VALORISATION DE LA BIODIVERSITE ACTINOBACTERIENNE DES BIOTOPES SAHARIENS PAR LA RECHERCHE DE NOUVEAUX TAXA ET DE NOUVEAUX ANTIBIOTIQUES POTENTIELLEMENT INTERESSANTS DANS LES DOMAINES AGRO-ALIMENTAIRES ET PHARMACEUTIQUES

BOURAS N.[1,2], ZITOUNI A.[1], MOKRANE S.[1], MEKLAT A.[1], LAHOUM A.[1], MERROUCHE R.[1], BOUBETRA D[1]., BOUZNADA K.[1], CHAABANE CHAOUCH F.[1], LAMARI L.[1], SAKER R.[1], TATA S.[1], AOUICHE A.[1], BADJI B.[1], YEKKOUR A.[1], BOUDJELLA H.[1], TOUMATIA O.[1], DRICHE E.H.[1], KHEBIZI N.[1], BOUDJELAL F.[1], BELGHIT S.[1], MATHIEU F.[3], LEBRIHI A.[3], SCHUMANN P.[4], SPRÖER C.[4], KLENK H-P.[5] et SABAOU N.[1]

[1]Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM), Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger, Algeria
[2]Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, Université de Ghardaïa, BP 455, Ghardaïa 47000, Algeria
[3] Laboratoire de Génie Chimique, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France
[4]DSMZ - German Collection of Microorganisms and Cell Cultures, Inhoffenstraße 7B, 38124 Braunschweig, Germany
[5]School of Biology, Newcastle University, Ridley Building, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, United Kingdom
noureddine_bouras@yahoo.fr

Résumé : Devant la recrudescence de la résistance des bactéries aux antibiotiques, et devant les insuffisances de la thérapie fongique, l'industrie pharmaceutique s'est tournée de nouveau vers la recherche d'antibiotiques innovants. Le présent travail consiste à rechercher de nouveaux antibiotiques et de nouvelles souches productrices, à partir de biotopes particuliers. Environ 700 souches d'actinobactéries appartenant à plusieurs genres dont certains sont rares de par le monde ont été isolées à partir d'échantillons de sols sahariens (palmeraies, regs, gisements, paléosols, sols salés, sebkhas, etc.) en utilisant des techniques sélectives mises au point dans notre laboratoire. Ces souches ont été étudiées sur la base des critères morphologique, chimique, physiologique et moléculaire. Les souches ont été rattachées à 2 nouveaux genres et 26 nouvelles espèces. Les souches d'actinobactéries ont été testées contre plusieurs microorganismes pathogènes. Après la réalisation des cinétiques de production en milieu liquide, les antibiotiques ont été purifiés par chromatographie sur plaques de gel de silice et par HPLC, puis caractérisés par des études spectroscopiques qui ont abouti à leur structure chimique. Les résultats ont montré la présence de 60 antibiotiques appartenant aux familles ou groupes suivants: anthracyclines, angucyclines, macrolides, dithiolopyrrolones, caerulomycines, cyanogrisides, phénicolés, dipeptides, phthalates, alkylphenols, chaetoglobosine, furanone, antibiotiques nucléotidiques, aminosides et aromatiques. Parmi les 60 antibiotiques, 37 (près de 62%) sont des molécules originales. Les concentrations minimales inhibitrices ont été réalisées. Un brevet a été déposé pour certaines molécules appartenant aux familles des anthracyclines et des macrolides. Certaines anthracyclines, angucyclines et dithiolopyrrolones sont connues pour leur activité anticancéreuse. Les macrolides et les aminosides sont très utilisés pour le traitement des infections bactériennes, et les antibiotiques nucléotidiques pour les traitements antiviraux. Certains antibiotiques appartenant à ces familles sont aussi utilisés pour le traitement des plantes contre les maladies bactériennes et fongiques. Ceci rehausse l'intérêt d'une telle étude dont les perspectives s'avèrent assez intéressantes.

Mots clés: actinobactéries, biotopes sahariens, taxonomie, nouvelles espèces bactériennes, nouveaux antibiotiques.

تثمين التنوع البيولوجي للأكتينوباكتريا في النظم البيئية الصحراوية من خلال البحث عن أنواع بكتيرية جديدة ومضادات حيوية جديدة مفيدة في المجالات الزراعية-الغذائية والصيدلانية

ملخص : تمثّل زيادة المقاومة البكتيرية للمضادات الحيوية وكذا القصور في علاج الفطريات، محفزا لمصانع الأدوية للبحث عن مضادات حيوية جديدة. يتضمن هذا العمل البحث عن مضادات حيوية جديدة انطلاقا من سلالات بكتيرية جديدة معزولة من أنظمة بيئية صحراوية. تم عزل حوالي 700 سلالة من الأكتينوباكتيريا والتي تنتمي إلى عدة أجناس نادرة في العالم وذلك من عينات التربة الصحراوية (بساتين النخيل، والرواسب، والترب المالحة، والسبخات، إلخ) باستخدام تقنيات انتقائية تم تطويرها في مختبرنا . تمت دراسة هذه السلالات على أساس المعايير المورفولوجية والكيميائية والفسيولوجية والجزيئية. وقد تم تحديد جنسين جديدين و 26 نوعا جديدا. وقد تم اختبار هذه السلالات المعزولة ضد العديد من الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض. وقد أنجزت حركية إنتاج المضادات الحيوية في أوساط مغذية سائلة. وقد تم إنتاج المضادات الحيوية، وتنقيتها بواسطة مختلف الطرق الكروماتوغرافية (HPLC وغيرها)، كما تحديد بنيتها الكيميائية بواسطة الدراسات الطيفية. وأظهرت النتائج وجود 60 مضادا حيويا تنتمي إلى المجموعات الكيميائية التالية: الأنثراسيكلينات، الأنقوسكلينات، الماكروليدات، الديثيولوبيرولونات، السيرولوميسينات، السيانوقريزيدات، الفينيكولات، ثنائي الببتيدات، الفثالات، الألكيل فينولات، الكيتوغلوبوسينات، الفيورانون، المضادات الحيوية النوكليوتيدية، الأمينوغليكوزيدات والمضادات الحيوية العطرية. 37 من مجموع هذه المضادات الحيوية (وهو ما يمثل حوالي 62%) هي جزيئات أصلية تعرف لأول مرة، كما تم تحديد الحد الأدنى من التركيزات المثبطة. وقد نجم عن ذلك تقديم براءة اختراع لجزيئات معينة تعود لعائلات الأنثراسكلينات والماكروليدات. بعض الأنثراسيكلينات، والأنقوسكلينات والديثيولوبيرولونات معروفة بأنشطتها المفيدة المضادة للسرطان. وتستخدم الماكروليدات والأمينوغليكوزيدات على نطاق واسع لعلاج الالتهابات البكتيرية. وتستعمل المضادات الحيوية النوكليوتيدية كمضادات للفيروسات. وتستخدم بعض المضادات الحيوية التي تنتمي إلى هذه المجموعات أيضا لعلاج أمراض النباتات الأمراض التي تسببها البكتريا والفطريات. وهذا يعزز الاهتمام بمثل هذه الدراسات والتي لها آفاق مثيرة للاهتمام.

كلمات دالة : الأكتينوبكتريا، الأنظمة الصحراوية، التصنيف، مضادات حيوية جديدة، أنواع بكتيرية جديدة.

1. INTRODUCTION

Devant la recrudescence de la résistance des bactéries aux antibiotiques, et devant les insuffisances de la thérapie fongique, l'industrie pharmaceutique s'est tournée de nouveau vers la recherche d'antibiotiques innovants [1]. A cet effet, nous présentons une rétrospective des travaux de notre laboratoire sur la recherche de nouveaux antibiotiques et de nouvelles souches ou espèces d'actinobactéries (bactéries à Gram positif, à GC ≥ à 55% et dont la plupart sont mycéliennes) à partir des biotopes sahariens qui ne sont pas encore bien exploités [1].

2. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Environ 700 souches d'actinobactéries mycéliennes appartenant à plusieurs genres dont certains sont rares de par le monde ont été isolées à partir d'échantillons de sols sahariens (palmeraies, regs, gisements, paléosols, sols salés, sebkhas, etc.) en utilisant des techniques sélectives mises au point dans notre laboratoire. Ces souches ont été étudiées d'un point taxonomique sur la base des critères morphologiques, chimiques (analyse des constituants cellulaires), physiologiques et moléculaires (séquençage du gène codant pour l'ARNr 16S, phylogénie et parfois hybridation ADN/ADN si cela est nécessaire).

L'ensemble des résultats obtenus au niveau de laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (en collaboration avec plusieurs laboratoires européens) ont été présentés comme une synthèse d'une vingtaine d'années de travaux de recherches.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les souches isolées ont été rattachées à 2 nouveaux genres et 26 nouvelles espèces. Les nouveaux taxons obtenus sont les suivants:

- Nouveaux genres (et espèces) : *Mzabimyces algeriensis* [2] et *Bounagaea algeriensis* [3].
- Genre *Saccharothrix* (6 nouvelles espèces): *S. algeriensis* [4], *S. saharensis* [5], *S. hoggarensis* [6], *S. tamanrassetensis* [7], *S. isguenensis* [8] et *S. ghardaiensis* [9].
- Genre *Actinopolyspora* (5 nouvelles espèces): *A. algeriensis* [10], *A. saharensis* [11], *A. mzabensis* [12], *A. righensis* [13] et *A. biskrensis* [14].
- Genre *Streptosporangium* (3 nouvelles espèces): *Sg. algeriense* [15], *Sg. saharense* [16] et *Sg. becharense* [17].

- Genre *Actinomadura* (2 nouvelles espèces): *Ac. algeriensis* [18] et *Ac. adrarensis* [19].
- Nouvelles espèces appartenant à d'autres genres: *Planomonospora algeriensis* [20], *Streptomonospora algeriensis* [21], *Nocardiopsis algeriensis* [22], *Actinophytocola algeriensis* [23], *Saccharopolyspora ghardaiensis* [24], *Actinokineospora mzabensis* [25], *Prauserella isguenensis* [26], *Actinoalloteichus hoggarensis* [27] et *Thermoactinomyces khenchelensis* [28]. Nous signalons que *Thermoactinomyces khenchelensis*, bien que ce soit une bactérie mycélienne, est classée parmi les *Firmicutes* en raison de son GC < à 55% et de sa phylogénie.

Les souches d'actinobactéries ont été testées contre plusieurs microorganismes pathogènes pour les plantes (phytopathogènes) ou pathogènes et/ou toxinogènes pour l'homme. Les souches ayant montré un spectre d'action intéressant ont été retenues pour une étude approfondie de leurs antibiotiques. Après la réalisation des cinétiques de production en milieux liquides, les antibiotiques ont été purifiés par chromatographie sur plaques de gel de silice ou sur colonne de séphadex LH20, et par HPLC, puis caractérisés par des études spectroscopiques (UV-Visible, Infra Rouge, RMN du proton et du carbone 13) qui ont abouti à leur structure chimique.

Les résultats ont montré la présence de 62 antibiotiques appartenant aux familles ou groupes indiqués ci-dessous.

- Anthracyclines: mutactimycines C, PR, F et G [29, 30].
- Angucyclines : saquayamycines A et C [31], vinéomycine A1 [25], antibiotiques X3 et X4 (Tata *et al*., résultats non publiés).
- Angucyclinones: antibiotique R2 [32], rabélomycine (Tata *et al*., résultats non publiés).
- Macrolides: aldgamycines G et H et swalpamycine B [28]; oligomycines A et E [33].
- Dithiolopyrrolones: 3-méthyl-2-butenoyl-pyrrothine, tigloyl-pyrrothine et *n*-butyro-pyrrothine [34], valéryl-pyrrothine, benzoyl-pyrrothine, déméthyl-benzoyl-pyrrothine et formoyl-pyrrothine [35], isovaléryl-pyrrothine, crotonyl-pyrrothine, sorbyl-pyrrothine, 2-hexonyl-pyrrothine et 2-méthyl-3-pentenyl-pyrrothine [36, 37].
- Caerulomycines: caerulomycine A (isomère E), caerulomycine A (isomère Z), caerulomycine F et caerulomycinonitrile [38].
- Cyanogrisides: cyanogrisides I, J, K et L [38].
- Phénicolés (aromatique): chloramphénicol [39].
- Epoxy-β-aminocétone : antibiotique M [37].
- Dipeptides contenant de l'acide hydroxamique [40].
- Phthalates: di-(2-ethylhexyl) phthalate [41].
- Aromatiques: maculosine [37], antibiotiques 104A1, 104A2 et 104A3 [42], NM94A1, NM94A2, NM94A3, NM94A4 et NM94A5 [43], et 170A [44].
- Composés insaturés et époxylés : antibiotiques A4 et A5 [45].
- Alkylphenols: 4-di-tert-butylphénol [46].
- Alcaloïdes : chaetoglobosine A [24].
- Furanone: antibiotique AT37 [47].
- Composés cycliques contenant des acides aminés : actinomycine D [48].
- Aminosides (structure partielle): antibiotiques A, B, C et D [49], antibiotique F1 [50].
- Antibiotiques nucléotidiques: ZA01 et ZA02 (structures partielles) [51].

Parmi les 62 antibiotiques, 37 (environ 60%) sont des molécules originales. Les concentrations minimales inhibitrices ont été réalisées. Un brevet a été déposé pour certaines molécules appartenant aux familles des anthracyclines et des macrolides. Les figures 1, 2, 3, 4 et 5 montrent la structure de certains antibiotiques nouveaux.

15 dithiolopyrrolones selon le radical R.
R = -CH_3. Thiolutine.
R = -$CH(CH_3)_2$. Iso-butyryl-pyrrothine*.
R = -$(CH_2)_2$-CH_3. Butanoyl pyrrothine.
R = -CH=$C(CH_3)_2$. Sénécioyl pyrrothine*.
R = -$C(CH_3)$=$CH(CH_3)$. Tigloyl pyrrothine*.
R = -C_6H_5. Benzoyl pyrrothine*.
R = -C_5H_9. Penténoyl pyrrothine*.
R = -H. Formyl-pyrrothine.
R = -CH_2-CH_3. Propionyl-pyrrothine (= auréothricine).
R = -CH_2-CH_2-CH_2-CH_3. Valéryl-pyrrothine*.
R = -$CH(CH_3)$-CH_2-CH_3. Isovaléryl-pyrrothine*.
R = -CH=CH-CH_3. Crotonyl-pyrrothine*.
R = -CH=CH-CH=CH-CH_3. Sorbyl-pyrrothine*.
R = -CH=CH-CH2-CH_2-CH_3. Sorbyl-pyrrothine réduite*.
R = -CH_3. Holomycine (comme la thiolutine, mais possède un H lié à l'azote n° 4 au lieu du CH_3 comme la thiolutine).

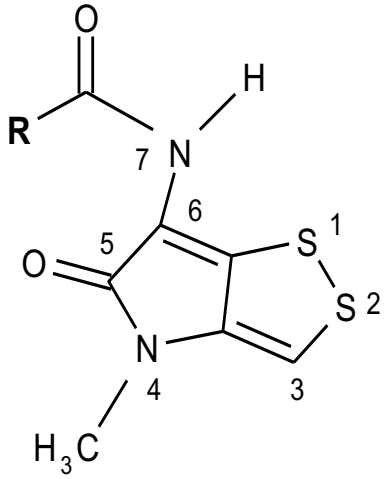

Figure 1. Structure des dithiolopyrrolones sécrétés par *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137 (* = nouveaux antibiotiques).

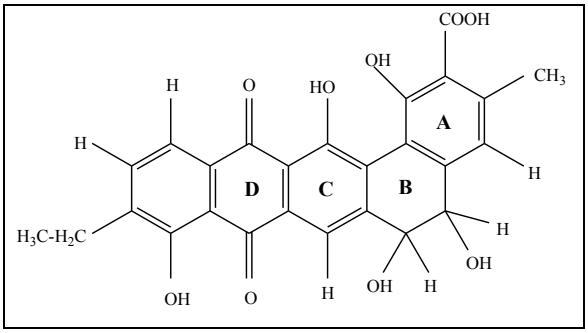

Figure 2. Nouvel antibiotique (R2) de la famille des angucyclinones sécrété par *Streptosporangium* Sg3.

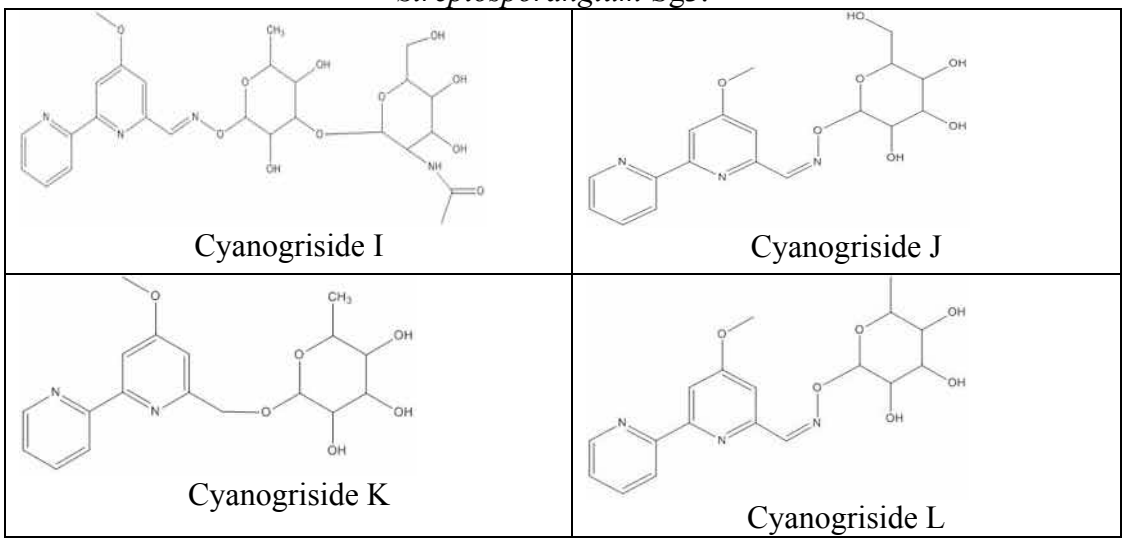

Figure 3. Nouveaux antibiotiques du groupe des cyanogrisides sécrétés par *Saccharothrix* sp. ABH26.

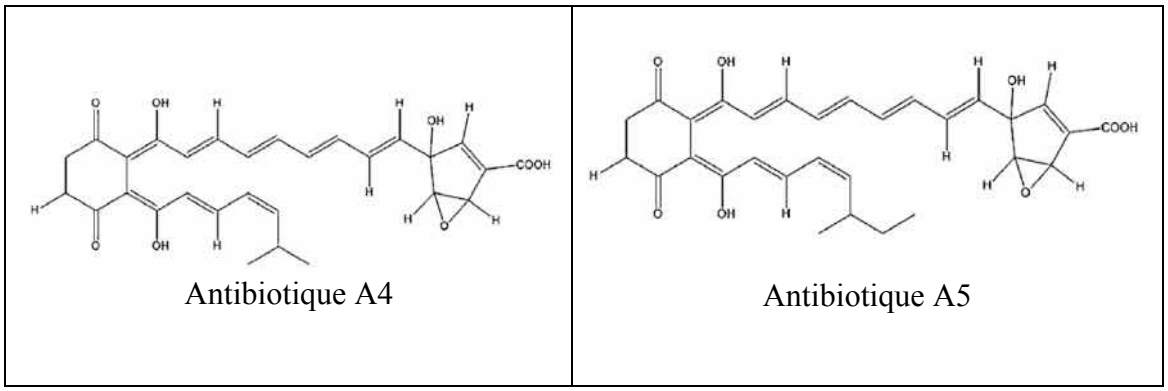

Figure 4. Nouveaux antibiotiques (A4 et A5) sécrétés par *Saccharothrix tamanrassetensis* SA198.

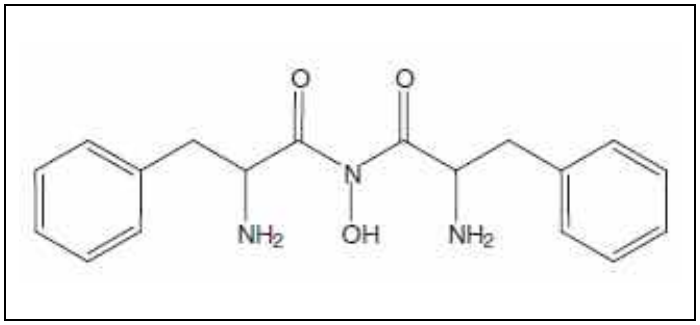

Figure 5. Nouvel antibiotique dipeptidique (W9) sécrété par *Streptomyces* sp. WAB9.

Les antibiotiques (parmi lesquels certains sont nouveaux) possèdent des activités qui sont très souvent très fortes contre les bactéries à Gram positif et les champignons, et faibles, moyennes à fortes contre les bactéries à Gram négatif. Les microorganismes inhibés sont pathogènes ou toxinogènes pour l'homme ou encore phytopathogènes.

Saccharothrix algeriensis et ses dithiolopyrrolones ont montré une protection très intéressante contre la fusariose de plusieurs plantes [52]. Il en est de même pour *Streptomyces mutabilis* et l'actinomycine D qu'elle sécrète [48], ainsi que d'autres souches d'actinobactéries et les antibiotiques sécrétés.

De même, plusieurs souches d'actinobactéries (appartenant aux genres *Streptomyces* et *Saccharothrix*) se sont révélées capable de dégrader presque totalement l'aflatoxine B [53], une mycotoxine qui est très cancérogène, ce qui ajoute de l'importance au souches.

Certaines anthracyclines, angucyclines, angucyclinones et dithiolopyrrolones sont connues dans la littérature pour leur activité anticancéreuse. Les macrolides et les aminosides sont très utilisés pour le traitement des infections bactériennes, et les antibiotiques nucléotidiques pour les traitements antiviraux. Certains antibiotiques appartenant à ces familles sont aussi utilisés pour le traitement des plantes contre les maladies bactériennes et fongiques.

Ceci rehausse l'intérêt d'une telle étude dont les perspectives s'avèrent assez intéressantes.

REFERENCES

[1] Sabaou N., Boudjella H., Bennadji A., Mostefaoui A., Zitouni A., Lamari L., Bennadji H., Lefèbvre G., Germain P. (1998). Les sols des oasis du Sahara algérien, source d'actinomycètes rares producteurs d'antibiotiques. *Sécheresse.* 9,147–153

[2] Saker R., Bouras N., Zitouni A., Ghoul M., Rhode M., Schumann P., Spröer C., Sabaou

N., Klenk H-P. (2014). *Mzabimyces algeriensis* gen. nov., sp. nov., a halophilic filamentous actinobacterium isolated from Saharan soil, and proposal of *Mzabimycetaceae* fam. nov. *Antonie van leeuwenhoek.* 106: 1021–1030.
[3] Meklat A., Bouras N., Mokrane S., Zitouni A., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2015). *Bounagaea algeriensis* gen. nov., sp. nov., an extremely halophilic actinobacterium isolated from a Saharan soil of Algeria. *Antonie van leeuwenhoek.* 108: 473–482.
[4] Zitouni, A., Lamari, L., Boudjella, H., Badji, B., Sabaou, N., Gaouar, A., Mathieu, F., Lebrihi, A., Labeda, D.P. (2004a). *Saccharothrix algeriensis* sp. nov., isolated from Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 54: 1377–1381.
[5] Boubetra D., Zitouni A., Bouras N., Mathieu F., Lebrihi A., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2013a). *Saccharothrix saharensis* sp. nov., an actinomycete isolated from Algerian Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 63: 3744–3749.
[6] Boubetra D., Zitouni A., Bouras N., Mathieu F., Lebrihi A., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2013b). *Saccharothrix hoggarensis* sp. nov., a novel actinomycete isolated from Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 63: 549–553.
[7] Boubetra D., Zitouni A., Bouras N., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2015). *Saccharothrix tamanrassetensis* sp. nov., an actinomycete isolated from Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 65: 1316–1320.
[8] Bouznada K., Bouras N., Mokrane S., Chaabane Chaouch F., Zitouni A., Pötter G., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2016a). *Saccharothrix isguenensis* sp. nov., a novel actinobacterium isolated from Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 66: 4785–4790.
[9] Bouznada K., Bouras N., Mokrane S., Chaabane Chaouch F., Zitouni A., Pötter G., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2017). *Saccharothrix ghardaiensis* sp. nov., an actinobacterium isolated from Saharan soil. *Antonie van leeuwenhoek.* 110: 399–405.
[10] Meklat A., Bouras N., Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2012). *Actinopolyspora algeriensis* sp. nov., a novel halophylic actinomycete isolated from Saharan soil. *Extremophiles.* 16: 771–776.
[11] Meklat A., Bouras N., Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2013a). *Actinopolyspora saharensis* sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from a Saharan soil of Algeria. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 103: 771–776.
[12] Meklat A., Bouras N., Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2013b). *Actinopolyspora mzabensis* sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from an Algerian Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 63: 3787–3792.
[13] Meklat A., Bouras N., Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2013c). *Actinopolyspora righensis* sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from Saharan soil in Algeria. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 104: 301–307.
[14] Saker R., Bouras N., Meklat A., Zitouni A., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P, Sabaou N. (2015a). *Actinopolyspora biskrensis* sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from northern Sahara. *Current Microbiology.* 70: 423–428.
[15] Boubetra D., Bouras N., Zitouni A., Schumann P., Spröer C., Sabaou N., Klenk H-P. (2016). *Streptosporangium algeriense* sp. nov., an actinobacterium isolated from desert soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 66: 1034–1038.
[16] Chaabane Chaouch F., Bouras N., Mokrane S., Zitouni A., Schumann P., Spröer C., Sabaou N., Klenk H-P. (2016a). *Streptosporangium saharense* sp. nov., an actinobacterium

isolated from Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 66: 1371–1376.
[17] Chaabane Chaouch F., Bouras N., Mokrane S., Zitouni A., Schumann P., Spröer C., Sabaou N., Klenk H-P. (2016b). *Streptosporangium becharense* sp. nov., an actinobacterium isolated from Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 66: 2484–2490.
[18] Lahoum A., Bouras N., Mathieu F., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2015). *Actinomadura algeriensis* sp. nov., an actinobacterium isolated from Saharan soil. *Antonie van leeuwenhoek.* 109: 159–165.
[19] Lahoum A., Bouras N., Verheecke C., Mathieu F., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2016). *Actinomadura adrarensis* sp. nov., an actinobacterium isolated from Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 66: 2724–2729.
[20] Chaabane Chaouch F., Bouras N., Mokrane S., Bouznada K., Zitouni A., Pötter G., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2017). *Planomonospora algeriensis* sp. nov., an actinobacterium isolated from a Saharan soil of Algeria. *Antonie van leeuwenhoek.* 110: 245–252.
[21] Meklat A., Bouras N., Riba A., Zitouni A., Mathieu F., Rhode M., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P., Sabaou N. (2014a). *Streptomonospora algeriensis* sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from soil in Algeria. *Antonie van leeuwenhoek.* 106: 287–292.
[22] Bouras N., Meklat A., Zitouni A., Mathieu F., Schumann P., Spröer C., Sabaou N., Klenk H-P. (2015). *Nocardiopsis algeriensis* sp. nov., an alkalitolerant actinomycete isolated from Saharan soil. *Antonie van leeuwenhoek.* 107: 313–320.
[23] Bouznada K., Bouras N., Schumann P., Spröer C., Sabaou N., Klenk H-P. (2016b). *Actinophytocola algeriensis* sp. nov., an actinobacterium isolated from Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 66: 4785–4790.
[24] Meklat A., Bouras N., Zitouni A., Sabaou N., Mathieu F., Schumann P., Spröer C., Klenk H-P. (2014b). *Saccharopolyspora ghardaiensis* sp. nov., an extremely halophilic actinomycete isolated from Algerian Saharan soil. *Journal of Antibiotics.* 67: 299–303.
[25] Aouiche A., Bouras N., Mokrane S., Zitouni A., Schumann P., Spröer C., Sabaou N., Klenk H-P. (2015). *Actinokineospora mzabensis* sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from soil in Algeria. *Antonie van leeuwenhoek.* 107: 291–296.
[26] Saker R., Bouras N., Meklat A., Zitouni A., Schumann P., Spröer C., Sabaou N., Klenk H-P. (2015b). *Prauserella isguenensis* sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from desert soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 65: 1598–1603.
[27] Boudjelal F., Zitouni A., Bouras N., Schumann P., Spröer C., Sabaou N., Klenk H-P. (2015). *Actinoalloteichus hoggarensis* sp. nov., an actinomycete isolated from Saharan soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 65: 2006–2010.
[28] Mokrane S., Bouras N., Meklat A., Lahoum A., Zitouni A., Verheecke C., Mathieu F., Schumann P., Spröer C., Sabaou N., Klenk H-P. (2016). *Thermoactinomyces khenchelensis* sp. nov., a filamentous bacterium isolated from soil sediment of terrestrial hot spring. *Antonie van leeuwenhoek.* 109: 311–317.
[29] Zitouni A., Boudjella H., Mathieu F., Sabaou N., Lebrihi A. (2004b). Mutactimycin PR, a new anthracycline antibiotic from *Saccharothrix* sp. SA 103. I. Taxonomy, fermentation, isolation and biological activities. *Journal of Antibiotics*. 57: 367–372.
[30] Zitouni A., Mathieu F., Coppel Y., Pont F., Sabaou N., Lebrihi A. (2004c). Mutactimycin PR, a new anthracycline antibiotic from *Saccharothrix* sp. SA 103. II. Physicochemical properties and structure elucidation. *Journal of Antibiotics*. 57: 373–378.
[31] Aouiche A., Bijani C., Zitouni A., Mathieu F., Sabaou N. (2014). Antimicrobial activity of saquayamycins produced by *Streptomyces* spp. PAL114 isolated from a Saharan soil.

Journal of Medical Mycology. 24: 17–23.
[32] Boudjella H., Zitouni A., Coppel Y., Mathieu F., Monje M-C, Sabaou N., Lebrihi A. (2010). Antibiotic R2, a new angucyclinone compound from *Streptosporangium* sp. Sg3. *Journal of Antibiotics*. 63: 709–711.
[33] Khebizi N., Boudjella H., Bijani C., Bouiras N., Klenk H-P., Mathieu F., Sabaou N. (2017). Oligomycins A and E, major bioactive secondary metabolites produced by *Streptomyces* sp. strain HG29 isolated from a Saharan soil. *Journal of Medical Mycology.* 16: 30260–30268.
[34] Lamari L., Zitouni A., Boudjella H., Badji B., Sabaou N., Lebrihi A., Lefebvre G., Seguin E., Tillequin F. (2002). New dithiolopyrrolone antibiotics from *Saccharothrix* sp. SA 233 – I. Taxonomy, production, isolation and biological properties. *Journal of Antibiotics*. 55: 696–701.
[35] Bouras N., Merrouche R., Lamari L., Mathieu F., Sabaou N., Lebrihi A. (2008). Precursor-directed biosynthesis of new dithiolopyrrolone analogs by *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137 *Process Biochemistry*, 43: 1244–1252.
[36] Merrouche R., Bouras N., Coppel Y., Mathieu F., Sabaou N., Lebrihi A. (2011). New dithiolopyrrolones antibiotics induced by adding sorbic acid to the culture medium of *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137. *FEMS Microbiology Letters*. 318: 41–46.
[37] Merrouche R., Bouras N., Coppel Y., Mathieu F., Monje M-C., Sabaou N., Lebrihi A. (2010). Dithiolopyrrolone antibiotic formation induced by adding valeric acid to the culture broth of *Saccharothrix algeriensis Journal of Natural Products*. 73: 1164–1166.
[38] Lahoum A. (2017). Souches d'actinobactéries mycéliennes des sols sahariens: mise en évidence de nouvelles espèces et de nouveaux antibiotiques et réduction de la concentration en aflatoxine B1. Thèse de Doctorat soutenue à l'ENS de Kouba.
[39] Aouiche A., Meklat A., Sabaou N, Zitouni A., Bijani C., Mathieu F., Lebrihi A. (2012). *Saccharothrix* sp. PAL54, a new chloramphenicol-producing strain isolated from a Saharan soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 42: 943–951.
[40] Yekkour A., Meklat A., Bijani C., Toumatia O., Errakhi R., Lebrihi A., Mathieu F., Zitouni A., Sabaou N. (2015). A novel hydroxamic acid-containing antibiotic produced by a Saharan soil-living *Streptomyces* strain. *Letters in Microbiology*. 60: 589–596.
[41] Driche E.H., Belghit S., Bijani C., Zitouni A., Sabaou N., Mathieu F., Badji B. (2015). A new *Streptomyces* strain isolated from Saharan soil produces di-(2-ethylhexyl) phthalate, a metabolite active against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Annals of Microbiology*. 65: 1341-1350.
[42] Badji B., Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Sabaou N. (2006). Antimicrobial compounds produced by *Actinomadura* sp. AC104, isolated from an Algerian Saharan soil. *Canadian Journal of Microbiology*. 52: 373-382.
[43] Badji B., Mostefaoui A., Sabaou N., Mathieu F., Germain P., Lebrihi A., Seguin E., Tillequin F. (2007). Isolation and partial characterization of antifungal antibiotics from a new strain, *Nonomuraea* sp. NM 94. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 34: 403-412.
[44] Badji B, Mostefaoui A, Sabaou N, Mathieu F, Lebrihi A (2011). Identification of a new strain of *Actinomadura* isolated from Saharan soil and partial characterization of its antifungal compounds. *African Journal of Biotechnology.* 10: 13878–13886.
[45] Boubetra D., Sabaou N., Zitouni A., Bijani C., Lebrihi A., Mathieu F. (2013c). Taxonomy and chemical characterization of new antibiotics produced by *Saccharothrix* SA198 isolated from a Saharan soil. *Microbiological Research.* 168: 223–230.
[46] Belghit S, Driche EH, Bijani C, Zitouni A., Sabaou N., Badji B., Mathieu F. (2016). Activity of 2 ,4-Di-tert-butylphenol produced by a strain of *Streptomyces mutabilis* isolated from a Saharan soil against *Candida albicans* and other pathogenic fungi. *Journal of Medical*

Mycology. 26:160–169.
[47] Driche E.H., Sabaou N., Bijani C., Zitouni A., Pont F., Mathieu F., Badji B. (2017). *Streptomyces* sp. AT37 isolated from a Saharan soil produces a furanone derivative active against multidrug-resistant *Staphylococcus aureus*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 33: 105–115.
[48] Toumatia O., Yekkour A., Goudjal Y., Riba A., Coppel Y., Mathieu F., Sabaou N. and Zitouni A. 2014. Antifungal properties of an actinomycin D-producing strain, *Streptomyces* sp. IA1, isolated from a Saharan soil. *Journal of Basic Microbiology*. 54: 1–8.
[49] Boudjella H., Bouti, Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Sabaou N. 2006. Taxonomy and chemical characterization of antibiotics of *Streptosporangium* Sg 10 isolated from a Saharan soil. *Microbiological Research*. 161: 288–298.
[50] Boudjelal F., Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Sabaou N. 2011. Taxonomy and antimicrobial activities of two novel halophilic *Saccharomonospora* strains isolated in Algerian Sahara soils. *Annals of Microbiology*. 61: 299–305.
[51] Zitouni A. (2005). Nouveaux composés actifs mutactimycines et aldgamycines et leur utilisation thérapeutique. Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Sabaou N. Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT). EP 2202293 A2.
[52] Merrouche R., Yekkour A., Lamari L., Zitouni A., Mathieu F., Sabaou N. (2017). Efficiency of *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137 and its produced antifungal dithiolopyrrolones compounds to suppress *Fusarium oxysporum*-Induced wilt disease occurring in some cultivated crops. *Arab Journal of Science Engineering*, 42: 2321-2327.
[53] Lahoum A., Verheecke-Vaessen C., Bouras N., Sabaou N., Mathieu F. (2017). Taxonomy of mycelial actinobacteria isolated from Saharan soils and their efficiency to reduce aflatoxin B1 content in a solid-based medium. *Annals of Microbiology*. 67: 231–237.

CONTRAINTES AGRO-ENVIRONNEMENTALES ET DEVELOPPEMENT AGRICOLE AU SAHARA SEPTENTRIONAL

DADDI BOUHOUN M.

Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-Arides, Université Kasdi Merbah-Ouargla
daddibm@yahoo.fr

Résumé : Les palmeraies au Sahara algérien restent confrontées à des contraintes agro-environnementales, notamment hydro-édaphiques. Au Sahara septentrional, la nappe phréatique est considérée comme source d'eau, de sels solubles et peu solubles, en fonction de la profondeur de la nappe phréatique et le mode d'exploitation. Les contraintes hydro-édaphiques sont de type hydrique, mécanique de croûtes gypseuses et salines. Les approches adoptées dans le cadre des recherches entreprises sur plusieurs années ont eu pour objectif principal d'étudier les modes d'exploitation en palmeraies des eaux phréatiques, et d'apprécier leurs impacts abiotique et biotique. Les résultats acquis montrent que les régions sahariennes étudiées, comme Ouargla, Oued Righ, Oued Souf et Oued M'Zab présentent souvent des sols de caractéristiques morpho-analytiques variables, de nappes phréatiques profondes à superficielles, avec ou sans obstacles mécaniques. Les effets de la fluctuation de la nappe phréatique ont conduit à l'assèchement ou à l'engorgement des palmeraies. Ils produisent avec les obstacles mécaniques des dynamiques hydro-salines variables en fonction des biotopes. Il semble que les ressources phréatiques peuvent constituer une contrainte environnementale majeure dans les oasis sahariennes par les stress abiotiques qu'elle produit, notamment en limitant le potentiel agricole des palmeraies. Des aménagements régionaux restent primordiaux pour une meilleure conservation et valorisation des ressources phréatiques, garant du développement durable des régions sahariennes.

Mots clés : ressources, phréatiques, contraintes, environnement, palmeraies, Sahara.

العوائق الزراعية البيئية والتنمية الزراعية في شمال الصحراء

ملخص : لا تزال بساتين النخيل في الصحراء الجزائرية تواجه قيودا بيئية زراعية، خاصة المائية الترابية. في شمال الصحراء، يعتبر المسطح المائي مصدرا للمياه، والأملاح القابلة للذوبان و غير القابلة للذوبان، حسب عمق المسطح المائي و طريقة استغلال. والعوائق المائية الترابية هي مائية، وميكانيكا على شكل قشور جبسية مالحة. وتتمثلت الأهداف الرئيسية للبحوث التي أجريت على مدى عدة سنوات في دراسة طرق الاستغلال في بساتين نخيل للمياه الجوفية وتقييم آثارها الغير الحيوية والأحيائية. وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن المناطق الصحراوية التي تمت دراستها، مثل ورقلة وواد ريغ وواد سوف وواد مزاب تتميز غالبا بتربة ذات خصائص شكلية تحليلية متغيرة، و ذات طبقة مياه جوفية عميقة إلى ضحلة، مع أو بدون عوائق ميكانيكية. وقد أدت آثار تقلب مستوى المياه الجوفية إلى تجفيف أو غمر بساتين النخيل. تنتج مع العوائق الميكانيكية حركية مائية مالحة متغير وفقا للملجأ الأحيائي. ويبدو أن موارد الطبقة المائية السطحية يمكن أن تشكل عائقا بيئيا رئيسيا في الواحات الصحراوية بسبب التثبيط اللاأحيائية التي تنتجها، ولا سيما من خلال الحد من الإمكانيات الزراعية لبساتين النخيل. والتهيئة المحلية تبقى ضرورية للمحافظة واستثمار الموارد المائية السطحية لضمان التنمية المستدامة للمناطق الصحراوية.

كلمات دالة : الموارد، المسطح المائي ، عوائق ، البيئة، بساتين النخيل، الصحراء.

1. INTRODUCTION

Les régions sahariennes restent confrontées à des problèmes d'exploitations de leurs ressources naturelles, particulièrement celles liées aux ressources hydro-édaphiques. Celles-ci posent des contraintes, de type hydrique de nappe phréatique, mécanique de croûtes gypso-calcaires et salines par les eaux d'irrigation et la remontée capillaire des eaux phréatiques. Les régions sahariennes présentent le plus souvent des caractéristiques morpho-analytiques variables, de nappes phréatiques profondes à superficielles, avec ou sans obstacles mécaniques. Nos recherches visent à apprécier les ressources phréatiques et les contraintes environnementales posées en palmeraies sahariennes par un diagnostic de causes à effets agro-environnemental, reposant sur les résultats observés au cours des dernières années de recherches.

En 1996, la surface irriguée dans le monde représente 275 millions d'hectares, soit un peu moins du sixième des terres cultivées. Il faut dire que, sous un climat aride, l'irrigation

apparaît indispensable [1].

L'irrigation entraîne généralement la remontée des nappes dans les sols jusqu'à l'engorgement de la zone racinaire des cultures. La nature saline des nappes phréatiques, en particulier dans les régions arides et semi-arides du monde, provoque l'accumulation des sels dans la zone racinaire [2]. La salinisation des sols mal drainés, par les eaux d'irrigation et les eaux phréatiques chargées en sels, provoque la diminution des rendements du palmier dattier [3, 4].

La mauvaise gestion des eaux d'irrigation et de drainage présente des conséquences préjudiciables sur l'environnement phoenicicole dans les régions sahariennes [5]. Elle a entraîné dans les régions du Sud Est algérien, notamment dans l'Oued Righ et dans la cuvette de Ouargla la salinisation des sols et la chute des rendements [6, 7, 8, 9].

2. MATERIELS ET METHODES

Nos activités de recherches se proposent de faire le point sur les problèmes en relation avec l'environnement agro-écologique, réalisées au laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi-arides. Les thèmes de recherches s'inscrivent dans le cadre des axes de l'équipe pédologie, concrétisés par l'encadrement en graduation et post-graduation, les projets de recherches avec les C.R.S.T.R.A., C.N.E.P.R.U. et P.N.R., ainsi que la publication d'articles scientifiques, entre 2006 et 2018. Les études ont couvert principalement les régions de Ouargla, de Oued M'Zab, de Oued Righ et Oued Souf. Sur la base des préoccupations agro-écologiques des régions sahariennes, les thématiques développées restent liées aux problèmes agro-pédologiques et écologiques.

Cette approche méthodologique a permis d'identifier les contraintes posées, dans une relation agro-environnementale complexe, de causes à effets. Aussi, de dégagé des recommandations d'aménagement agro-environnementale adéquat qui permettent d'assurer un développement agricole saharien durable.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Problèmes agro-pédologiques

Les problèmes agro-pédologiques traitent de l'impact :

1. de l'irrigation-drainage sur la nappe phréatique, l'engorgement et la dynamique des sels dans les sols agricoles.
2. de la fertilisation organo-minérale sur les sols notamment l'effet de la fertilisation phosphatée sur les sols calcaire.

Les résultats obtenus montrent que [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] :

1. Le dysfonctionnement des périmètres agricole et les niveaux des rendements à Ouargla, Oued Righ et Oued Souf sont liés aux potentialités hydro-édaphiques et leur gestion ;
2. La salinisation des sols à Ouargla est intimement liée à la fluctuation de la nappe phréatique et présente des effets néfastes sur la nutrition minérale des cultures en palmeraies.

3.2. Problèmes écologiques

3.2.1. Gestion de l'environnement hydro-édaphique

L'étudié de la gestion de l'environnement hydro-édaphique a été évaluer à travers l'estimation des potentialités agro-environnementales et les stress abiotiques engendrés. Les résultats montrent que [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29] :

1. Les eaux des nappes superficielles de Oued M'Zab et de Ouargla sont polluées pas le déversement des eaux usées. Les crues d'Oued M'Zab réduisent cette pollution par la dilution des eaux ;

2. Le fonctionnement géochimique des Sebkhas et des Chotts à Ouargla et Oued Righ est conditionné par le bilan hydrique et la géomorphologie régionale ;
3. La remontée des nappes phréatiques est produite par le mode de gestion environnementale de ces régions, par :
   - ✓ Le manque d'aménagements hydrauliques pour évacuer les excédents des eaux ;
   - ✓ La mauvaise gestion de l'irrigation-drainage dans les palmeraies ;
4. La mauvaise gestion des ressources hydriques a contribué à la dégradation des sols et la rupture de l'équilibre écologique dans les palmeraies.

3.2.2. Dégradation de l'environnement hydro-édaphique

Les thèmes abordés ont étudié l'impact des crues des oueds et des problèmes de dégradation environnementale sur les conditions hydro-édaphiques, principalement la pollution des eaux et la remontée des eaux phréatiques. Nos travaux de recherches dans les oasis montrent que [30, 31, 32, 33] :

1. Le déversement des eaux usées pollue les sebkhas de Ouargla ;
2. Les crues de l'Oued M'Zab réduisent la salinité des sols par lixiviation ;
3. La remontée des nappes phréatiques à Ouargla, Oued Righ et Oued Souf augmente l'hydro-halomorphie des sols et met en péril l'équilibre du système oasien.

3.2.3. Impact des stress abiotiques sur la végétation

Ces recherches ont concerné l'étude de l'impact des stress abiotiques dans les oasis sur le développement floristique et la phoeniciculture. Les résultats montrent que [34, 35, 36, 37, 38] :

1. Les stress engendrés par la remontée des eaux phréatiques favorisent la prédominance de plantes tolérantes : hydrophytes, halophytes et gypsophytes ;
2. Les stress hydro-salin et mécanique à Ouargla et hydrique à Oued Souf ont des impacts négatifs sur le développement racinaire et la nutrition des palmiers dattiers "Déglet-Nour et Ghars" ;
3. Les stress abiotiques engendrés par l'environnement de ces oasis contribuent à la chute des rendements et au dépérissement des palmiers dans certaines situations extrêmes.

Les travaux sur le palmier dattier en rapport avec les contraintes hydriques, mécaniques et salines ont abouti aux propositions suivantes :

- ➢ De nouveaux modèles de chutes de rendements ;
- ➢ La classification des palmeraies suivant les niveaux des contraintes.

3.3. Développement agricole

Le développement de l'activité agricole doit s'intégrer dans une vision de développement durable, respectueuse de l'environnement. Les problèmes observés dans les régions sahariennes montrent une défaillance dans la gestion des ressources agro-environnementales. Il devient nécessaire pour la réussite et la durabilité des projets de mise en valeur que :

1. Le plan d'aménagement régional agricole doit maintenir l'équilibre écologique, en évitant la dégradation des sols par hydro-halomorphie;
2. La gestion rationnelle des ressources hydriques (souterraines, usées et de drainage) doit assurer l'équilibre hydrique par rapport aux besoins agricoles et aux fluctuations des nappes superficielles;
3. La gestion des sols doit prendre en considération les besoins des cultures et les contraintes hydro-salines et mécaniques des stress;
4. La phoeniciculture reste stratégique à promouvoir et valoriser, vu sa place dans le

système oasien et son rôle socio-économique.

Devant cette situation sensible, il est impératif de mettre en application un plan d'aménagement global en vue de valoriser les ressources hydro-édaphiques disponibles et améliorer la situation de l'agriculture dans les régions sahariennes.

4. CONCLUSION

Les éléments dégagés de notre activité de recherches ont permis d'apporter de nouveaux éléments dans l'analyse des risques de la dégradation des milieux oasiens. Il ressort que l'activité agro-urbaine doit s'intégrer dans une vision de développement durable respectueuse de l'environnement. Les problèmes observés dans les régions sahariennes montrent une défaillance dans la gestion des ressources phréatiques. Il devient nécessaire pour la réussite et la durabilité de l'environnement oasien que :

- Le plan d'aménagement régional et agricole doit maintenir l'équilibre écologique, en évitant la dégradation des sols par hydro-halomorphie ;
- La gestion rationnelle des ressources hydriques (souterraines, usées et de drainage) doit assurer l'équilibre hydrique par rapport aux besoins agricoles et aux fluctuations des nappes phréatiques.

REFERENCES

[1] Robert M., Cheverry C., 1996.- Les ressources mondiales en eau et en sols : une limitation pour l'avenir. Cah. Agr., 5 : 243-248.

[2] Yeo A., 1999.- Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. Sci Hortic-Amsterdam, 78: 159-174.

[3] Furr J.R., 1975.- Water and salinity problems of Abadan Island date gardens. Date Growers' Inst. Rep., 52 : 14-17.

[4] Dubost D., Haddad D., Kafi A., Maane H., 1983.- Rapport préliminaire sur les essais d'irrigation localisée du palmier dattier à la station expérimentale de Sidi Mahdi (Touggourt). Bull. Agr. Saha., 5 : 26-60.

[5] Munier P., 1973.- Le palmier dattier. Techniques agricoles et productions tropicales. Paris : Maisonneuve et Larose, 367 p.

[6] Dutil P., 1971.- Contribution à l'étude des sols et paléosols du Sahara. Thèse Doct, Fac Sci Univ, Strasbourg, 346 p.

[7] Dubost D., 1991. - Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse Doct, Université François Rabelais, Tours, 544 p.

[8] Saker M.L., 2000.- Les contraintes du patrimoine phoenicicole de la région de l'Oued Righ et leurs conséquences sur la dégradation des palmeraies. Problèmes posés et perspectives de développement. Thèse Doct, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 335 p.

[9] Hamdi Aïssa B., 2001.- Le fonctionnement actuel et passé des sols du nord Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doct, INA, Paris, 307 p.

[10] Daddi Bouhoun M. et Brinis L., 2006. - Etude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué gypso-salin : cas d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla. Journal Algérien des Région Arides, N° spécial : 17-20.

[11] Saker M.L. et Daddi Bouhoun M., 2007. - La phoeniciculture algérienne, situation actuelle, problèmes posés et perspectives de développement. Annales de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, Vol. 1, 2 : 51-57.

[12] Saker M.L. et Daddi Bouhoun M., 2007. - Ressources naturelles sahariennes, gestion et impact sur le développement. Annales de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, Vol. 1, 2 : 58-62.

[13] Saker M.L., Daddi Bouhoun M., Boutoutaou D., Hacini M. and Ould el Hadj M.D.,

2013. - Algerian palm grooves: Facts and prospects of development. International Journal of the Environment and Water. Vol. 2, Issue 1: 173-179.
[14] Ladjici A., Saker M.L., Boutoutaou D., Meissa B., Daddi Bouhoun M. et Kemassi A., 2015.- Etude comparative de l'influence de deux techniques d'irrigation (goutte a goutte et par pivot) sur la culture de pomme de terre dans la région du Souf. El Wahat pour les Recherches et les Etudes, Vol. 8, 2: 1-7.
[15] Boukhalfa-Deraoui N., Hanifi-Mekliche L., Mekliche A., Mihoub A. and Daddi Bouhoun M., 2015.- Effect of Phosphorus Application on Durum Wheat in Alkaline Sandy Soil in Arid Condition of Southern Algeria. Asian Journal of Crop Science, 7: 61-71.
[16] Rezagui D., Daddi Bouhoun M., Boutoutaou D. and A. Djaghoubi A., 2016.- Study of hydro-saline characteristics of soils a palm grove in basin of Ouargla (Northern Algerian Sahara). AIP Conf. Proc. 1758, 030023:1-8.
[17] Mihoub A., Daddi Bouhoun M. and Saker M.L., 2016.- Phosphorus Adsorption Isotherm: A Key Aspect for Effective Use and Environmentally Friendly Management of Phosphorus Fertilizers in Calcareous Soils, Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 47, 16: 1920-1929.
[18] Mihoub A., Daddi Bouhoun M., Naeem A. and Saker M.L., 2017.- Low-molecular weight organic acids improve plant availability of phosphorus in different textured calcareous soils, Archives of Agronomy and Soil Science, Vol. 63, 7: 1023-1034.
[19] Acila S., Saker M.L., Daddi Bouhoun M., Taamalli A., Ould El Hadj M.D. and Mokhtar Zarrouk M., 2017.- An alternative assessment of olive (*Olea europaea* L.) cultivars adaptation in the Mediterranean Saharan context of Algeria. Journal of Applied Horticulture, Vol. 19, 1: 51-57.
[20] Mihoub A., Daddi Bouhoun M., Naeem A., 2018.- Short-term effects of phosphate fertilizer enriched with low-molecular-weight organic acids on phosphorus release kinetics and its availability under calcareous conditions in arid region. Journal of Scientific Agriculture, 2: 66-70.
[21] Daddi Bouhoun M., Brinis L., Saker M. L., Ould el Hadj M.D., Côte M. et Rabier J., 2008. - Impact du drainage sur la dégradationes sols et des palmeraies : cas de l'oasis de Ouargla (Sud Est Algérien). Bulletin du GFHN, 54 : 193-194.
[22] Saker M.L., Daddi Bouhoun M., Ould el Hadj M.D. et Côte M., 2008. - Les conséquences de la mauvaise gestion des eaux sur les palmeraies de la vallée de l'Oued Righ. Bulletin du GFHN, 54 : 203-204.
[23] Saker M. L., Daddi Bouhoun M. et Ould el Hadj M. D., 2011. - Impact de la gestion des eaux sur le développement des oasis sahariennes. Algerian journal of arid environment, Vol. 1, 2 : 77-81.
[24] Saker M. L., Daddi Bouhoun M., Brinis A. et Brinis L., 2011 - L'Agriculture saharienne : réalités et perspectives : cas de la vallée de l'Oued Righ (Sud-Est algérien). Agriculture, 2: 66-78.
[25] Saker M. L., Daddi Bouhoun M., Hacini M., Ould el Hadj M. D. et Brinis L., 2011. - Remontée des nappes phréatiques à Oued Righ : situation actuelle et perspectives d'aménagement (Sud Est Algérien). Annales des Sciences et Technologie, Vol. 3, 1: 21-24.
[26] Saker M. L., Daddi Bouhoun M. et Ould el Hadj M. D., 2011.- Impact de la gestion des eaux sur le développement des oasis sahariennes. Algerian Journal of Arid Environment, Vol. 1, 2 : 77-81.
[27] Saker M.L., Daddi Bouhoun M., Boutoutaou D. et Ould el Hadj M.D., 2013.- Gestion des potentialités hydriques en régions sahariennes. Algerian Journal of Arid Environment, Vol.3, Issue 2: 96 - 102.
[28] Saker M. L., Daddi Bouhoun M., Boutoutaou D. et Kemassi A., 2015.- Gestion des eaux et développement des oasis sahariennes. El Wahat pour les Recherches et les Etudes, Vol. 8,

2: 8-14.
[29] Recioui I., Daddi Bouhoun M., Boutoutaou D. and Mihoub A., 2017.- Spatial variation of the water rising and water table salinity in the Basin of Ouargla (Algerian Sahara). Energy Procedia, 119: 571–578
[30] Daddi Bouhoun M., Saker M. L., Hacini M., Ould el Hadj M. D. et Brinis L., 2011. - Effets de la remontée des eaux phréatiques sur la salinisation des sols dans les Ghouts à Oued Souf (Sud Est Algérien). Annales des Sciences et Technologie, Vol. 3, 1: 25-27.
[31] Daddi Bouhoun M., Saker M.L., Boutoutaou D., Brinis L. et Ould el Hadj M.D., 2012. - Effets du niveau des nappes phréatiques sur la variabilité spatiale de la salinité des sols à l'Oued Souf (Sahara septentrional algérien). Bulletin du GFHN, 58: 223-226.
[32] Saker M.L., Daddi Bouhoun M., Boutoutaou D., Brinis L. et Ould el Hadj M.D., 2012. - Effets du niveau des nappes phréatiques sur la variabilité spatiale de la salinité des sols des oasis de l'Oued Righ (Sahara septentrional algérien). Bulletin du GFHN, 58 : 233-235.
[33] Daddi Bouhoun M., Saker M.L., Hacini M., Boutoutaou D. and Ould el Hadj M.D., 2013 - The soil degradation in the Ouargla basin: a step towards the desertification of the palm plantations (north East Sahara Algeria). International Journal of the Environment and Water. Vol. 2, Issue 1: 93-98.
[34] Daddi Bouhoun M., Brinis L., Saker M.L., Côte M. et Rabier J., 2009. Effects of hydro-edaphic environment on the rooting of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) Deglet Noor in the Ouargla Basin (south-east algeria) ». Ecologia Mediterranea, Vol. 35: 41-48.
[35] Daddi Bouhoun M., MARLET S., Brinis L., Saker M. L., Rabier J., et Côte M., 2011 - A survey of the combined effects of waterlogging and salinity on fruit yield in the date palm groves of the Wargla basin, Algeria. Fruits, Vol. 66 (1): 11-24.
[36] Daddi Bouhoun M., Saker M.L., Boutoutaou D., Brinis L., Kemassi A. et Ould el Hadj M.D., 2012 - Impact des eaux phréatiques sur la salinité et le rendement du palmier dattier à Ouargla. Algerian journal of arid environment, vol. 2, n° 2 : 71-77.
[37] Daddi Bouhoun M., Saker M.L., Ould el Hadj M.D., Brinis L., 2013 - Impact of hydro-edaphic stress on rooting and productivity of 'Deglet Noor' date palm of the Ouargla basin (Northern Algerian Sahara). Acta Horticulturae (ISHS) 994 : 93-97.
[38] Daddi Bouhoun M., Saker M.L. et Brinis L., 2015. Conception de modèles de chutes des rendements du palmier dattier adaptés à l'environnement du Sahara septentrional algérien. El Wahat pour les Recherches et les Etudes, Vol. 8, n°2 : 78-89.