- Discussion

In this study, physiological and biochemical characterization of fourteen isolates from effective peanut nodules were carried. The results showed both morphologically and physiologically variations. The majority of bacterial isolates were Gram-negative bacilli. They could be divided into slow-growing and fast-growing rhizobia. Several reports describe that peanut has been found to form effective nodule with both fast and slow-growing rhizobia [24]. Most rhizobial isolates belong to *Bradyrhizobium* [22,23,42]. Although some other fast-growing effective rhizobia have been also reported, classified as *Rhizobium* [43,44]. Many isolates studied could utilize the various carbon sources, but a few of them that could grow on nitrogen sources. They could also grow up to 5% of NaCl and from 4.5 to 11 of pH. Variability of native rhizobia in terms of their tolerance to salt, pH or other factor is conditioned by the specific environmental conditions of their natural habitats, which suggests that soil and climatic properties affect the diversity and distribution of indigenous rhizobia [45, 46].

Table II.- Phenotypic features for peanut isolates collected from effective root nodules (+: positive; ±: weakly positive; -: negative)

| Characteristics | M014713 | M024713 | M034713 | M044713 | M064713 | M074713 | D024709 | D034709 | D044709 | D054709 | D064709 | D084709 | S014709 | S034709 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <i>Sole carbon sources:</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| D-galactose | ± | ± | + | ± | ± | + | ± | ± | ± | ± | + | + | ± | ± |
| Glucose | + | + | + | + | + | + | + | ± | ± | + | + | + | + | ± |
| Lactose | + | + | + | + | ± | ± | ± | + | + | + | + | + | + | + |
| Fructose | - | + | + | ± | - | + | + | + | - | ± | ± | ± | + | ± |
| Mannitol | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| <i>Sole nitrogen sources:</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| L-Glutathione | - | - | - | - | - | - | - | + | - | - | ± | ± | + | - |
| Casein | - | ± | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | - | - |
| L-Tryptophan | - | - | ± | - | ± | - | + | - | - | - | - | - | + | - |
| L-Cysteine | - | + | - | - | ± | - | - | - | - | - | - | + | - | - |
| L-Leucine | ± | - | - | + | ± | + | - | - | - | - | ± | - | - | - |
| <i>Grown at/in:</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| pH 11 | ± | ± | - | ± | - | ± | - | + | - | ± | ± | ± | ± | - |
| pH 9 | + | + | + | + | + | + | + | + | ± | + | + | + | ± | ± |
| pH 7 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| pH 4,5 | + | + | + | + | + | + | + | + | ± | + | + | + | + | + |
| 0,01% (W/v) NaCl | + | ± | + | ± | + | + | + | + | ± | - | + | ± | + | - |
| 1% (W/v) NaCl | ± | + | ± | + | ± | ± | + | + | - | ± | ± | + | + | + |
| 5% (W/v) NaCl | - | ± | + | + | + | ± | - | - | - | + | + | + | ± | - |
| <i>Resistance to (µg mL⁻¹)</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| Ampicillin (10) | + | + | + | + | + | + | - | + | + | + | - | + | + | + |
| Amoxicillin (25) | + | + | + | + | + | + | - | - | + | - | - | - | - | - |
| Gentamicin (10) | + | + | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Nalidixic Acid (30) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + | - | - |
| Oxidase | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + | - | - | - | + |
| Catalase | + | + | + | + | - | - | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Amylase | + | + | - | + | + | - | + | - | - | + | - | + | - | - |
| Gelatinase | + | + | - | - | - | + | - | - | - | - | + | + | - | - |
| Nodulation | ± | + | ± | ± | ± | + | ± | + | + | + | ± | + | ± | ± |
| PVK-solubilization | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| NBRIP-solubilization | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

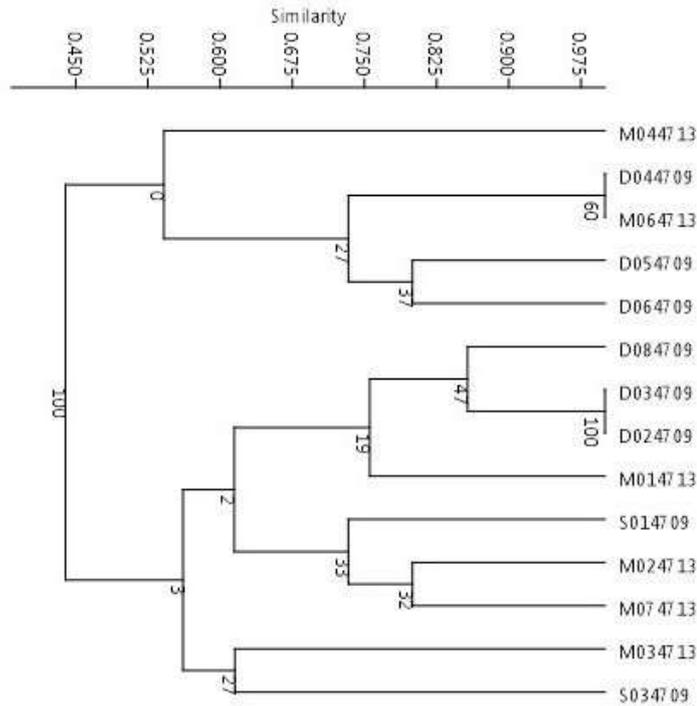


Figure 2.- Similarity analysis of isolates based on API 20E using the Bray-Curtis method according to the UPGMA algorithm, applied on Past 3.

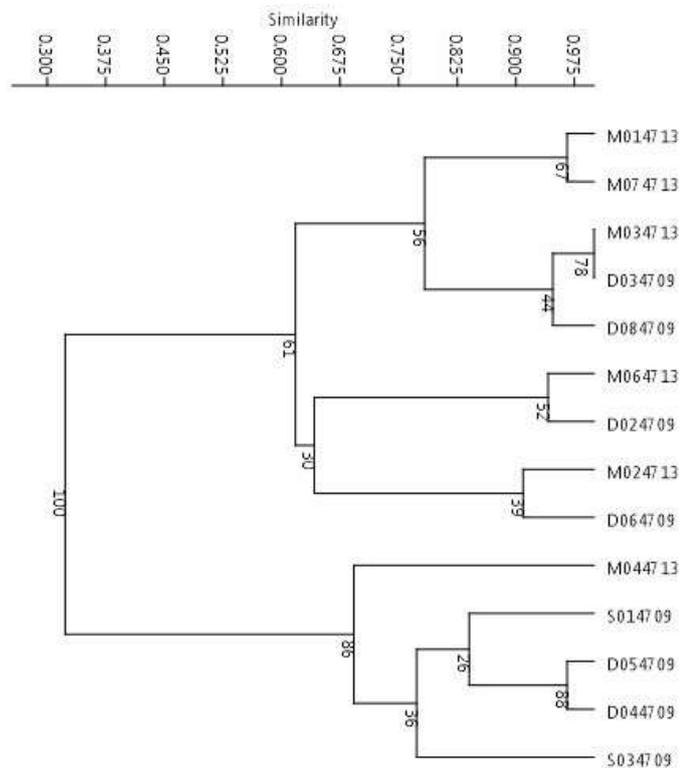


Figure 3.- Similarity analysis of isolates based on API 20NE using the Bray-Curtis method according to the UPGMA algorithm, applied on Past 3.

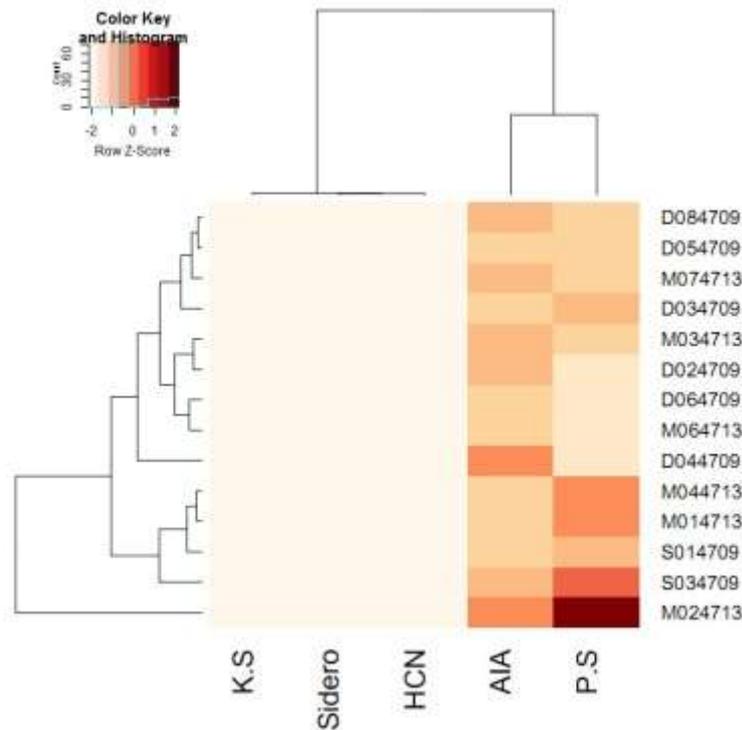


Figure 4.- Heatmap grouping the fourteen isolates based on their plant growth promotion properties, using the heatmap2 function on R 5.3.2.

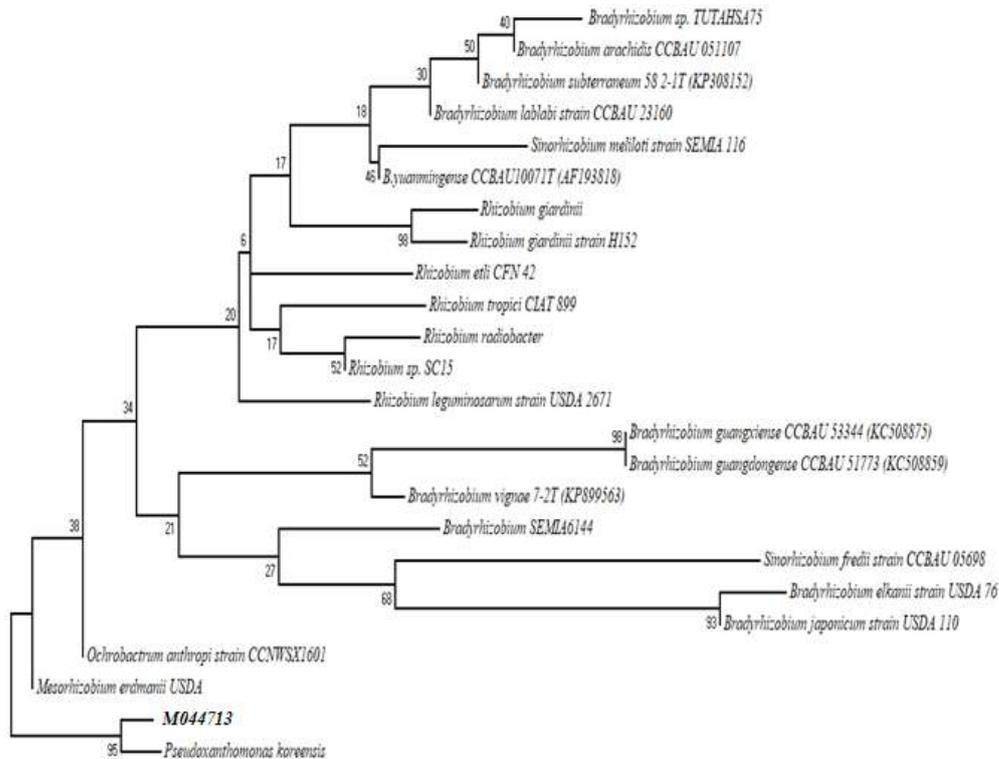


Figure 5.- Neighbor-joining phylogenetic tree based on 16S rRNA gene sequence of M04471 and most representative strains isolated from root nodules of *A. hypogaea*. Bootstrap confidence levels were derived from 1000 replications and those greater than 60% are indicated at the internodes. The bar represents two estimated substitutions per 100 nucleotide positions.

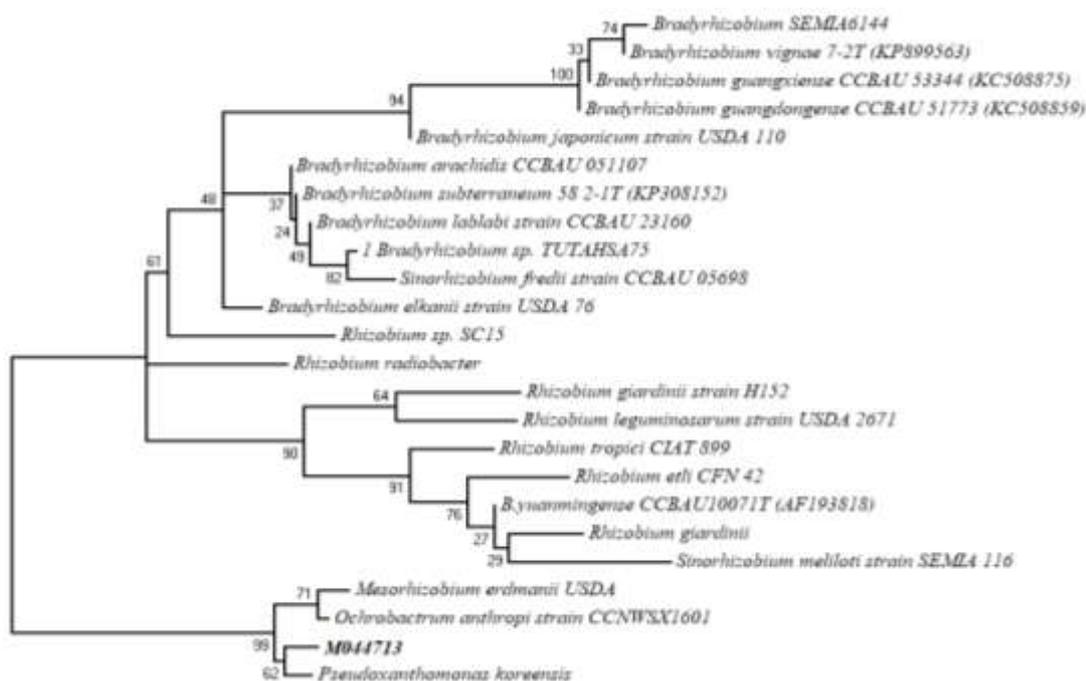


Figure 6.- Maximum Likelihood phylogenetic tree based on 16S rRNA gene sequence of M04471 and most representative strains isolated from root nodules of *A. hypogaea*. Bootstrap confidence levels were derived from 1000 replications and those greater than 60% are indicated at the internodes. The bar represents two estimated substitutions per 100 nucleotide positions

The PGPR properties tested in this work revealed that almost all rhizobial isolates could dissolve tricalcium phosphate, produced siderophores and AIA molecules. The results were, on the other hand, variable for hydrogen cyanide acid production and potassium solubilization. The use of beneficial microorganisms to increase crop yields has been reported as an ecological alternative. Plant growth-promoting bacteria (PGPR) may facilitate plant growth either indirectly or directly by several ways [47]. Phosphate Solubilizing Bacteria (PSB) are capable to convert insoluble phosphate in to soluble forms through the production of organic acids, chelates formation, exchange reaction and protons H^+ release [48,49]. Potassium Solubilizing Bacteria (KSB) can dissolve K-minerals such as mica, illite and orthoclase in the soil through the excretion of organic acids and production of capsular polysaccharide [50,51]. This minerals solubilizing making them more readily available for plant growth [52]. The PSB and KSB can be potentially useful, as an alternative solution for the problem of P and K availability in various soils and can be developed as biological fertilizers [37]. Siderophores which can sequester iron from the soil and provide it to plant cells as a siderophore–iron complex, have been also implicated in the ability of certain strains to trigger induced resistance in plants [53,54]. While phytohormones synthesis, such as AIA, can enhance or regulate various stages of plant growth [55]. Studies carried out by MARTÍNEZ-VIVEROS *et al.* (2006) had shown that AIA-producing bacteria stimulate seed germination, division, cell and tissue enlargement, leaf expansion and root elongation [56]. In this work, rhizobial bacteria showed the significant capacity of phosphate-potassium solubilizing, siderophores and phytohormone production, what makes them beneficial to promoting plant growth such as *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Flavobacterium*, *Micrococcus* and other species defined as PGPR [57].

The Identification of isolates based on API 20E and API 20NE tests developed the significant percentage of similarity with *Ochrobactrum anthropi* (96.4%) and *Rhizobium*

radiobacter (98.9%), respectively. Although they are the pathogenic strains, the two genera contain several species considered as PGPR [58,59]. Nevertheless, the molecular level of the isolate M044713, assessed through 16S rRNA sequence analysis, showed low similarity distances with *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Sinorhizobium* and *Mesorhizobium* species. Indeed, the most important distance (94.5%) was that noted with *Pseudoxanthomonas koreensis*, which is long away for considering them as related species, even though several species of *Pseudoxanthomonas* had been reported as rhizobacteria [1, 60].

Conclusion

This work is the first to report the rhizobia diversity nodulating peanut grown in Algerian sandy soils, through phenotypic and genotypic approaches. The results obtained for the fourteen isolates showed morphological and biochemical variability. All isolates presented significant capacities of PGPR, which can be utilized as bio-inoculant for improving plant growth and nodulation of legumes. The phylogenetic distribution of the isolate M044713, based on 16S rRNA sequence analysis, revealed low similarity percentages for all strains previously isolated from peanut. Although, other molecular analysis, especially, symbiotic genes nodC, 16S-23S ITS rRNA region, atpD, glnII and recA fragments need to be sequenced in order to approve the genetic affiliation of this strains collection.

Acknowledgements: The authors are thankful to Pr. N. Bouras and Miss. N. Djemoui from University of Ghardaia (Algeria), particularly, for their contribution to the molecular analysis carried in this study.

References

- [1].- Yang J. K., Xie F. L., Zou J. Zhou Q. and Zhou J. C., 2005.- Polyphasic characteristics of bradyrhizobia isolated from nodules of peanut (*Arachis hypogaea*) in China. *Soil Biology and Biochemistry*, 37:141–153.
- [2].- Kraimat M. and Bissati S., 2017.- Characterization of genotypic variability associated to the phosphorus bioavailability in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Annals of Agricultural Sciences*, 62:45–49.
- [3].- El-Akhal M. R., Rincon A., El Mourabit N., Pueyo J. J. and Barrijal S., 2009.- Phenotypic and genotypic characterizations of rhizobia isolated from root nodules of peanut (*Arachis hypogaea* L.) grown in Moroccan soils. *Journal of Basic Microbiology*, 49:415–425.
- [4].- Wissuwa M. and Ae N., 1999.- Genotypic variation for phosphorus uptake from hardly soluble iron phosphate in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) *Plant Soil*, 206:163–171.
- [5].- Oburger E., Jones D. L. and Wenzel W. W., 2010.- Phosphorus saturation and pH differentially regulate the efficiency of organic acid anion-mediated P solubilization mechanisms in soil. *Plant Soil*, 341:363–382.
- [6].- Ahmed M., Rauf M., Mukhtar Z. and Saeed N. A., 2017.- Excessive use of nitrogenous fertilizers: an unawareness causing serious threats to environment and

human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(35):26983-26987.

- [7].- Rodelas B., Gonzalez-Lopez J., Martinez-Toledo M.V., Pozo C. and Salmeron V., 1999.- Influence of *Rhizobium/Azotobacter* and *Rhizobium/Azospirillum* combined inoculation on mineral composition of faba bean (*Vicia faba* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 29:165–169.
- [8].- Okito A., Rodrigues Alves B. J., Urquiaga S. and Boddey R. M., 2004.- Nitrogen fixation by groundnut and velvet bean and residual benefit to a subsequent maize crop. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 12:1183–1190.
- [9].- Torres-Júnior C. V., Leite J., Santos C. E. R. S., Fernandes-Júnior P. I., Zilli J. E., Rumjanek N. G. and Xavier G. R., 2014.- Diversity and symbiotic performance of peanut rhizobia from Southeast region of Brazil. *African Journal of Microbiology Research*, 8(6):566–577.
- [10].- Xu L. M., Ge C., Cui Z., Li J. and Fan H., 1995.- *Bradyrhizobium liaoningense* spnov, isolated from the root nodules of soybeans. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 45:706–711.
- [11].- Chen W. X., Tan Z. Y., Gao J. L., Li Y. and Wang E. T., 1997.- *Rhizobium hainanense* spnov, isolated from tropical legumes. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 47:870–873.
- [12].- Tan Z. Y., Wang E. T., Peng G. X., Zhu M. E., Martinez-Romero E. and Chen W. X., 1999.- Characterization of bacteria isolated from wild legumes in the north-western regions of China. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 49:1457–1469.
- [13].- Peng G. X., Tan Z. Y., Wang E. T., Reinhold-Hurek B., Chen W. F. and Chen W. X., 2002.- Identification of isolates from soybean nodules in Xinjiang Region as *Sinorhizobium xinjiangense* and genetic differentiation of *S xinjiangense* from *Sinorhizobium fredii*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52:457–462.
- [14].- Van Rossum D., Schuurmans F. P., Gillis M., Muyotcha A., Van Verseveld H.W., Stouthamer A. H. and Boogerd F. C., 1995.- Genetic and phonetic analyses of *Bradyrhizobium* strains nodulating peanut (*Arachis hypogaea* L.) roots. *Applied and Environmental Microbiology*, 61:1599–1609.
- [15].- Urtz B. E. and Elkan G. H., 1996.- Genetic diversity among *Bradyrhizobium* isolates that effectively nodulate peanut (*Arachis hypogaea*). *Canadian Journal of Microbiology*, 42:1121–1130.
- [16].- Zhang X., Nick G. and Kaijalainen S., 1999.- Phylogeny and diversity of *Bradyrhizobium* strains isolated from the root nodules of peanut (*Arachis hypogaea*) in Sichuan, China. *Systematic Applied Microbiology*, 22:378–386.
- [17].- Saleena L. M., Loganathan P., Rangarajan S. and Nair S., 2001.- Genetic diversity of *Bradyrhizobium* strains isolated from *Arachis hypogaea*. *Canadian Journal of*

Microbiology, 47:118–122.

- [18].- Bogino P., Banchio E., Rinaudi L., Cerioni G., Bonfiglio C. and Giordano W., 2006.- Peanut (*Arachis hypogaea*) response to inoculation with *Bradyrhizobium* sp in soils of Argentina. *Annals of Applied Biology*, 148:207–212.
- [19].- Chang Y. L., Wang J. Y., Wang E. T., Liu H. C., Sui X. H. and Chen W. X., 2011.- *Bradyrhizobium lablabi* sp nov, isolated from effective nodules of *Lablab purpureus* and *Arachis hypogaea*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 61:2496–2502.
- [20].- Wang R., Chang Y. L., Zheng W. T., Zhang D., Zhang X. X., Sui X. H., Wang E. T., Hu J. Q., Zhang L. Y. and Chen W. X., 2013.- *Bradyrhizobium arachidis* sp nov, isolated from effective nodules of *Arachis hypogaea* grown in China. *Systematic and Applied Microbiology*, 36:101–105.
- [21].- Grönemeyer J. L., Chimwamurombe P. and Reinhold-Hurek B., 2015. *Bradyrhizobium subterraneum* sp nov, asymbiotic nitrogen-fixing bacterium from root nodules of groundnuts. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65:3241–3247.
- [22].- Li Y. H., Wang R., Zhang X. X., Young J. P. W., Wang E. T., Sui X. H. and Chen W. X., 2015.- *Bradyrhizobium guangdongense* sp nov and *Bradyrhizobium guangxiense* sp nov, isolated from effective nodules of peanut. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65:4655–4661.
- [23].- Grönemeyer J. L., Hurek T., Büniger W. and Reinhold-Hurek B., 2016.- *Bradyrhizobium vignae* sp nov, a nitrogen-fixing symbiont isolated from effective nodules of *Vigna* and *Arachis*. *Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66:62–69.
- [24].- Osei O., Abaidoo R. C., Ahiabor B. D. K., Boddey R. M. and Rouws L. F. M., 2018.- Bacteria related to *Bradyrhizobium yuanmingense* from Ghana are effective groundnut micro-symbionts. *Applied Soil Ecology*, 127:41–50.
- [25].- Santos C. E. R. S., Stamford N. P., Freitas A. D. S., Neves M. C. P., Rumjanek N. and Souto S. M., 2005.- Efetividade de rizóbios isolados de solos da região nordeste do Brasil, na fixação do N₂ em amendoim (*Arachis hypogaea*). *Acta Scietific*, 27:305–312.
- [26].- Taurian T., Ibañez F., Fabra A. and Aguilar O.M., 2006.- Genetic diversity of rhizobia nodulating *Arachis hypogaea* L. in Central Argentina soils. *Plant Soil*, 282:41-52.
- [27].- Walsh K. B., 1995.- Physiology of the legume nodule and its response to stress. *Soil Biology and Biochemistry*, 27:637–655.
- [28].- Zahran H. H., 1999.- *Rhizobium*-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in aride climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 63(4):968–989.

- [29].- Vincent J. M., 1970.- A Manual for the Practical Study of Root-Nodule Bacteria IBP Handbook No 15 Blackwell Oxford England.
- [30].- Ceccon E., Almazo-Rogel A., Martínez-Romero E. and Toledo I., 2012.- The effect of inoculation of an indigenous bacteria on the early growth of *Acacia farnesiana* in a degraded area. *Cerne*, 18:49–57.
- [31].- Wdowiak S. and Malek W., 2000.- Numerical Analysis of *Astragalus cicer* microsymbionts. *Current Microbiology*, 41:142–148.
- [32].- Smibert R. M. and Krieg N. R., 1994. Phenotypic characterization in methods for general and molecular bacteriology. American Society for Microbiology, Pp 611-651.
- [33].- Nautiyal C. S., 1997.- A method for selection and characterization of rhizosphere competent bacteria of chickpea. *Current Microbiology*, 34:12–17.
- [34].- Nautiyal C. S., 1999.- An efficient microbiological medium growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, 170:265–270.
- [35].- Prajapati K. B. and Modi H. A., 2012.- Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria from ceramic industry soil. *CIB Tech Journal of Microbiology*, 1:8–14.
- [36].- Taurian T., Soledad A. M., Angelini J.G., Tonelli M. L., Ludueña L., Pena D., Ibáñez F. and Fabra A., 2010.- Phosphate-solubilizing peanut associated bacteria:screening for plant growth-promoting activities. *Plant Soil*, 329:421–431
- [37].- Mursyida E., Mubarik N. R. and Tjahjoleksono A., 2015.- Selection and identification of phosphate-potassium solubilizing bacteria from the area around the limestone mining in Cirebon quarry. *Research Journal of Microbiology*, 10(6):270–279.
- [38].- Schwyn B. and Neilands J. ,1987.- Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical biochemistry*, 160(1):47–56.
- [39].- Louden B. C., Haarmann D. and Lynne A. M., 2011.- Use of blue agar CAS assay for siderophore detection. *Journal of Microbiology and Biology Education* 12(1):51–53.
- [40].- Bric J. M., Bostock R. M. and Silverstone S. E., 1991.- Rapid in situ assay for indoleacetic acid production by bacteria immobilized on a nitrocellulose membrane. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(2):535–538.
- [41].- Lorck H., 1948.- Production of hydrocyanic acid by bacteria. *Physiologia Plantarum*, 1(2):142–146.
- [42].- Bai H., Zhang Y., Yu H., Irfan M., Huang Y., Han M., Yang J., Liu N., Wang H. and Han X., 2019.- Phylogenetic diversity and cross-inoculation of indigenous isolated

- Bradyrhizobium* from nodules of peanut in Liaoning province of China. *Molecular Biology Research Communications*, 8(2):59–68.
- [43].- Taurian T., Aguilar O. M. and Fabra A., 2002.- Characterization of nodulating peanut rhizobia isolated from a native soil population in Córdoba Argentina. *Symbiosis*, 33:59–72.
- [44].- El-Akhal M. R., Rincón A., Arenal F., Lucas M. M., El Mourabit N., Barrijal S. and Pueyo J.J., 2008.-Genetic diversity and symbiotic efficiency of rhizobial isolates obtained from nodules of *Arachis hypogaea* in Northwestern Morocco. *Soil Biology and Biochemistry*, 40:2911–2914.
- [45].- Mahaveer P. S., Khushboo S. and Sushil K. S., 2010.- Biochemical characterization and metabolic diversity of soybean rhizobia isolated from Malwa region of Central India. *Plant Soil and Environment*, 56:375–383.
- [46].- Fiorela N., Pablo B. and Natalia N., 2012.- Genotypic analysis of isolated peanut nodulating rhizobial strains reveals differences among populations obtained from soils with different cropping histories. *Applied Soil Ecology*, 53:74–82.
- [47].- Masciarelli O. Llanes A. Luna V., 2014.- A new PGPR co-inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* enhances soybean nodulation. *Microbiological Research*, 169:609–615.
- [48].- Chen Y. P., Rekha P. D., Arun A. B., Shen F. T., Lai W. A. and Young C. C., 2006.- Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Applied Soil Ecology*, 34:33–41.
- [49].- Bashan Y. and de-Bashan L. E., 2010.- How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. *Advances in Agronomy* 108:77–136.
- [50].- Friedrich S., Platonova N. P., Karavaiko G. I., Stichel E. and Glombitza F., 1991.- Chemical and microbiological solubilization of silicates. *Acta Biotechnologica*, 11:187–196.
- [51].- Sheng X. F. and He L. Y., 2006.- Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild-type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. *Canadian Journal of Microbiology*, 52:66–72.
- [52].- Bashan Y., Kamnev A. A. and de-Bashan L. E., 2013.- Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: A proposal for an alternative procedure. *Biology and Fertility of Soils*, 49:465–479.
- [53].- Duffy B. K. and Defago G., 1999.- Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strains. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(6):2429–2438.
- [54].- Glick B., Cheng Z., Czarny J. and Duan J., 2007.- Promotion of plant growth by ACC deaminase-containing soil bacteria. *European Journal of Plant Pathology*,

119:329–339.

- [55].- Martínez-Viveros O., Jorquera M., Crowley D., Gajardo G. and Mor M., 2010.- Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3):293–319.
- [56].- Son H. J., Park G. T., Cha M. S. and Heo M. S., 2006.- Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel salt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere. *Bioresource Technology*, 97:204–210.
- [57].- Ngom A., Nakagawa Y., Sawada H., Tsukahara J., Wakabayashi S., Uchiumi T., Higashi S. and Abe M., 2004.- A novel symbiotic nitrogen-fixing member of the *Ochrobactrum clade* isolated from root nodules of *Acacia mangium*. *Journal of Applied Microbiology*, 50(1):17–27.
- [58].- Velázquez E., Peix A., Zurdo-Piñero J. L., Palomo J. L., Mateos P. F., Rivas R., Muñoz-Adelantado E., Toro N., García-Benavides P. and Martínez-Molina E., 2005.- The coexistence of symbiosis and pathogenicity-determining genes in *Rhizobium rhizogenes* strains enables them to induce nodules and tumors or hairy roots in plants. *Molecular Plant-microbe interactions*, 18(12):1325–1332.
- [59].- Yang D. C., Im W. T., Kim M. K. and Lee S. T., 2005.- *Pseudoxanthomonas koreensis* sp nov and *Pseudoxanthomonas daejeonensis* sp nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(2):787–791.
- [60].- Egamberdieva D., Shrivastava S. and Varma A., 2015.- Plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants. *Springer*, 81(4):71-129.

SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF STEPPIC LANDSCAPES: DJEBEL YOUSSEF - SETIF (ALGERIA)

HANANE Gharbi and SABAH Chermat

Ferhat Abbas Setif₁ university, Urban Town Project Laboratory (L.P.U.V.T.), Sétif, Algeria

E-mail: hanen.gharbi06@gmail.com

(Received 12 November 2020 - Accepted 17 June 2021)

Abstract.- *Djebel Youssef, who possesses particular characteristics in terms of geographical isolation in the high Setifian plains, contains a very important floristic diversity. Currently, its plant formations were entering a phase of intense and continuous degradation, causing great disruption of the plant cover with the regression and disappearance of vulnerable and endemic species. This degradation is mainly due to anthropic action and climatic conditions, particularly recurrent periods of drought. In order to preserve and protect this ecosystem, spatio-temporal monitoring of vegetation evolution was applied by using of Landsat satellite images (TM 5 and OLI 8), forming several study scenes. Knowledge of vegetation distribution and dynamics allows detecting changes in the state of vegetation cover over a 10-years period, using remote sensing and geographic information system (SIG) data. The recorded regression was estimated at 2,21 %.*

Key words: *Djebel Youssef, spatio-temporal dynamics, regression, NDVI.*

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPOREL DES PAYSAGES STEPPIQUES: DJEBEL YOUSSEF-SETIF (ALGERIE)

Résumé.- *Djebel Youssef, qui possède des caractéristiques particulières en matière d'isolement géographique dans les Hautes Plaines Sétifiennes, renferme une diversité floristique très importante. Actuellement ses formations végétales entraînent dans une phase de dégradation intense et continue, entraînant une grande perturbation du tapis végétal avec la régression et la disparition des espèces vulnérables et endémiques. Cette dégradation est due essentiellement à l'action anthropique et les conditions climatiques, notamment des périodes de sécheresse récurrentes. Afin de préserver et protéger cet écosystème, des suivies spatio-temporelle de l'évolution de la végétation ont été appliquées par l'utilisation des images satellites de type Landsat (TM 5 et OLI8), formant plusieurs scènes d'étude. La connaissance de la répartition et de la dynamique de végétation a permis de détecter les changements du couvert végétal sur une période de 10 ans, à l'aide des données de la télédétection et de système d'information géographique (SIG). La régression enregistrée a été estimée à 2,21%.*

Mots clés : *djebel Youssef, dynamique spatio-temporelle, régression, NDVI*

Introduction

The phenomenon of degradation is already perceived in Algeria, according to CHERMAT *et al.* (2016) [1], the mountain ranges of the Setifian High Plains face problems of degradation and loss of their biological resources, including the results of the diachronic study of the last decade, show a trend towards a significant qualitative and quantitative decline in vegetation cover.

In djebel Youssef the steppic vegetation, under the effect of the strong anthropogenic pressure and climatic hazards, knows a notorious modification of its floristic composition.

Anthropogenic disturbances are largely responsible for the current state of vegetation structures in the Maghreb [2]. The natural vegetation cover is permanently subjected to a double impact, that of the soils (too dry and light) and the climate (low precipitation) and that of the actions of man and his animals [3].

Important mapping works on vegetation degradation in Algeria: mountains of Tessala [4], Telagh [5], massif El Ouahch [6], massif of Aures [7], mountains of Beni-Chougrane [8], the high plains of Oran [9].

The Algerian steppe is an arid ecosystem characterized by limited natural resources, poor soil, low and open plant formations and severe climatic conditions [10].

The phenomenon of degradation of steppic ecosystems is not recent and has been reported by several authors in North-Western Algeria by AIDOU *et al.*, (2006); AIDOU and TOUFFET (1996); BENABADJI *et al.* (2009) and BENSLIMANE *et al.*, (2008) [11-14]. In north-eastern Algeria and during the last two decades, the only study conducted so far on the vegetation of djebel Youssef and carried out by CHERMAT (2013) [15] by determining the levels of degradation of the vegetation cover and reporting particularly rapid and intense changes in this ecosystem. To complete this phytodynamic study, we suggested studying, for the first time, the vegetation by the cartographic method.

The degradation of the vegetation in this massif is mainly due to anthropic action and very constraining climatic conditions, especially the recurrent periods of drought lasting more than 5 months.

The objective is to show the potential of using remote sensing to know the state of the vegetation cover and its spatio-temporal evolution from a diachronic study of Landsat images from 2010 to 2019.

To cover this study our methodological approach consists in: i) classifying the NDVI (supervised classification) of the acquired images, ii) detect changes in vegetation cover over the three periods: 2010-2013, 2013-2017 and 2017-2019.

All the data obtained during this work will be organized in a geographic database. This database will provide decision-makers and managers with complete and accurate information for the management and protection of the natural resources of the high plains. [16].

1.- Material and methods

1.1.- Presentation of the study area

To the North-East Algerian, the sector studied is between latitude North $36^{\circ} - 36^{\circ}27'$ and longitude East $5^{\circ}23' - 5^{\circ}29'$. It belongs administratively to the daïra of Ain - Oulmene, (Setif wilaya). It stretches about 10 km from east to west. It rises to about 1440 m (fig. 1). To the north, it is bordered by a vast plain traversed, by the oued Guedjel and the oued Ben diab. To the east, it is limited by the Gueta djebel and sebkhet Bazer, to the south are the saline depressions of sebkhet El hamiet and chott El Fraïn as well as the Sekrine djebel, to the west it is limited by sebkhet Melloul. They belong to the South-Setian allochthonous group. All the formations are of different ages: Barrémian, Jurassic and Lower Cretaceous [15]. This Tertiary era massif is geologically homogeneous with

poorly evolved, skeletal soils that are very poor in nutrients. It is mostly brown calcareous soils [17].

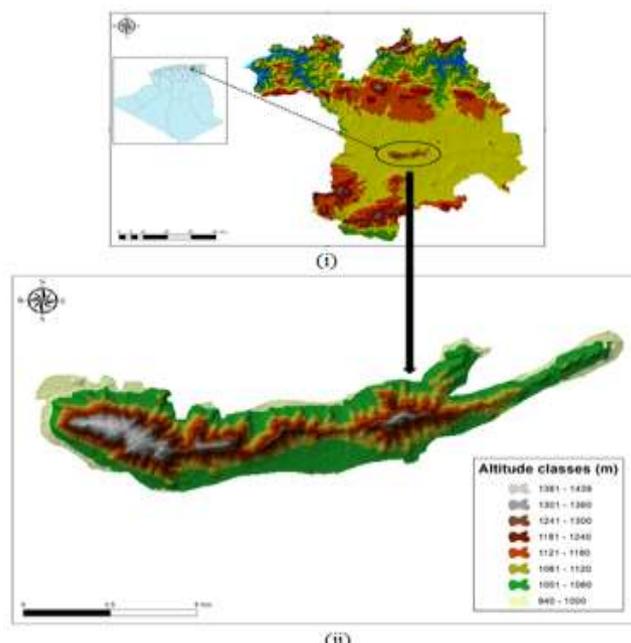


Figure 1.- (i)- Location of the site operated in the semi-arid steppe of djebel Youssef.
(ii) -The altitude classes of djebel Youssef

1.2.- Methodology

Among the different types of sensors available, we have chosen LANDSAT for the acquisition of satellite images since it is the oldest and has a large archive of images over a long period (more than 34 years).

In order to carry out a diachronic study of the vegetation in any region, it is necessary to choose the date of the image taking, because of the variation of the ground conditions during the seasons of the year. For the choice of the optimal date of the image it is necessary to obtain a cloud-free and overlapping image and to recognize all the elements of the terrain avoiding confusion between vegetation due to annual herbaceous plants that can cause confusion with woody plants during the growing season. We opted for the period from March to June [16].

Lighting and atmospheric attenuation conditions are highly variable in time and space. The images therefore necessarily require atmospheric corrections in order to homogenize the multispectral data [18]. The principle of atmospheric correction of an image is to convert the numerical values (in gray level) of the scene into luminance values and then to extract the atmospheric disturbing effects which give a physical measure of the reflectance at the level of the targeted surface [19].

The atmospheric correction is followed by the application of the mask which consists in hiding a part of the image which has no interest and that could affect the results of final classifications. A mask may be radiometric or geometric. In a geometric mask, a geographical space on the image is eliminated. To do this, a geometric cut-out has been performed on the image by digitizing the geographical boundaries of the study area. It's the geographical masking [7].

There are different indices associated with the intensity of green allow the study and observation of changes in vegetation cover using satellite images. Among all these indices, the normalized vegetation index NDVI was chosen for the calculation of the NDVI [20]. The value of this indicator of the chlorophyll activity of the vegetation is between -1 and +1 and is calculated from two spectral bands, the infrared IR and the red R according to the following expression:

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R). \quad (1)$$

Generally, an open water surface (ocean, lake,) takes NDVI values close to 0, bare soil takes values from 0.1 to 0.2, while dense vegetation takes values from 0.5 to 0.8. [16].

The NDVI classification allows the image to be classified, according to the NDVI value, into two distinct thematic classes: vegetation and non-vegetation. There are two methods of classifying images: unsupervised and supervised classification. In our case, we chose the supervised classification, which is based on the identification of fairly homogeneous samples of the image that are representative of both types of surfaces (vegetation and non-vegetated). These samples form a set of test data. The selection of these test data is based on the knowledge of the djebel Youssef region and the types of surfaces present in the image. We therefore supervise the classification of a specific set of classes. Numerical information for each band and for each pixel of these sets is used to define classes and then recognize regions with similar properties to each class. Classification remains the most critical and complex step to be carried out, as the accuracy of the results depends on it. The greatest difficulty consists in choosing the test data that are samples of each thematic class. For this reason, at each step of the classification process a preview of the result is analyzed, allowing a follow-up throughout the classification process [6]. In the supervised classification of NDVI, three classes were selected: Clear vegetation; dense vegetation; Non-vegetated.

After classification, the change between the selected dates is detected. This process makes it possible to detect the slightest change in class, between two images classified at different dates. The images obtained illustrate, both spatially and quantitatively, the significant changes in vegetation over time in the study region [6]. Possible changes can be a progression, regression, stability of the vegetation cover or an increase or decrease in density.

The final phase consists in making synthesis maps of vegetation changes over the 10 years.

1.3.- Material used

1.3.1.- Satellite images

Scenes from Landsat 5 TM and Landsat OLI 8 (Operational Land Imager) images with 30m spatial resolution, downloaded from earthexplorer.usgs.gov, were used [21].

1.3.2.- Processing software

- Remote Sensing Software (ENVI 5.1) for Image Processing.
- Geographic information system (ArcGIS 10.1) for the mapping part and creation of the geographic database.

-The Google Earth software for the confirmation of the results.

2.- Results and discussions

2.1.- Type and date of satellite images used for the diachronic study of vegetation

Between 2010 and 2019, for the djebel Youssef, we counted 182 LANDSAT scenes. After consultation of the images and elimination of those containing cloud cover, only 59 have shooting dates during the period from March to June. Out of the 59 available dates, we have chosen the earliest date of 22/06/2010 and the most recent of 15/06/2019. For more precision in monitoring the evolution of the vegetation over time, intermediate dates have been chosen. Depending on the availability of the scenes, two intermediate dates have been chosen, 14/06/2013 and 23/03/2017 [16].

2.2.- Evolution of the vegetation of djebel Youssef between 2010 and 2019

The study period was subdivided into three periods: 2010-2013, 2013-2017 and 2017-2019 For a detailed follow-up of the evolution of the vegetation of djebel Youssef.

2.3.- Evolution of vegetation between 2010 and 2013

From 2010 to 2013, djebel Youssef showed a negative balance with a loss of area equivalent to 48.39 ha or 1.23% of vegetation, this regression concerns primarily the north-western, western and southern parts of the northern slope with some spots in the southern slope and the center. During the same period, the areas of progression represent an estimated area of 5.94 ha (fig. 2). The areas where an increase in vegetation density has been recorded are in the majority, they occupy an area of 284.64 ha (7.24%). On the other hand, the decrease in density concerns only 5.05 ha.

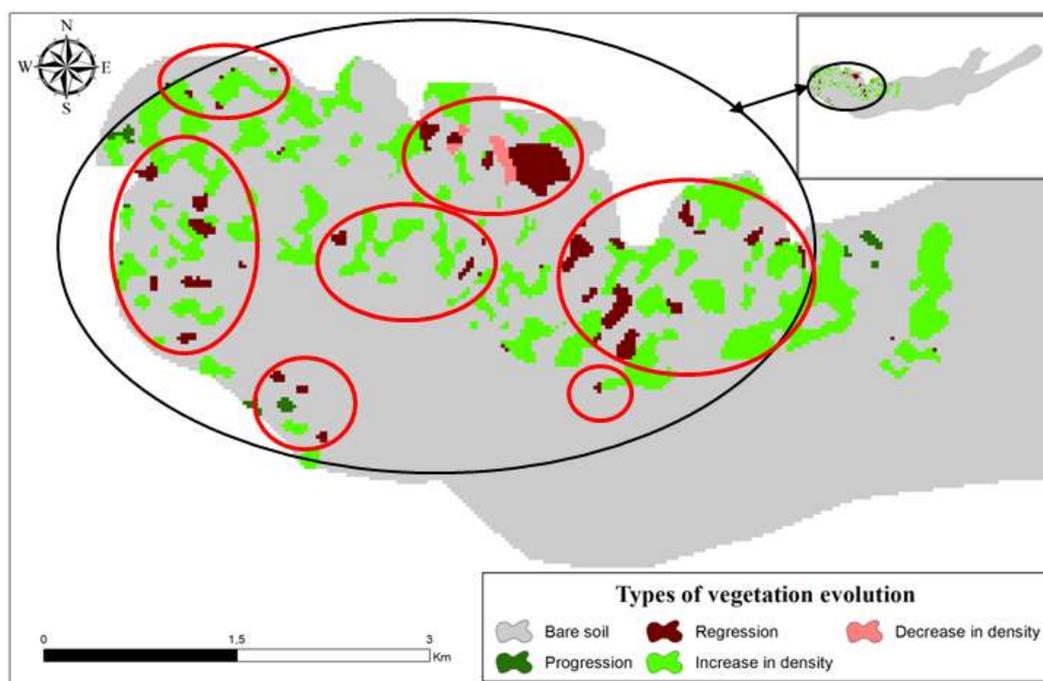


Figure 2.- Stages in the study of the evolution of vegetation at djebel Youssef

2.3.- Evolution of vegetation between 2013 and 2017

During the 3 years, 169.68 ha (4.31%) underwent a decrease in density. This decrease was observed in the northern, western, southern and south-western parts of the northern slopes of the massif (fig. 3). At the same time, 21.81ha recorded a loss of vegetation especially in the southern part of the northern slope and in the center, while the areas of progression represent only a negligible value estimated at 5.68 ha or 0.14%.

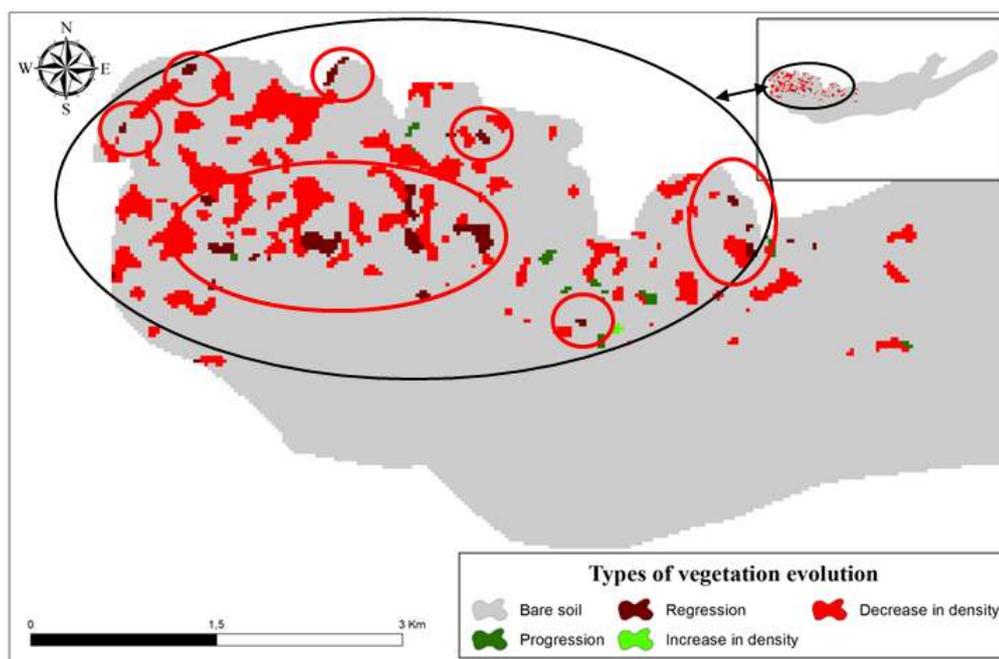


Figure 3.- Regressive evolution of vegetation between 2010 and 2013.

2.4.- Evolution of vegetation between 2017 and 2019

After analysis of figure 4, it can be seen that between 2017 and 2019, djebel Youssef shows a rather negative balance with an estimated lost surface area of 44.21 ha or 1.12%, particularly in the western part of the northern slope and spreading towards the south-western part of the southern slope of djebel Youssef. This regression is essentially due to human action, especially the grazing of livestock that consume the wooded steppes on the southern slope, such as mugwort and esparto grass. An increase equivalent to 13.53 ha was recorded, mainly due to reforestation.

In terms of vegetation density, the increase concerned an area of 48.21 ha, while the loss concerned 0.81% or 81.8 ha.

2.5.- Evolution of vegetation between 2010 and 2019

Figure 5 shows the changes in vegetation in djebel Youssef between 2010 and 2019. During this period, vegetation increased by 5.04 ha (0.13%) and recorded a loss of 91.88 ha or 2.34%. This loss was observed in the northwestern, western and southwestern part of the North Slope and in the southwestern part of the South Slope with a few spots in the center. The overall balance of vegetation regression between 2010 and 2019 is 86.84 ha of the total area of the massif.

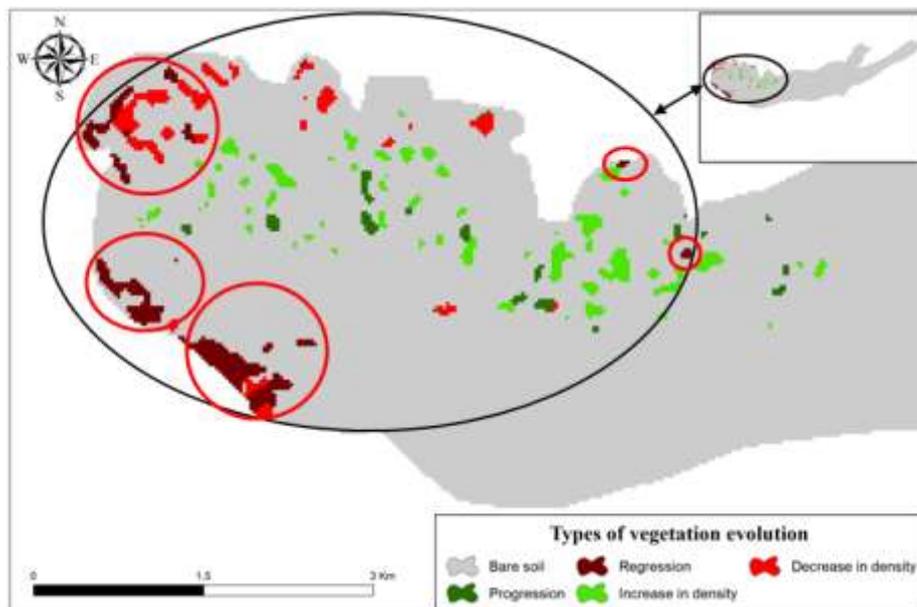


Figure 4.- Regressive evolution of vegetation between 2013 and 2017.

Concerning the evolution of vegetation density, an increase in density of 157.66 ha (4.01%) was observed, while the decrease represents only 0.69% or 27 ha of the total area.

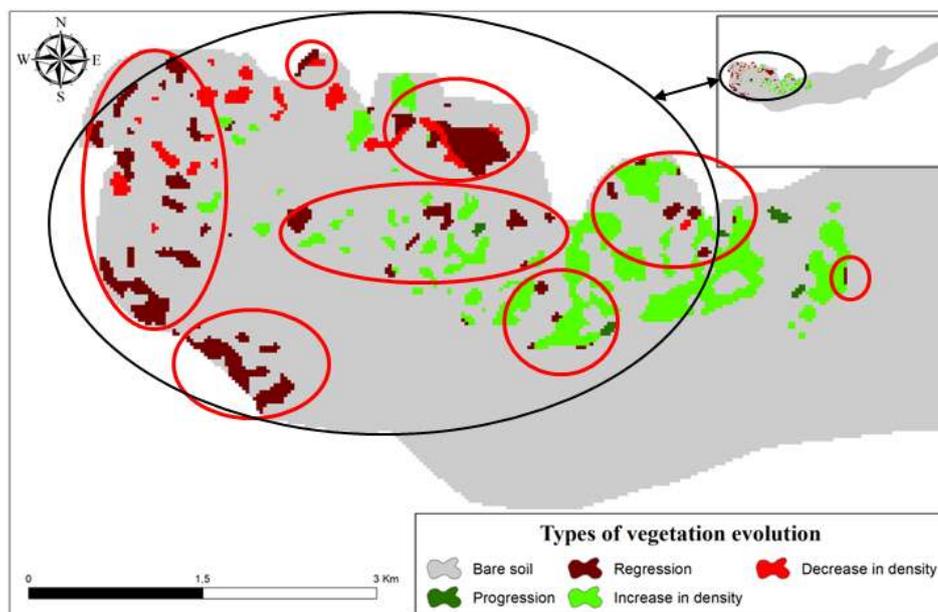


Figure 5.- Regressive evolution of vegetation between 2017 and 2019.

2.6.- Global synthesis of the evolution of vegetation in djebel Youssef

After analyzing the maps, we see that the largest regression concerns the period 2010-2013. During the same period, the greatest increase in density is recorded then there is a slowdown between 2013-2017, which records the lowest average regression and the largest decrease in density. The largest increase was recorded between 2017 and 2019.

The regression of the vegetation is mainly due to anthropic action, particularly grazing, fires and the presence of quarries, which lead to an increase in dust content which, in turn, covers the leaves of the trees and prevents them from breathing. This anthropogenic action is aggravated by very constraining climatic conditions, particularly recurring periods of drought, wind action, especially sirocco, water erosion and parasitic attacks such as the pine processionary caterpillar.

Conclusion

The diachronic study of the evolution of vegetation in djebel Youssef shows that during the period from 2010 to 2019, the vegetation cover increased by 5.04 ha in the northern and central part of the northern slope. In return for this increase, losses amounted to 91.88 ha, particularly in the northwest, west and southwest parts of the north slope and in the southwest part of the south slope. The overall result for this period is alarming in accordance with the results of CHERMAT (2013) [15], highlighting the impact of human action and climate change.

The cartographic base set up constitutes a management tool for the conservation units and for monitoring the evolution of plant cover and land use. Coupled with geographic information systems (GIS), remote sensing appears to be an effective tool to be made available to managers. The work carried out constitutes a first approach; its objective is to monitor the evolution of the plant cover. This study has shown the possibilities of analysis of the dynamics of the vegetation cover in the djebel Youssef . We hope, through this work, to have shown the state of the regressive evolution of the vegetation, from the point of view of extent and density, in the massif and to have emphasized the main factors responsible for it, for a better management of these problems [16].

In terms of perspectives, it would be better to use very high-resolution satellite images for a more detailed monitoring of the regression of the vegetation cover of djebel Youssef.

To protect this fragile and threatened steppe ecosystem, it is urgent to establish an adequate management plan to better control the antropozoic action, to finance and increase reforestation operations, in particular with species better adapted to climatic conditions, in particular to the impact of the dry season.

References

- [1].- Chermat S., Gharzouli R. et Djellouli Y., 2016.- Phytodynamique des groupements steppiques de djebel Zdim en Algérie nord-orientale. *Ecologia Mediterranea*, vol 42 (1): 51-63.
- [2].- Quezel P. et Barbero M., 1993.- Variations climatiques au Sahara et en Afrique sèche depuis le Pliocène: enseignements de la flore et de la végétation actuelles. *Bull. Ecol*, 24: 191-202.
- [3].- Floret C., 1981.- The effects of protection on steppic vegetation in the Mediterranean arid zone of southern Tunisia. *Vegetatio* 46: 117-129.
- [4].- Bouiadjra S. B., El Zerey W. et Benbdeli K., 2011.- Etude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection

- spatiale : cas des monts du Tessala (Algérie occidentale). Géographie physique et environnement, vol. 5: 211-225.
- [5].- El Zerey W., 2014.- Etude diachronique de la régression du couvert forestier de la plaine de Telagh (Algérie) : approche par télédétection et SIG. Sciences de la Vie, n° 36: 25-31.
- [6].- Bouzenzana L., 2015.- Etude diachronique de la régression de la végétation forestière par télédétection dans le massif de djebel El Ouahch (Constantine). Mémoire de master, université des Frères Mentouri, Constantine, 46p.
- [7].- Bouzahzah R. et Maafi N., 2018.- Etude diachronique par télédétection des massifs forestiers des Aurès. Mémoire de master, Université des Frères Mentouri, Constantine, 62p.
- [8].- Souidi Z., Hamimed A. et Donze F. V., 2014.- Cartographie du risque de dégradation des terres en région semi-aride. Cas des monts de Beni-Chougrane dans le tell occidental algérien. Géo-Eco-Trop 38(1) : 85-102.
- [9].- Manière R. et Chamignon C., 1986.- Cartographie de l'occupation des terres en zone aride méditerranéenne par télédétection spatiale. Exemple d'application sur les Hauts-Plateaux sud oranais: Méchéria au 1/200000e. Ecologia Mediterranea / Année 1986 / 12-1-2/ : 159-185.
- [10].- El Zerey W., Boudjra S. B., Benslimane M. et Mederbal K., 2009.- L'écosystème steppique face à la désertification: cas de la région d'El Bayadh, Algérie. Vertigo, , vol. 9 n. 2: 1-13.
- [11].- Aidoud A., Le Floc'H. E. et Le Houerou H. N., 2006.- Les steppes arides du Nord de l'Afrique. Sécheresse 17 (1-2): 19-30.
- [12].- Aidoud A. et Touffet J., 1996.- La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima*), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. Sécheresse 7(3): 187-193.
- [13].- Benabadji N., Aboura R. et Benchouk F. Z., 2009.- La régression des steppes méditerranéennes : le cas d'un faciès à *Lygeum spartum* L. d'Oranie (Algérie). Ecologia mediterranea, vol 35 :75-90.
- [14].- Benslimane M., Hamimed A., El Zerey W., Khldi A. et Mederbal K., 2008.- Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord». Vertigo- la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 8 n° 3: 1-9.
- [15].- Chermat S., 2013.- Etude phytosociologique et pastorale des djebels Youssef et Zdimm (Hautes plaines Sétifiennes). Thèse de doctorat, université Ferhat Abbas Sétif1, 264p.
- [16].- Gharbi H. et Meziani M., 2019.- Etude diachronique de la végétation au niveau du parc national de Chréa (Algérie). Mémoire de master, Université des Frères Mentouri, Constantine 1, 54p.

- [17].- Chermat S., Djellouli Y. et Gharzouli R., 2012.- Dynamique régressive de la végétation Des hautes plaines sétifiennes: érosion de la diversité floristique de djebel Youssef (Algérie). *Terre Vie*, vol 67: 85-100.
- [18].- Harkat H. et Khelifi F., 2017.- Contribution de la Télédétection à la Réalisation de la Carte de Végétation dans le Parc National de Theniet El Had (Conton Sidi Abdoun). Mémoire de master, Université de Djilali Bounaama, Khemis Miliana, 79p.
- [19].- Abdelbaki A., 2012.- Utilisation des SIG et télédétection dans l'étude de la dynamique du couvert végétal dans le sous bassin versant d'oued Bouguedfine (Wilaya de Chlef). Mémoire de magister, université Hassiba Ben Bouali, Chlef, 110p.
- [20].- Razagui A. et Bachari N. E. I., 2014.- Analyse spatio-temporelle de l'indice de végétation NDVI calculé à partir des images satellites NOAA et MSG. *Revue des Energies Renouvelables*, vol 17, n°3: 497-506.
- [21].- Arouna O., Etene C. G. et Issaiko D., 2016.- Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Benin. *Journal of Applied Biosciences* 108 : 10531-10542.

PROLIFERATION AND ROOTING TESTS OF *Prunus avium* ROOT SEGMENTS CUTTINGS: EFFECT OF AUXIN AND CUTTING DATE

JDAIDI Nouri*, ALOUI Foued, SELMI Houcine et CHABAANE Abees
 University of Jendouba, Institut Sylvo-Pastoral of Tabarka, 8110, Tabarka, Tunisia
 E-mail: jdaidi.nouri25@gmail.com

(Received 23 December 2020 - Accepted 29 June 2021)

Abstract.- *Prunus avium* (Rosaceae) is a component of biodiversity in forest ecosystems: its fruits are eaten by many birds and its early flowering gives it a high aesthetic value. In northwestern Tunisia, *Prunus avium* is a species exploited as a rootstock for cherry trees and as wood for cabinet making by local populations. The natural stands, which have been steadily decreasing for several decades, are threatened by various anthropic pressures, which are increasingly strong, reducing the species' natural regeneration capacity. The natural renewal of the wild cherry ecosystem in Tunisia is difficult, which makes it possible to advance the techniques of artificial vegetative propagation to improve the distribution of this species. The present study focuses on the production potential of rooted seedlings from root segment cuttings. The study shows that this type of cuttings is significantly influenced by the sampling date and the use of a growth hormone (IBA). The best results (60% rooting), were obtained for the January cutting and 50 mg/l of IBA. Rooting of 10% of the cuttings was achieved in the absence of the AIB treatment for the in month of January.

Key words: *Prunus avium*, AIB, root segment cuttings, cutting date, Tunisia.

ESSAIS DE PROLIFERATION ET D'ENRACINEMENT DU BOUTURAGE DE SEGMENTS DE RACINES DE *Prunus avium*: EFFET DE L'AUXINE ET LA DATE DE BOUTURAGE

Résumé.- *Prunus avium* (Rosaceae) est une composante de la biodiversité dans les écosystèmes forestiers. Ses fruits sont consommés par de nombreux oiseaux et sa floraison précoce lui confère une grande valeur esthétique. Au nord-ouest tunisien, *Prunus avium* une espèce exploitée comme porte-greffe pour le cerisier et comme bois pour l'ébénisterie par les populations locales. Les peuplements naturels, en constante diminution depuis quelques dizaines d'années, sont menacés par diverses pressions anthropiques, de plus en plus fortes, réduisant les capacités de régénération naturelle de l'espèce. Le renouvellement naturel d'écosystème merisier en Tunisie est difficile ce qui permet de faire progresser les techniques de multiplication végétative artificielle pour améliorer la répartition de cette espèce. La présente étude porte sur les potentialités de production de production des plants enracinés à partir des boutures de segments de racines. L'étude montre que ce type de bouturage est sensiblement influencé par la date de prélèvement et l'utilisation d'une hormone de croissance (AIB). Les meilleurs résultats (60% d'enracinement), ont été obtenus pour le bouturage Janvier et 50 mg/l d'AIB. Un enracinement de 10% des boutures a été obtenu en absence du traitement d'AIB pour le mois de Janvier.

Mots clés : *Prunus avium*, AIB, bouturage de segments de racines, date de bouturage, Tunisie.

Introduction

Yellow birch is a fast growing semi-shade species [1]. According to Thibaut et al (2009) [2], this species requires a good mineral content combined with a good water supply.

In Tunisia, this species is adapted to the humid climate. The species is found at medium altitudes up to 620 m. The cherry tree can withstand temperatures ranging from

3°C to -2°C. It can withstand average annual temperatures of over 13°C.

This species requires a relatively average rainfall of around 750 to 1200 mm per year. It is very sensitive to summer drought [3]. *Prunus avium* is a highly endangered species despite its importance as a timber, which is highly valued in sawing, cabinet making and even veneering. It is also of great agronomic interest because of its use as a cherry rootstock, and is of great interest to cherry growers [4]. Natural regeneration of seedlings is currently very low or even absent because the seeds are characterized by embryonic and integumentary dormancy. The number of seed trees is very low in northwest Tunisia. Young seedlings from seedlings and suckers are systematically used by the local population as rootstocks for cherry [3]. In order to better protect and restore these cherry trees, it is very useful to have a thorough knowledge of the mechanisms of vegetative propagation by cuttings of the root segments of this species. This propagation technique is the best adopted method for producing true genetic copies of the original mother tree with the same wood and fruit qualities.

In this context, it seemed interesting to us to undertake a study on the influence of the date of cutting and the concentration of IBA on the development of the aerial part and the root formation of cuttings of cherry root segments in northwestern Tunisia.

1.- Material and methods

1.1.- Plant material

The root segment cuttings used in this work were taken from mature trees located in the locality of Ain Saida in Ain Draham (N36°52'25"; E008°41'47"). The latter, located in the northwest of Tunisia, belongs to the humid bioclimatic stage.

1.1.2.- Methodology taking of cuttings

The root segment cuttings were taken from young, healthy and vigorous trees. To study the influence of the date of cutting on the development of the aerial and root parts, two harvest dates were chosen, with a three-month interval between them (09 September 2019 and 07 January 2020).

A total of 200 root fragments of 15 cm length and 2 to 3 cm diameter, at a depth of 20 cm from the secondary roots of cherry trees were taken (100 cuttings per sampling date). As soon as they were taken in the Ain Saida forest, the cuttings were placed in black polyethylene bags containing cotton impregnated with water to prevent the plant material from drying out and taken to the laboratory of the Institut Sylvo-pastoral in Tabarka.

1.1.3.- Preparation of cuttings

In the laboratory of the Institut Sylvo-Pastoral in Tabarka, during each sampling date, the root segment cuttings were then treated with different concentrations of Indole Butyric Acid (IBA). The soaking in IBA was for 24 hours at an immersion height of about 7 cm. Furthermore, to study the effect of auxin on the root formation of cuttings from birch root segments, different concentrations of IBA was used for each date: 10 mg/l (T₂), 50 mg/l (T₃) and 90 mg/l (T₄). A control (T₁) without IBA was also carried out.

This greenhouse is shaded at 80% during the spring and summer period. The experimental set-up is a randomized block design with four replicates, each type of treatment and each sampling date consisting of 20 cuttings.

1.1.4.- The parameters studied

Based on daily observations of aerial development and root formation of cuttings, we determined the percentage of dedication, survival rate, average height growth, average number of roots per cutting and average root length. The different length and diameter measurements were made with a ruler and a caliper with an accuracy of 1/100 cm.

1.2.- Statistical analysis

To determine the effect of the date of cutting and the concentration of IBA on the development of the aerial part and the root formation of birch root segment cuttings, we performed a Tukey's LSD test using the XLSTAT 2020 software.

2.- Results and discussion

2.1.- Influence of cutting date and IBA on dedication and survival rate

A significant interaction ($P < 0.001$) was noted between the percentage of bud break, survival rate, IBA concentration and date of cutting. For the September cutting, the percentage of dedication after 25 days varies from 50% and 70% for both concentrations 50 mg/l and 90 mg/l. The bud break rate decreased in the absence of the IBA as well as in the case of 10 mg/l IBA, respectively 10% and 30% (fig. 1). During the second cutting date (January), the bud break rate varied from 90 to 100% after 18 days for the two concentrations 50 mg/l and 90 mg/l, respectively and from 30 to 50% for the control and 10 mg/l respectively (fig. 1).

During the period from the end of August to the end of November (first sampling date), this species is in a state of total dormancy, with total leaf drop and growth arrest. The recovery of the rooting water conditions, by the carbonate reserves contained in the roots of the cherry tree during the winter period (second sampling date).

The survival rate is influenced by the date of cutting and the concentration of IBA. The survival rate varies from 5% (control) to 45% (90 mg/l) for the September cuttings and from 20% (control) to 70% (90 mg/l) for the January cuttings (fig. 1).

The most favorable IBA concentrations for bud break and cuttings survival are 50 mg/l and 90 mg/l, respectively for the two cutting dates of September and January.

As for the effect of IBA on bud break and survival of cuttings, the results of our work do not confirm those of ANTUNES *et al.* (2001) [5] and KARADENIZ (2001) [6] who found that this product, an auxin derivative, can become harmful and negatively affect the recovery of cuttings when applied at high doses.

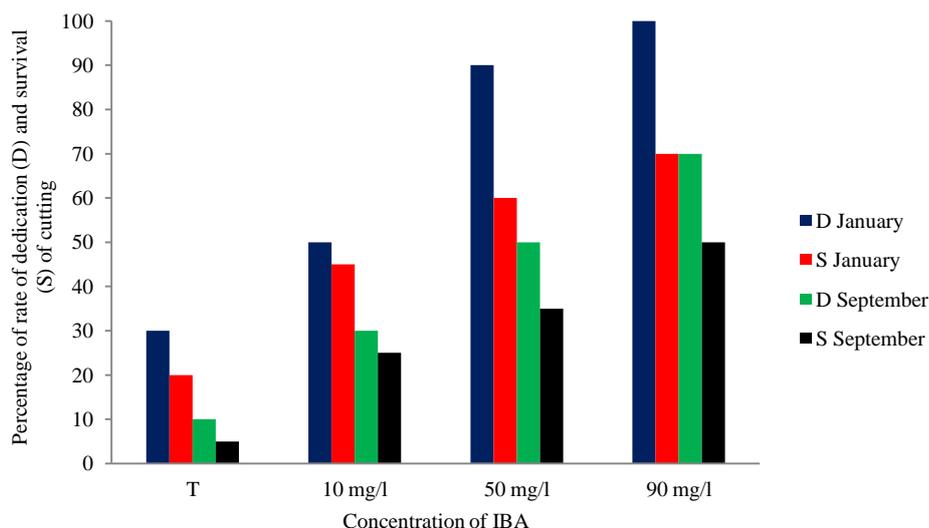


Figure 1.- Influence of cutting date and IBA concentration on the percentage of dedication and survival rate

2.2.-Influence of cutting date and IBA concentration on the growth of the aerial part

Statistical analyses of variance (ANOVA) shows that the average number of leaves is influenced ($P < 0.001$) by the date of cutting after 180 days. The January cuttings gave the maximum number of leaves. On the other hand, the results of the statistical analyses show no significant effect on the number of leaves per cutting at different IBA concentrations.

Figure 2 shows that the maximum number of leaves is observed for the January cutting at concentrations of 50 mg/l and 90 mg/l, respectively 20 and 23 leaves per plant after 180 days of the experiment. In fact, the average number of leaves per plant does not exceed 13 for the September cutting at a concentration of 90 mg/l of IBA.

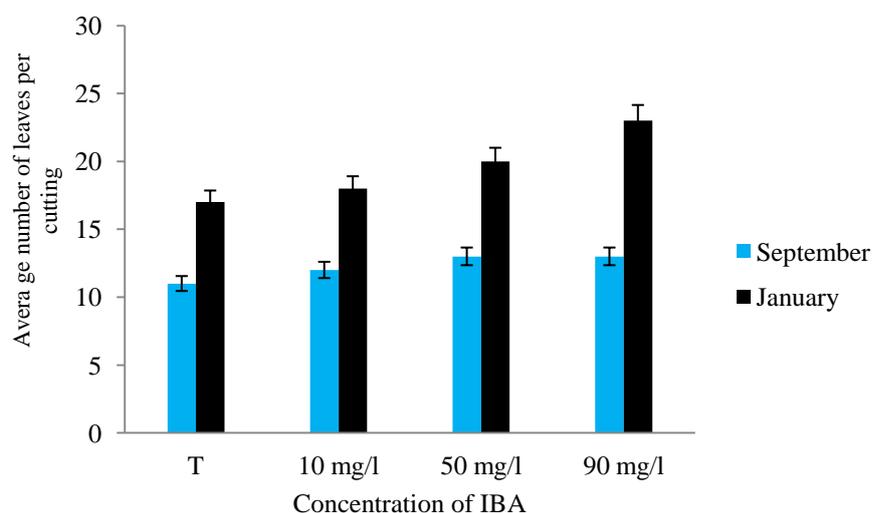


Figure 2.- Variation of the average number of leaves per cutting as a function of the date of cutting and the concentration of IBA

The average growth per stem height was only influenced by the date of cutting ($P < 0.01$). After 4 months of transplanting, the best elongation is obtained with the January cuttings reaching 33.50 cm on average of 180 days.

As with the previous parameter, there was no significant effect of the BIA treatment on the average height growth. For both dates, the concentrations of 50 and 90 mg/l, respectively showed the best growth in height (fig. 3 and photo 1).

On the other hand, the results regarding the effect of IBA on the morphological parameters of the cuttings are similar to those obtained by CHALFUN *et al.* (2001) [7] and AUCLAIR (2009) [8] who noted that the concentration of IBA has no effect on the average length and the average number of leaves per rooted cutting.

The time of year when the cuttings are taken is, according to HARTMANN *et al.* (1990) [9], the factor that has the greatest influence on cutting.

Several factors can explain the influence of the date of cutting on the development of the aerial part of the cuttings: In the study area, during the September period, the cuttings were subjected to a long photoperiod, but also to higher temperatures during the day and night and to slightly cooler temperatures during aerial development. The January cuttings were subjected to a continuously increasing photoperiod, relatively well-controlled temperatures in the first months and conditions that should be more favorable for aerial development.

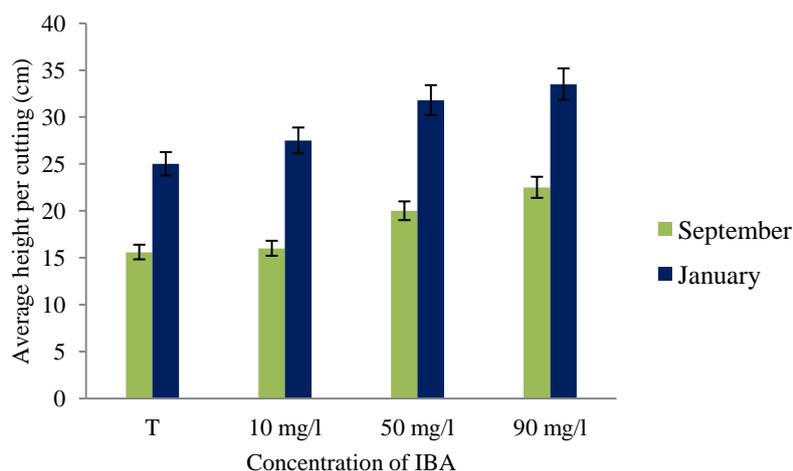


Figure 3.- Variation of average height per cutting as a function of cutting date and IBA concentration



Photo 1.- Cherry root segment cutting after 3 months (September cuttings at 90 mg/l IBA)

2.3.-Influence of cutting date and IBA on root formation

According to the results obtained, there is a significant effect ($P < 0.001$) of the date of cutting and the concentration of IBA on the rooting rate during 180 days of the experiment.

Root segment cuttings from January show the highest rooting rate (30-80%) than cuttings from September (10- 40%). Indeed, the concentrations that seem to give the best results are 50 mg/l and 10 mg/l. There is rooting on 10% of the January cuttings for the Control (fig. 4).

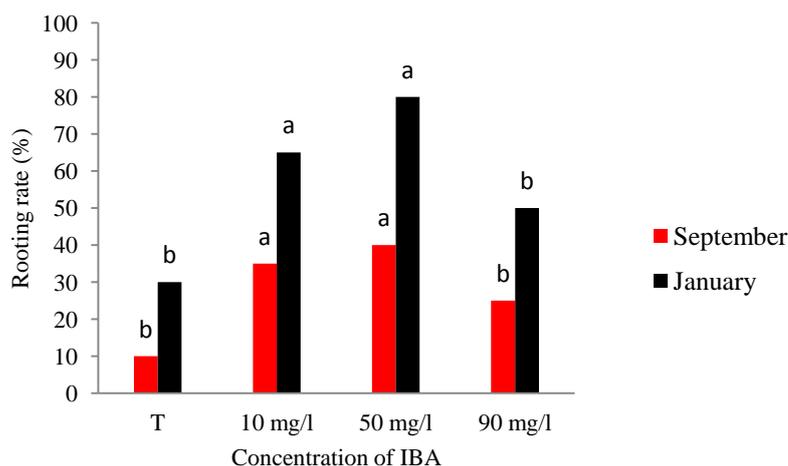


Figure 4.- Influence of cutting date and IBA concentration on rooting rate

The average number of roots per cutting was also influenced ($P < 0.001$) by both the date of cutting and the 180 day IBA concentration.

For the September cutting, the concentrations of 10 mg/l and 50 mg/l favor rooting, with an optimum at 50 mg/l. For the January cutting, all IBA concentrations produce roots, even the control (without IBA), whose number varies according to the concentration, with an optimum at 50 mg/l and 10 mg/l (fig. 5).

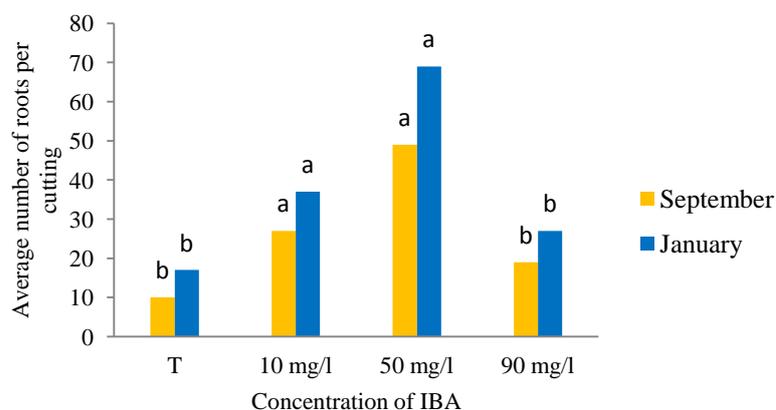


Figure 5.- Influence of cutting date and IBA concentration on the average number of roots per cutting

The results obtained showed that the average root length was influenced by the date of cutting and the IBA concentration ($P < 0.0001$). Roots created on the January (13.5 cm)

and September (9.5 cm) cuttings associated with the 50 mg/l concentration develop more vigorously than those produced with the other IBA treatments (fig.6 and photo 2).



Photo 2.- Rooting of a birch root segment cutting after 3 months (January cuttings at 50 mg/l)

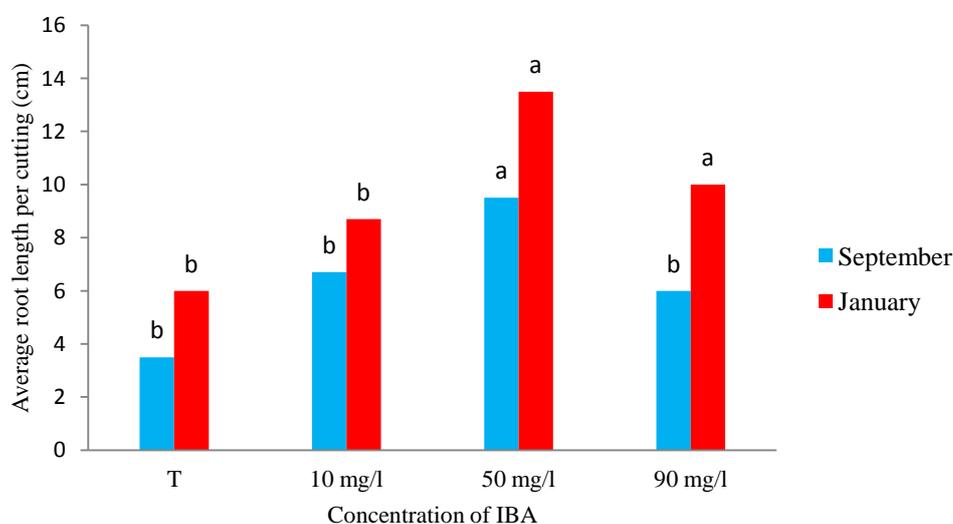


Figure 6.- Influence of cutting date and IBA concentration on average root length growth

In general, the results obtained show that the January cuttings have the best rooting ability. Similarly, the concentration of 50 mg/l also gives the best result for both dates.

Our results are similar to those found by [10], a solution with a higher concentration of IBA (4000 and 12000 ppm of IBA) stimulates the rooting of several hard-rooted species more. Similarly, according to [8], the average number of primary and secondary roots formed by the cuttings is strongly influenced by the auxin treatments (2000 ppm of IBA). Cuttings treated with low or medium concentrations of IBA produced the highest number of roots.

As for the previous parameter, according to [9], the rooting of cuttings is influenced by the date of taking the cuttings. On the one hand, the environmental conditions to which the cuttings will be exposed during rooting will vary greatly according to seasonal conditions. On the other hand, the physiological state of the cutting leading to rooting can change considerably from season to season, from month to month, and even from day to day.

Conclusion

In the present study, the effect on the date of cutting as well as the concentrations of IBA on the growth of the aerial part and the root formation of cherry trees was demonstrated.

From the results obtained, we have shown that the January cuttings are more favorable than the September cuttings. It resulted in a high bud break and survival rate, excellent height growth and thus better root formation.

Indole butyric acid at 50 mg/l improves root formation. This results in a high rooting rate and an increase in the average number of primary and secondary roots.

However, it appears that several other factors can influence the rooting of cuttings of this species. It would therefore be interesting to study this further; as the success of propagation by cutting root segments at low cost is not yet evident.

Bibliographic references

- [1].- Teissier E., 1999.- Conserving forest genetic resources. Ed. ???Paris, 60 p.
- [2].- Thibaut A., Claessens H., Rondeux J., 2009.- Autoecology of the cherry tree. Fiche technique DNF. DGRNE-DNF, Namur, 35 p.
- [3].- Jdaidi N., Hasnaoui B., 2017.- Vegetative multiplication of wild cherry in northwest Tunisia. Forêt Méditerranéenne T XXXVIII, n°1, 6 pages.
- [4].- Gautier M., 2001.- Fruit culture. Tech et doc, 2001, Paris, 665 p.
- [5].- Antunes L., Chalfun N., Pasqual M., Alves C., 2001.- Factors affecting footing of fig (*Ficus carica* L.) cuttings. Second International Symposium on Fig, Caceres, Spain, Pp 22-27.
- [6].- Karadeniz T., 2001.- A study of some fruit characteristics and propagation by hardwood cuttings of local fig cultivars grown in Ordu (Turkey.- Second international symposium on fig, Caceres, Spain, 12 p.
- [7].- Chalfun N., Pasqual M., Noberto P., Dutra F., Alves C., 2001.- Footing of fig (*Ficus carica* L.) cuttings: cutting time and IBA. Second international symposium on fig, Cacerès, Spain, Pp 8-13.
- [8].- Auclair I., 2009.- Propagation of Canadian FI (*TAXUS CANADENSIS* MARSH) by cuttings: The effects of various physiological and environmental factors. Master's thesis in science, 109 p.
- [9].- Hartmann T., Kester E., Davies T., 1990.- Plant propagation. Principles and practices. 5th edition, Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 647 p.
- [10].- Chong C., Allen B., Barnes W., 1992.- Comparative footing of stem cuttings of selected woody landscape shrub and tree taxa to varying concentrations of IBA in talc, ethanol and glycol carriers. J. Environ. Hort., Pp 245-250.