

PIEGEAGE ET ISOLEMENT DES BACTERIES NODULANT DES LEGUMINEUSES (BNL) PRESENTES AU NIVEAU DES RHIZOSPHERES DE QUELQUES ESPECES DE FABACEES SPONTANEEES DU SAHARA SEPTENTRIONAL ALGERIEN

CHAÏCH Khaled¹ et MAURE Lucette²

⁽¹⁾Laboratoire Génie de l'eau et de l'Environnement en Milieu Saharien,
Université Kasdi Merbah Ouargla, BP 511, 30000 Ouargla, Algérie

⁽²⁾IRD-INRA, Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes (LSTM)
Campus International de Baillarguet TA A-82/J, F-34398, Montpellier Cedex 5, France
E-mail: khaledchach@yahoo.fr

(Received 03 March 2020 - Accepted 10 October 2020)

Résumé.- La présente étude sur quatre (04) espèces de fabacées herbacées et arbustives, identifiées et géo-référencées, à travers les différents espaces géomorphologiques qui constituent la principale variation du vaste milieu saharien (ergs, regs, lits d'Oueds et sebkhas) dans le Nord-est du Sahara Algérien. Il s'agit d'Astragalus gombo Bunge, Astragalus mareoticus Del., Genista saharae Coss. et Durieu et Retama retam Webb se développant spontanément dans ce milieu contraignant. Le piégeage des BNL dans les couches superficielles du sol a permis de mettre en évidence leur présence dans la rhizosphère (10 à 20 cm) de toutes les espèces étudiées à partir des sols utilisés de 09 sur les 11 sites étudiés. Les résultats obtenus font ressortir que les BNL indigènes ont bien cette capacité d'établir une relation de symbiose fixatrice d'azote qui aboutit à la formation des nodosités sur les racines de ces 04 espèces étudiées. Un total de 106 isolats est obtenu à partir des nodosités prélevées sur les racines de plants avec 57 pour G. saharae, 22 pour d'A. gombo, 15 pour R. retam et 12 pour A. mareoticus. Ils apparaissent après 24 à 48 heures de culture à 28°C dans le milieu Yeast Extract Mannitol (YEM) utilisé pour les Rhizobium. La morphologie ronde des colonies obtenues, est celle des «rhizobia» connus se distinguant, parfois, par une forte mucosité.

Mots clés: Sahara septentrional algérien, espaces géomorphologiques, Fabacées spontanées, BNL sahariennes, géo-localisation.

TRAPPING AND ISOLATION OF RHIZOBIA FROM THE RHIZOSPHERE OF SEVERAL SPONTANEOUS FABACEAE SPECIES IN THE ALGERIAN NORTHERN SAHARA

Abstract.- The present study treats four (04) species of herbaceous and shrubby Fabaceae, identified and geo-referenced, through the different geo-morphological spaces which constitute the main variation of the vast Saharan environment (Ergs, Regs, Lits d'Oueds and Sebkhas) in the Northeast of the Algerian Sahara. These are Astragalus gombo Bunge, A. mareoticus Del., Genista saharae Coss. and Durieu and Retama retam Webb spontaneously developing in this restrictive environment. The trapping of BNLs in the surface layers of the soil made it possible to highlight their presence in the rhizosphere (10 to 20 cm) of all the species studied from the soils used from 09 on the 11 sites studied. The results obtained show that the native BNLs do have this capacity to establish a relationship of nitrogen-fixing symbiosis which results in the formation of nodules on the roots of these 04 species studied. A total of 106 isolates are obtained from nodules taken from the roots of plants with 57 for G. saharae, 22 for A. gombo, 15 for R. retam and 12 for A. mareoticus. They appear after 24 to 48 hours of culture at 28 ° C in the Yeast Extract Mannitol (YEM) medium used for Rhizobium. The round morphology of the colonies obtained is that of known " rhizobia ", sometimes distinguished by high mucus.

Key words: Northern Sahara of Algeria, geomorphologic spaces, spontaneous Fabaceae, saharan BNL, geo-localization.

Introduction

Considérant leurs intérêts multiples, la présence de diverses espèces spontanées appartenant à la famille des fabacées constitue une richesse floristique particulièrement importante dans le Sahara. Les espèces de cette famille se caractérisent, généralement, par leur capacité d'établir une symbiose fixatrice d'azote avec des bactéries telluriques appelées «Rhizobia». Certaines espèces spontanées appartenant à la famille des fabacées colonisent des habitats où prédominent les conditions de stress en développant des adaptations particulières [1]. Elles jouissent d'un rôle clé pour la durabilité de l'écosystème naturel saharien [2]. La fixation biologique constitue la voie principale pour l'introduction de l'azote dans les régions désertiques. Les symbioses rhizobium- légumineuses représentent le processus majeur de la fixation biologique de l'azote atmosphérique et confère aux plantes des potentialités d'adaptation à mieux se développer sur des sols pauvres des zones arides [3-5]. Une prospection réalisée à travers les différents espaces géomorphologiques du Sahara septentrional Est a permis la reconnaissance et l'identification de 11 espèces spontanées appartenant à 07 différents genres de la famille des Fabacées [6].

C'est dans ce contexte que s'intègre le présent travail qui concerne 04 espèces de Fabacées herbacées et arbustives. Il s'agit d'*Astragalus gombo* Bunge, *Astragalus mareoticus* Del., *Genista saharae* Coss. & Durieu et *Retama retam* Webb. Elles sont connues pour leur efficacité dans la fixation des dunes, la préservation des sols contre la désertification, l'alimentation des dromadaires, des Vertus médicinales ainsi que des propriétés phyto-chimiques importantes en industrie pharmaceutiques [7-11].

Le présent travail se fixe pour objectif l'étude de la fixation symbiotique d'azote atmosphérique par les légumineuses spontanées du Sahara. L'étude s'articule autour de la prospection et la mise en évidence de l'association rhizobium-légumineuses à savoir:

i./- L'identification et la géo-localisation des 04 espèces de fabacées (*A. gombo*, *A. mareoticus*, *G. saharae* et *R. retam*) qui se développent spontanément à travers les différents espaces géomorphologiques du Sahara septentrional Est d'Algérie;

ii./- Récolte des graines et prélèvements des sols échantillonnés effectués au niveau des rhizosphères de ces espèces;

iii./- Réalisation de la technique de piégeage sous conditions contrôlées au niveau du laboratoire et mise en évidence des souches BNL présentes dans les couches superficielles des sols capables d'établir une relation symbiotique traduite par la nodulation des espèces étudiées;

iv./- Isolement et culture des BNL à partir des nodules obtenus au niveau des racines des espèces étudiées.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Prospection et échantillonnage

Sur un rayon de 400 km dans le Sahara septentrional, les sites de prélèvements s'étendent de la zone dite "Chebkas du Mزاب" (wilaya de Ghardaïa daïra de Metlili) à la zone dunaire "Erg oriental" (wilaya de Ouargla daïra de Taïbet) à l'Est. L'élément principal définissant les choix des stations retenues, est la présence de Fabacées spontanées à travers les différents espaces géomorphologiques qui constituent la principale variation du vaste milieu saharien à savoir les ergs, les regs, les lits d'oueds et les sebkhas (glacis). Il

est retenu, dans cette étude, 01 Sebkhia (Debbiche), 01 Reg (reg de Zelfana), 04 Erg (HBA, khbina, Belghit et el morr) 04 stations de lits d'Oueds de la zone dite " Chebkas du Mzab" (Echfar, Noumerat, Guemgouma Chaab sbaa ed Oum Sedaïra). Les valeurs comprenant différents natures géomorphologiques et positions géo référées des sites sont consignées dans le tableau I. A l'intérieur des sites, l'échantillonnage adopté est de type subjectif traduit par le prélèvement de 1kg de sols, à une profondeur de 10 à 20 cm (fig. 2), au niveau de la rhizosphère d'une espèce de fabacée spontanée bien verte (synonyme d'une bonne nutrition azotée).



Figure 2.- Prélèvement de sol au niveau de la rhizosphère de l'espèce *A. gombo* dans un lit d'Oued

1.2.- Position, bioclimat et description des sites de prélèvement

Les stations, retenues pour l'étude, font partie de l'étage bioclimatique hyper-aride [12,13]. Elles se caractérisent par des étés chauds et secs qui durent 9 mois et demi et des hivers rigoureux. Juin, juillet et août sont les mois les plus chauds avec des valeurs de températures max moyennes allant de 39 à 43 °C. La saison froide (décembre- janvier- février), les valeurs moyennes enregistrées sont de 18 à 20 °C. Le degré hygrométrique de l'air (humidité relative) oscille, généralement, entre 20 % à 30 % en été et 50 % ou 60 % en hiver [14]. Comparativement entre les localités des sites de prélèvements, concernant les quantités moyennes des précipitations, il est noté une différence dans les valeurs moyennes des précipitations annuelles allant d'un max de 85 mm dans la wilaya de Ghardaïa (Sites 1, 2, 3, 8,9, et 10) à 56 mm (sites 5, 6 et 7) dans la daïra de Taïbet, alors qu'elles sont les plus basses relativement dans la wilaya de Ouargla (sites 4 et 11) d'environ 35 mm [14]. Les valeurs comprenant différents natures géomorphologiques et positions géo référées des sites sont consignées dans le tableau I.

1.3.- Prélèvements des sols rhizosphériques

L'échantillonnage était subjectif obéissant, principalement à la présence d'une espèce de fabacée bien verte synonyme d'une bonne nutrition azotée de la plante. Les prélèvements des échantillonné de sol sont effectués au niveau des rhizosphères des 04 espèces de fabacées spontanées (*A. gombo*, *A. maureoticus*, *G. saharae* et *R. retam*) à une profondeur de variant de 10 à 20 cm (fig. 1 et tab. 1).

Tableau I.- Géo-localisation et nature géomorphologique des stations d'études (HBA: Hassi Ben Abdallah)

N° Site	Lieu dit	Coordonnées géographiques	Nature géomorphologique	Localités	Commune/wilaya
1	Chaab Sbaa	N32°17'8.77 E3°24'25.33"	Lit d'oued	Chebkas du Mزاب	Metlili/Ghardaïa
2	Oum Sedaïra	N32°21'0.16" E2°57'8.14"	Lit d'oued	Chebkas du Mزاب	Metlili/Ghardaïa
3	Echfar	N32°25'9.68" E2°45'37.46"	Lit d'oued	Chebkas du Mزاب	Metlili/Ghardaïa
4	Debbiche	N32°22'19,83" E5°27'24,45"	Sebkha	Dépression	Ngoussa /Ouargla
5	El morr	N 33°5'57.57" E 6°25'3.55"	Erg	Erg oriental	Taïbet/Ouargla
6	Khbina	N 33°8'56.54" E 6°33'48.85"	Erg	Erg oriental	Taïbet/Ouargla
7	Belghit	N 33°5'57.11" E 6°25'6.53"	Erg	Erg oriental	Taïbet/Ouargla
8	Noumerat	N32°19'9.68" E3°49'0.82"	Lit d'oued	Chebkas du Mزاب	Metlili/Ghardaïa
9	Guemgouma	N 32°22'39.78" E 3°31'26.45"	Lit d'oued	Chebkas du Mزاب	Metlili/Ghardaïa
10	Reg zelfana	N 32°20'5.60" E 4°16'38.41"	Reg	Chebkas du Mزاب	Zelfana /Ghardaïa
11	H B A	N 31°56'12.35" E 5°25'13.78"	Erg	Erg	*H B A/Ouargla

1.4.- Récolte de graines

La récolte des graines des 04 espèces (fig. 3) de fabacées spontanées retenues s'est étalée sur la période Mai-Juin-Juillet des années allant de 2015-2017 à travers les sites échantillonnés.

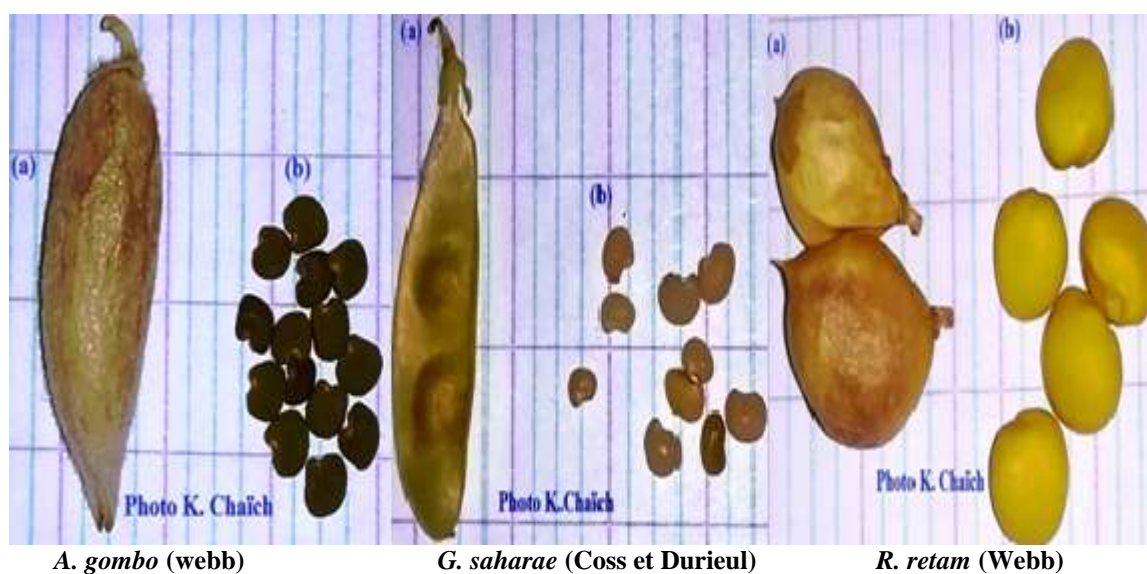


Figure 3.- Gousses (a) et graines (b) des espèces étudiées récoltées au Sahara septentrional

1.5.- Piégeage des bactéries symbiotiques

Les graines des espèces de fabacées spontanées (*A. gombo*, *A. maureoticus*, *G. saharae* et *R. retam*) collectées ainsi que les sols échantillonnés prélevés à partir des mêmes sites sahariens (tab. II) sont utilisés pour le piégeage des bactéries symbiotiques. Près 20 répétitions sont effectuées pour chaque traitement. Les graines des 04 espèces sont stérilisées en surface avec de l'hypochlorite de calcium (3%) pendant 5 min, rincées à l'eau distillée (5 fois) et scarifiées mécaniquement à l'aide d'un fer à souder. Les semences stériles sont transférées sur des boîtes de Pétri stériles contenant de l'eau gélosée (10% d'agar-agar) et laissées 48 heures à 4°C puis 48 heures à 21°C pour germination.

Tableau II.- Dispositif expérimental de piégeage des BNL présentes dans les rhizosphères de quatre fabacées spontanées dans le Sahara d'Algérie (HBA: Hassi Ben Abdallah)

Lieu-dit	N°	Milieu-espèce	Rhizosphère de l'espèce	Profondeur
Chaab Sbaa	1	S1- <i>R.retam</i>		
	2	S1- <i>A.gombo</i>	<i>R.retam</i>	15 cm
	3	S1- <i>G.saharae</i>		
Oum Sedaïra	4	S2- <i>R.retam</i>	<i>R.retam</i>	15 cm
Echfar	5	S3- <i>R.retam</i>	<i>R.retam</i>	15 cm
Debbiche	6	S4- <i>R. retam</i>	<i>R.retam</i>	20 cm
El morr	7	S5- <i>A.gombo</i>		
	8	S5- <i>G.saharae</i>	<i>G.saharae</i>	20 cm
Khbina	9	S6- <i>A.gombo</i>		
	10	S6- <i>G.saharae</i>	<i>G.saharae</i>	20 cm
Belghit	11	S7- <i>A.gombo</i>		
	12	S7- <i>G.saharae</i>	<i>G.saharae</i>	20 cm
Noumerat	13	S8- <i>A.maureoticus</i>		
	14	S8- <i>A.gombo</i>	<i>A.gombo</i>	15 cm
Guemgouma	15	S9- <i>A.maureoticus</i>		
	16	S9- <i>A.gombo</i>	<i>A.maureoticus</i>	10 cm
Reg Zelfana	17	S10- <i>R.retam</i>	<i>R.retam</i>	10 cm
HBA	18	S11- <i>A.gombo</i>		
	19	S11- <i>R.retam</i>	<i>A.gombo</i>	15 cm

L'expérience est réalisée dans des tubes en verre de 70 ml contenant l'attapulгите calcinée (Oil Dri US Special, Damolin, Denmark; <http://www.damolin.dk>) pour obtenir une meilleure porosité au niveau des tubes. Après être additionnés de 40 ml de solution minérale nutritive sans azote [15], tous les tubes sont stérilisés à 120° C pendant 20 min afin de travailler dans des conditions stériles. 2-3 centimètres de sol échantillonné placés ensuite au-dessus granules d'attapulгите des tubes stérilisées par chaleur humide.

Les plantules sont ensuite transférées dans les tubes (fig. 4) et cultivées sous une lumière continue (20 W/m²) à 21°C. Après 7 semaines d'incubation, les plantes sont récoltées et les racines observées



Figure 4.- Piégeages des souches de BNL associées aux 04 espèces étudiées

2.6.- Isolement des bactéries symbiotiques

Les nodosités prélevées sur chaque pied des 04 espèces *A.gombo*, *A. maureoticus*, *G.saharae* et *R. retam* sont soit directement utilisés pour l'isolement ou conservés secs dans des tubes contenant du gel de silice ou du CaCl_2 [16] surmonté de coton cardé. Elles sont réhydratées dans de l'eau distillée stérile (pendant une demi-heure) dans des tubes Eppendorf. Après élimination de l'eau, elles sont désinfectées en surface dans une solution d'hypochlorite de calcium (3%) pendant 3 min. Après 5 rinçages de 1 min chacun dans de l'eau distillée stérile, chaque nodosité est broyée stérilement à l'aide d'un pilon dans un tube Eppendorf de 1,5 ml contenant 50 μl d'eau distillée stérile. Le milieu YEM agar utilisé pour l'isolement des souches est celui de VINCENT (1970) [17]. Une boîte de Pétri contenant ce milieu été ensemencée avec chaque broyat de nodosité avec le pilon utilisé pour le broyage.

Les boîtes de Pétri ensemencées sont placées à 28°C sous conditions d'aérobiose. Après apparition des colonies sur boîte de pétri, chaque colonie bactérienne représentant un phénotype particulier est repiquée en partant à chaque fois d'une colonie isolée. Afin d'obtenir une culture pure. Chaque isolat a subi au moins 2 cycles de purification sur boîte de Pétri avant d'être cultivé en milieu liquide (15 ml d'YEM).

2.- Résultats et discussion

2.1.- Mise en évidence de la présence des BNL dans les couches superficielles

2.1.1.- Piégeages

Après sept (07) semaines de culture sous conditions contrôlées, un total, 249 nodosités sont observées sur les racines primaires et secondaires des jeunes plants testés. Les nodosités obtenues (fig. 5) sont de formes ovoïdes (50%), parfois allongées (% 25) ou multilobées (25 %) avec des surfaces lisses. Elles sont, généralement, de couleur rouge-brun témoignant la présence de la leghémoglobine qui suggère que les souches BNL sont effectives en plus d'être infectives.

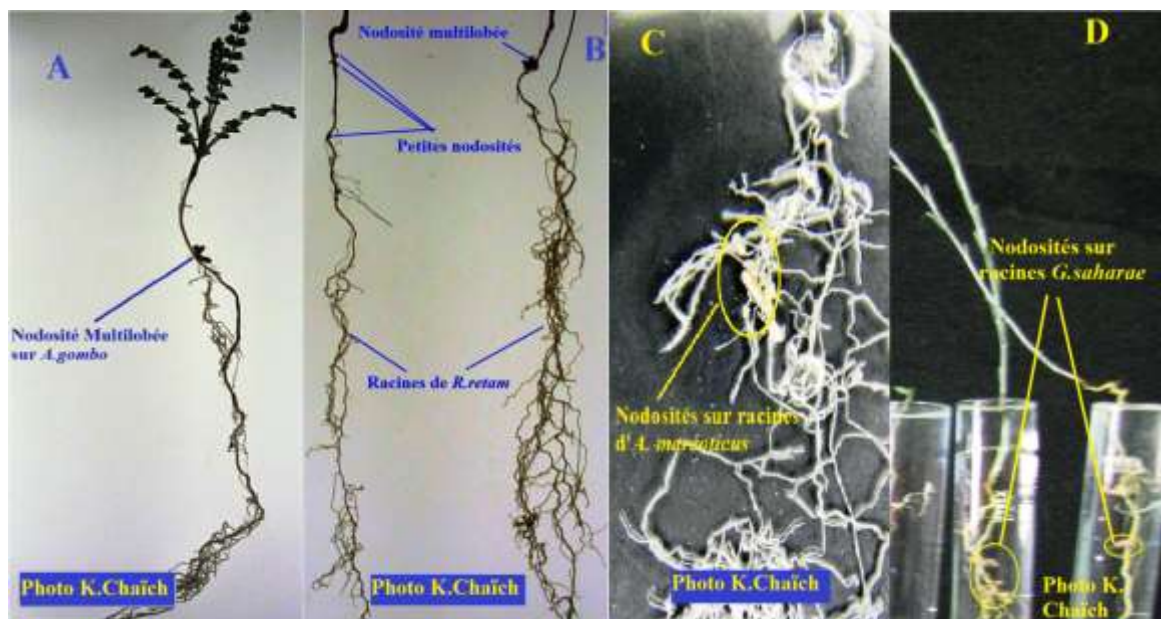


Figure 5.- Nodosités obtenues par piégeage de BNL présentes (A: *A. gombo*, B: *R. retam*, C: *A. maureoticus* et D: *G. saharae*)

Les résultats sur la nodulation des 04 fabacées sont consignés dans le tableau 3. Les résultats, montrent que les espèces d'*A. gombo*, d'*A. maureoticus*, de *G. saharae* et de *R. retam* sont nodulées les sols de 09 sites sur les 11 étudiés, soit environ 82%. Ils montrent aussi l'absence et/ou l'infectivité des souches de BNL dans les sols de Debiche et reg de zelfana car l'espèce *R. retam* n'est pas nodulée dans ces 2 sites.

Tableau III.- Nodulations issues de piégeages des BNL

Espèces	Lieu dit	Site	Nb. nodules	Observations
<i>A. gombo</i>	Chaab Sbaa	01	6	Rive lit oued
	HBA	11	15	Erg
	El morr	7	23	Erg
	Noumerat	08	18	Lit de Oued
<i>A. maureoticus</i>	Noumerat	08	17	Lit de Oued
	Guemgouma	09	34	Lit de Oued
<i>G. saharae</i>	Chaab Sbaa	01	1	Rive lit oued
	El morr	05	36	Erg
	Khbina	06	38	Erg
	Belghit	07	24	Erg
<i>R. retam</i>	Chaab Sbaa	01	21	Rive lit oued
	Oum Sedaïra	02	5	Rive lit oued
	Echfar	03	32	Rive lit oued
	Reg zelfana	10	0	Reg
	Debbiche	04	0	Rive de Sebkha

De l'analyse des résultats de nodulation obtenus (tab. 3), il convient de noter, par espèce, les observations qui suivent:

***Astragalus gombo*:** Pour cette espèce (fig. 6 A), les 62 nodosités sont obtenues sur 4 différents sites (Chaab Sbaa, Hassi Ben Abdallah, El Morr et Noumerat). Ces sites couvrent le Sahara septentrional- Est de la zone des Chebkas du Mزاب en Ouest (daïra de

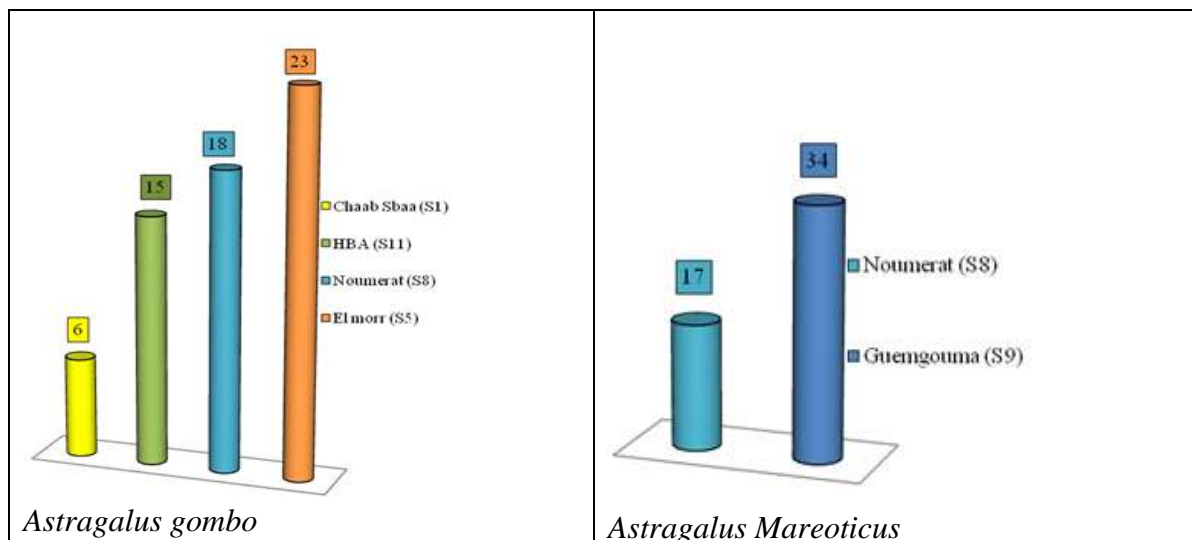
Metlili) aux zones dunaires ‘‘Erg orientale’’ à l’est du Sahara septentrional (daïra de Taïbet). Ce résultat indique une large répartition des BNL compatibles avec cette espèce. Ces BNL sont omniprésentes sur une distance de 400 km dans les couches superficielles de sol.

Astragalus maréoticus (fig. 6 B): Les cinquante une (51) nodosités sont obtenues sur deux sites (Guemgouma et Noumerat) exclusivement à partir du même sol natif de l’Oued Metlili. S’agissant d’une espèce décrite endémique dans ces localités [18], ce résultat semble indiquer une étroite spécificité des souches de BNL présentes exclusivement dans ces sols.

Genista saharae: La quasi-totalité (99%) des nodosités associées à cette espèce (fig. 6 C) sont obtenues dans les sites à dunes sableuses (Erg oriental). En effet, les sols piégés sur 03 différents sites (Belghit, El Morr et Khbina) ont mis en évidence la présence la présence des BNL dans les couches superficielles des sols dites ‘‘Ergs’’.

Retama retam (fig. 6 D): La totalité des nodosités (58) sont piégées à partir des sols sableux prélevés au niveau de rive lit d’oued dans la zone naturelle appelée Chebka du M’Zab. Il s’agit de Chaab Sbaa, Echfar et Oum Sedaira situés dans la partie occidentale du Sahara septentrional-Est d’Algérie. Toutefois, les 02 sites dont Debiche et reg zelfana sont de nature géomorphologiques de types, respectivement sebkha et regs où aucun nodule n’est observé pour *R. raetam*.

Les piégeages réalisés ont permis de mettre en évidence la présence des souches de BNL dans les couches superficielles des sols du Sahara Septentrional Est d’Algérie. Les souches ont la capacité de mener la phase saprophytique et de s’adaptent aux conditions écologiques du milieu saharien. Au niveau des rhizosphères des 04 espèces de fabacées étudiées (*A. gombo*, *A. maureoticus*, *G. saharae* et *R. raetam*) les BNL ont des capacités et des spécificités d’établir des associations symbiotiques fixatrices d’azote. L’infectivité et l’efficacité des souches indigènes sont traduites, respectivement par l’obtention des nodosités de couleur brune sur les racines ainsi que de couleur bien verte des jeunes plants testés. Les 04 espèces de fabacées étudiées sont nodulées à partir des sols, collectés au niveau des 02 espaces géomorphologiques (erg et lit d’Oued)



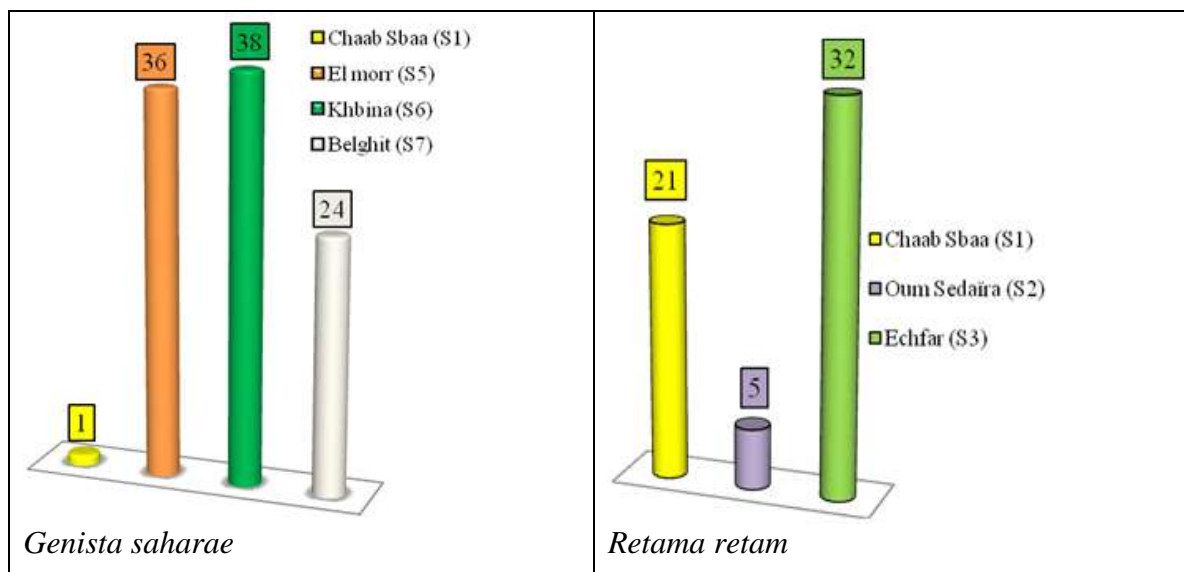


Figure 6.- Nodulation obtenues par piégeages des BNL associées à 04 espèces de fabacée spontanées

2.2.- Isolement des BNL

Les isollements bactériens sont effectués à partir des nodosités racinaires des 04 espèces étudiées (*A. gombo*, *A. maureoticus*, *G. saharae* et *R. raetam*). Les colonies dans leur majorité absolue sont apparues après 24 à 48 heures de culture à 28°C dans le milieu YMA. Les colonies obtenues sont rondes présentant une morphologie comparable à celle des "rhizobia" connus. Les souches se distinguent, parfois, par leur forte mucosité (fig. 7).



Figure 7.- Aspect macroscopique des BNL sahariennes après 48 heures de culture sur YMA à 28°C

Toutes les souches isolées sont à croissance rapide (48 heures), ce qui les différencie de souches à croissance lente du genre *Bradyrhizobium* [19] et les affilient aux genres à croissance rapide tels que *Ensifer*, *Rhizobium* et *Mesorhizobium*. Au sein de la famille des fabacées, les espèces de la tribu des Genistae (*Retama* et *Genista*) sont connues pour être associées au rhizobias à croissance lente du genre *Bradyrhizobium* ainsi

documentées pour d'autres régions en Europe [20-22] et même au nord d'Algérie [23]. L'obtention de souches à croissance rapide semble indiquer des spécificités concernant l'affiliation des souches dans les zones arides. Cette hypothèse est confortée pour les souches associées à *A. saligna* et à d'autres acacias dans le sud de l'Algérie [24]. Selon AMRANI *et al.* (2010) [24], les Bradyrhizobia sont beaucoup plus osmo sensibles que les souches d'*E. meliloti* et *R. gallicum*, indiquant une adaptation plus souple aux conditions arides et semi-arides, confirmés certains travaux réalisés dans des zones arides et semi-arides au Maroc, en Tunisie, en Éthiopie et au Sénégal [25-29].

Conclusion

Les prospections réalisées sur un rayon de 400 km, sont soldées par la localisation géo-référée et l'identification précise de 04 taxons de la famille des Fabacées en tant que Symbionte. Il s'agit d'*Astragalus gombo* (Bunge), *Astragalus mareoticus* (Del.), *Genista saharae* (Coss. & Durieu) et *Retama retam* (Webb).

Les méthodes usuelles connues pour l'isolement des BNL, ont permis l'obtention d'isolats à partir des nodosités prélevées sur les racines de toutes les espèces étudiées. Une collection de 106 isolats est constituée à savoir: douze (12) à partir d'*A. mareoticus*, vingt-deux (22) d'*A. gombo*, quinze (15) de *R. retam* et cinquante-sept (57) de *G. saharae*.

L'infectivité et l'effectivité des souches de BNL indigènes présentes au niveau des rhizosphères des 04 espèces étudiées, sont appréciables. Elles mettent en évidence la capacité des souches BNL indigènes à mener la phase saprophytique dans les conditions écologiques sévères du milieu saharien. Les BNL sahariennes isolées se distinguent, aussi, par leur croissance rapide (48 heures), suggérant leur affiliation aux principaux genres Ensifer, Rhizobium ou Mesorhizobium leur permettant une adaptation rapide aux stress.

Références

- [1].- Abdel-Samad F., 2015.- Caractérisation éco-géographique et génétique du genre Astragales du Liban: approches de conservation biogéographique. These PhD, Univ.Aix-Marseille, France, 210 p.
- [2].- Brockwell J., Searle S. D., Jeavons A. C., Waayers M., 2005.- Nitrogen fixation in Acacias: an untapped resource for sustainable plantations, farm forestry and land reclamation. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, 132 p.
- [3].- Abdel-Ghaffar A. S., 1989.- Aspects of microbial activities and dinitrogen fixation in Egyptian desert soils. *Arid Soil Research and Rehabilitation* (32): 281-294.
- [4].- Chaïch K. Bekki A., Bouras, N., 2017.- Rhizobial diversity associated with the spontaneous legume *Genista saharae* in the northeastern Algerian Sahara. *Symbiosis* (71):111–120.
- [5].- Wullstein L. H., 1989.- Evaluation and significance of associative dinitrogen fixation for arid soil rehabilitation. *Arid Soil Res Rehabil*, 3: 259–265.
- [6].- Chaïch K., Bekki A., 2008.- Promising microbial genetic resources. Poster présenté au 13^{ème} Congress of the African Association Biological Nitrogen Fixation,

December 15th-18th Hammamet, Tunisia, 56p.

- [7].- Chehema A., Faye B., Bastianelli D., 2010.- Valeurs nutritionnelles des plantes vivaces des Parcours sahariens algériens pour dromadaires. Fourrages, (204): 63–268
- [8].- Conforti F., Statti G., Tundis R., Loizzo M. R., Bonesi M., Menichini F., Houghton P. J., 2004.- Antioxidant and cytotoxic activities of *Retama raetam* subsp. *Gussonei*. *Phytother Res.* 18,585–587.
- [9].- Lograda T., 2010.- Etude Caryologique et Phytochimique de Six Espèces Endémiques du genre *Genista* L. en Algérie. Thèse de Doctorat; univ. Ferhat Abbas, Setif, Algérie, 150p.
- [10].- Meriane D., Kaabache M., 2012.- Ecology, Biology and Biometry of an Endemic Fabaceae: *Genista Saharae* Cosson and Durieu. *J Life Sci*, 23p.
- [11].- Mekkiou H., Touahar M. G., Dijoux-Franca A. M., Mariotte S., Benayache, 2005.- A new isoflavone from *Genista saharae* (Fabaceae).- *Biochem. Syst. Ecol.*: 635-638.
- [12].- Lloyd J. W. and MILES J. C., 1986.- Examination of the mechanisms controlling groundwater gradients in arid regional sedimentary basins, *Water Resources Association.* (22): 471-478.
- [13].- Mideleton N. and Thomas D., 1997.- World atlas of desertification. United Nation environment program. Ed. Arnold editor. New York, Pp 171-180.
- [14].- O.N.M, 2017.- Bulletin climatologique des stations sahariennes (1995-2015). Service archives, Office National de Météorologie, Alger, 28 p.
- [15].- Bertrand H., Plassard C., Pinochet X., Touraine B., Normand P., Cleyet-Marel J. C., 2000.- Stimulation of the ionic transport system in *Brassica napus* by a plant growth-promoting rhizobacterium (*Achromobacter* sp.). *Can J Microbiol*, 46:229–36.
- [16].- DATE R. A., 1982.- Collection, Isolation, characterization and conservation of Rhizobium, In : Nitrogen fixation in legumes (J. M. Vincent, ed.), Academic Press Publishers: 95-109.
- [17].- Vincent J. M., 1970.- A manual for practical study of root nodule bacteria. IBP Handbook 15. Blackwell Sci. Publ. Oxford, 164p.
- [18].- Quezel P., 1978.- Analysis of the Flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Annals of the Missouri Botanical Garden* (65):479–534
- [19].- Jordan D. C., 1982. - Transfer of *Rhizobium japonicum* Buchanan 1980 to *Bradyrhizobium* gen. nov., a genus of slow growing, root^{nodule} bacteria from leguminous plants. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 32:136-139.
- [20].- Fernando G. A., Jesus M., 1998.- Biodiversity of rhizobia nodulating *Genista monspessulana* and *Genista linifolia* in Spain. *N Z J Agric Res*, 41: 585–594. doi:10.1080/00288233.1998.9513342

- [21].- Kalita M., Malek W., 2004.- Phenotypic and genomic characteristics of Rhizobia isolated from *Genista tinctoria* root nodules. *Syst Appl Microbiol*, 27: 707-715.
- [22].- Rivas R., Martens M., de Lajudie P., Willems A., 2009.- Multilocus sequence analysis of the genus *Bradyrhizobium*. *Syst Appl Microbiol.*, (32):101–110.
- [23].- Boulila F., Depret G., Boulila A., Belhadi D., Benallaoua S., Laguerre G., 2009.- *Retama* species growing in different ecological–climatic areas of northeastern Algeria have a narrow range of rhizobia that form a novel phylogenetic clade within the *Bradyrhizobium* genus. *Syst Appl Microbiol.*, (32): 245–255.
- [24].- Amrani S., Noureddine N. E., Bhatnagar T., Argandoña M., Nieto J. J., Vargas C., 2010.- Phenotypic and genotypic characterization of rhizobia associated with *Acacia saligna* (Labill.) Wendl. in nurseries from Algeria. *Syst Appl Microbiol.* (33): 44–51.
- [25].- Khbaya B., Neyra M., Normand P., Zerhari K., Filali-Maltouf A., 1998.- Genetic diversity and phylogeny of rhizobia that nodulate *Acacia* spp. in Morocco assessed by analysis of rRNA genes, *Appl. Environ. Microbiol.*, (64): 4912-4917.
- [26].- Mahdhi M., Nzoué A., Gueye F., Merabet C., de Lajudie P., Mars M., 2007.- Phenotypic and genotypic diversity of *Genista saharae* microsymbionts from the infra-arid region of Tunisia. *Lett Appl Microbiol* 45: 604–609.
- [27].- Wolde-Meskel E., Terefework Z., Lindstrom K., Frosteg A., 2004.- Metabolic and genetic diversity of rhizobia isolated from field standing native and exotic woody legumes in Southern Ethiopia. *Syst. Appl. Microbiol.*, (27) 603–611.
- [28].- Diouf D., Samba R., Mbaye D., Ba A. T., Lesueur D., Dreyfus B., DeLajudie P., Neyra M., 2007.- Genetic diversity of *Acacia seyal* Del. Rhizobial populations indigenous to Senegalese soils in relation to salinity and pH of the sampling sites, *Microb. Ecol.* (54): 553–566.
- [29].- Fall D., Diouf D., Ourarhi M., Faye A., Abdelmounen H., Neyra M., Sylla S. N., Missbah El Idrissi M., 2008.- Phenotypic and genotypic characteristics of *Acacia senegal* (L.) Willd. root-nodulating bacteria isolated from soils in the dryland part of Senegal, *Lett. Appl. Microbiol.* (4): 785-97.