

ISSN 0330 - 7956



# REVUE DES RÉGIONS ARIDES

Éditée par l'Institut des Régions Arides - Médenine - TUNISIE

37(2/2015)

Répertoriée dans la base PASCAL de l'INIST

## SOMMAIRE

<b>-Etude de la cinétique du front d'humectation sous irrigation goutte à goutte II : Phase de redistribution (Mohamed THABET &amp; Khemaies ZAYANI)</b> .....	<b>3</b>
<b>-Utilisation des capteurs de saltation pour la détection du seuil d'érosion éolienne dans les zones arides tunisiennes (Mohamed LABIADH, Gilles BERGAMETTI &amp; Houcine KHATTELI)</b> .....	<b>13</b>
<b>-Expérimentations en conditions contrôlées des paramètres aérodynamiques de l'érosion éolienne pour différents états de surface du sud tunisien (Mohamed LABIADH, Gilles BERGAMETTI &amp; Houcine KHATTELI)</b> .....	<b>27</b>
<b>-Les paysages de l'eau dans la région du nord-ouest de la Tunisie : Gouvernorats de Béja, Jendouba, Le Kef et Siliana (Radhouane NCIRI, Hichem RJEB &amp; Mohamed MOUSSA)</b> .....	<b>43</b>
<b>-Requalification paysagère de la foresterie urbaine appliquée à la ville de Kasserine (Héla FATMI ; Hichem REJEB &amp; Mohamed MOUSSA)</b> .....	<b>71</b>
<b>-Caractérisation de la diversité et du mode de conduite de l'amandier dans le centre- est tunisien: Région de Mahdia (Hassouna GOUTA, Hamza BEN ALI, Mouna AÏACHI, Messaoud MARS &amp; Mohamed GOUIAA)</b> .....	<b>83</b>
<b>-Valorisation des extraits de compost en fertigation hors sol des plants de pastèque (Youssef M'SADAK &amp; Ramzi JELALI)</b> .....	<b>95</b>
<b>-Mécanismes adaptatifs d'une halophyte spontanée <i>Atriplex halimus</i> sous condition de stress salin et hydrique (Fatima BOUCHENAK, Pascal REY, Patricia HENRI &amp; Fatima BENREBIHA)</b> .....	<b>103</b>

- Comportement de différents sols emblavés de maïs fourrager sous l'effet de la salinité combiné aux effets du changement climatique: Approche bio-économique (Saida MLAOUHI, Abdelhamid BOUJELBEN, Mohamed ELLOUMI & Mohamed HCHICHA).....119**
- Interaction entre performances de l'irrigation par aspersion et réponse à l'eau d'une culture de pomme de terre (Samir YACOUBI, Adel SLATNI, Taoufik OUESLATI & Khémaies ZAYANI) .....131**
- Etude comparative de la valeur nutritionnelle des deux cultivars de figuier (*Ficus carica* L.) de la région aride tunisienne après séchage (Marwa KHADHRAOUI, Belgacem LACHIHEB, Nizar CHAIRA & Ali FERCHICHI ) .....143**
- Impact des activités humaines sur la dynamique de l'occupation des terres dans le gouvernorat de Médenine entre 1969 et 2010 (Mohamed TARHOUNI, Farah BEN SALEM & Mohamed NEFFATI) .....155**
- Profil de l'ocytocine plasmatique et développement du comportement maternel et néonatal chez les ovins D'man (Mohamed CHNITER, Touhami KHORCHANI, Ramond NOWAK & Mohamed HAMMADI) .....165**

## Etude de la cinétique du front d'humectation sous irrigation goutte à goutte II : Phase de redistribution

Mohamed Thabet <sup>a</sup> & Khemaies Zayani <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Mohamed.Thabet@ira.rnrt.tn ; <sup>b</sup>Khemaies.zayani@isste.rnu.tn

ملخص :

مكنت التجارب التي أجريت على التربة داخل أوعية عازلة (monolithe) من تحديد شكل المساحة المبللة وأبعادها خلال كل من فترتي الري وإعادة التوزيع المائي كما ساعدت نتائج هذه التجربة على إنجاز نموذج اختباري يسهل استقراء أبعاد جبهة البلل تحت موضع التقيط (غير مرئية) من خلال الشعاع المبلل على سطح الأرض (مرئي وسهل قياسه). في ورقة سابقة تناول الكاتبان بالدراسة أبعاد تلك الجبهة خلال مرحلة الري في حين تناولت هذه الورقة دراسة أبعادها خلال المرحلة التي تليها حيث لوحظ أن حجم البصيلة واصل نموه وهو ما يعني أن الأشعرية واصلت تأثيرها حتى بعد توقف عملية الري وهو ما من شأنه أن يساهم في توسيع فضاء توزيع الرطوبة حيث تشمل القدر الأكبر من الجذور.

### Résumé

Les essais menés sur monolithe ont permis de cerner la forme du bulbe et la dynamique de l'eau tant en phase d'infiltration que de redistribution. Ils ont permis l'établissement de relations empiriques pour la prédiction de la progression verticale et diagonale (invisibles) du front à partir du rayon humidifié en surface (visible).

Dans un premier papier les auteurs ont traité le sujet durant la phase d'infiltration. Dans ce papier, l'évolution des dimensions du bulbe humide au cours de la distribution sont entrepris.

Il a été constaté que durant cette phase le volume du bulbe humidifié continue à croître dans la tranche de sol explorée par les racines. Ce qui signifie que la capillarité et la gravité continuent à dilater le bulbe même après arrêt de l'apport d'eau. Un tel résultat est plutôt rassurant puisqu'il prouve que ce processus permet d'alimenter davantage la zone racinaire.

### Summary

Trials carried out on the monolith allowed to visualize the humidified bulb and water dynamics during infiltration and redistribution processes. Gathered results allowed the establishment of empirical relations for predicting vertical and diagonal fronts (invisible) from the measured moistened radius (visible). In a last paper authors studied bulb volume during infiltration. In the present, authors study the shape of humidified bulb during the redistribution phase. As during infiltration, the humidified bulb volume continues to grow significantly roots. This means that capillarity continues to dilate the bulb even after water application end. Such a result is promising inasmuch as it proves that redistribution process allows the roots anchorage.

## 1. Introduction

La Tunisie est parmi de nombreux pays du nord africain et du moyen orient dont les ressources en eau deviennent de plus en plus rares. Dans la partie aride du pays où cette pénurie se fait sentir plus, on cherche par tous les moyens à conserver et à valoriser les ressources disponibles. Dans le secteur agricole qui occupe la première place en matière de ressources allouées, outre les mesures d'incitation à l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau à la parcelle, le recours aux nouvelles techniques d'irrigation constitue l'une des composantes de la stratégie d'économie d'eau. En effet, comparée à la technique d'irrigation de surface- qui demeure la plus répandue- l'irrigation localisée contribue de manière efficace à la valorisation des ressources hydriques à travers la réduction des apports d'irrigation et l'amélioration de la production (Thabet 2008). Comme cette technique est relativement récente, de nombreux aspects en relation avec les caractéristiques du milieu méritent d'être étudiés. Si dans un contexte de pénurie d'eau, la connaissance du devenir de l'eau appliquée constitue l'une des clés pour un aménagement rationnel de l'eau à la parcelle pour les différentes méthodes d'irrigation, il revêt encore plus d'intérêt pour

l'irrigation goutte à goutte vu son incidence directe sur les divers paramètres de l'irrigation (dose, fréquence) et sur la conception du réseau (inter lignes, inter goutteurs). En effet, lors d'une irrigation, le mouvement de l'eau dans le sol est répartie en deux phases consécutives : une première correspondant au temps de présence de l'eau à la surface (phase d'infiltration) et une seconde qui débute immédiatement après sa disparition (phase de distribution).

Le présent article constitue une deuxième partie d'un papier consacré à l'étude des paramètres du bulbe sous un goutteur destinée à la phase de redistribution alors que dans une première partie (Thabet et Zayani, 2006), les auteurs ont étudié ces mêmes paramètres lors de la phase d'infiltration.

## 2. Matériels et méthodes

Les données traitées dans cette partie émanent des mêmes essais d'irrigation goutte à goutte entrepris dans des monolithes pour une durée de 6 h avec un débit de 1.5 L/h et une durée de 4h pour un débit de 4L/h. Ces monolithes sont dotés d'une façade en plexiglas graduée ce qui permet de localiser les cotes du front en fonction du temps (figure1).

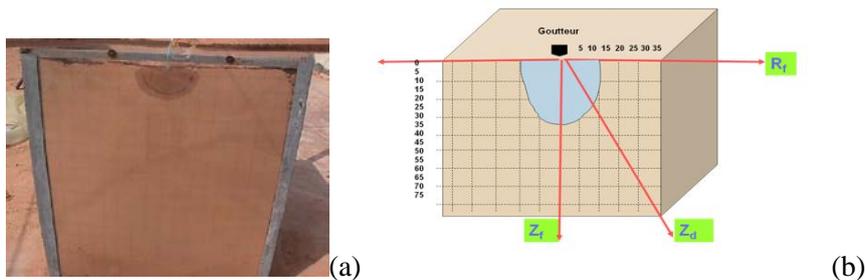


Figure 1 : photo (a) et schéma de la façade graduée de lecture.

Le suivi de l'extension du bulbe a été entrepris à travers la mesure à un pas de temps fixe les côtes verticale, horizontale et diagonale du front d'humectation sous le goutteur. Les mesures recueillies ont permis l'établissement du tracé du front d'humectation selon ces trois directions en fonction du temps.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Evolution du front vertical ( $Z_f$ )

Pendant la phase de redistribution, l'eau continue, en dépit de l'arrêt d'alimentation, à migrer dans le profil sous les effets gravitaires et capillaires (Montalvo, 1991). Bien que le contraste d'humidité entre le sol humidifié et le sol sec est moins net qu'en phase

d'infiltration, il n'en demeure pas moins que les lectures directes sur le quadrant en plexiglas ont permis de tracer la géométrie du bulbe humidifié lors de cette phase avec une précision assez bonne.

En cette phase de redistribution, le modèle mathématique qui a permis d'ajuster les données recueillies avec une meilleure corrélation ( $r=0.98$  pour le débit de 4l/h et 0.99 pour 1.5 L/h) était de type :  $Z_f(t) = A(1 - B.e^{-Ct})$  (1) dont les deux équations sont :

$$Z_f(t) = \begin{cases} 69.66(1 - 0.27.exp - 0.16t) & \text{pour } q = 4L/h \\ 47.97(1 - 0.19.exp - 0.08t) & \text{pour } q = 1.5L/h \end{cases} \quad (2)$$

représentées graphiquement dans la figure 2.

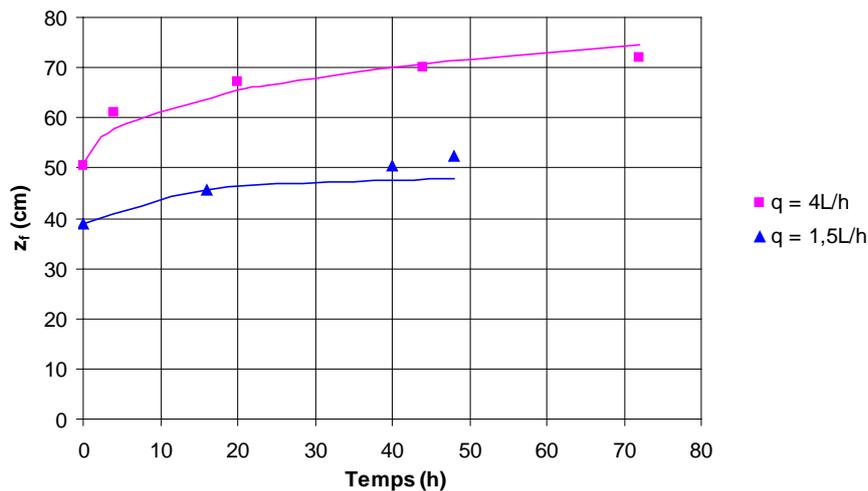


Figure 2: Evolution du front vertical d'humidification en phase de redistribution

Cette figure dénote qu'en phase de redistribution, le front d'humidification continue à migrer vers le bas sous l'effet des forces gravitaires. Il a été constaté que ce front s'est arrêté de

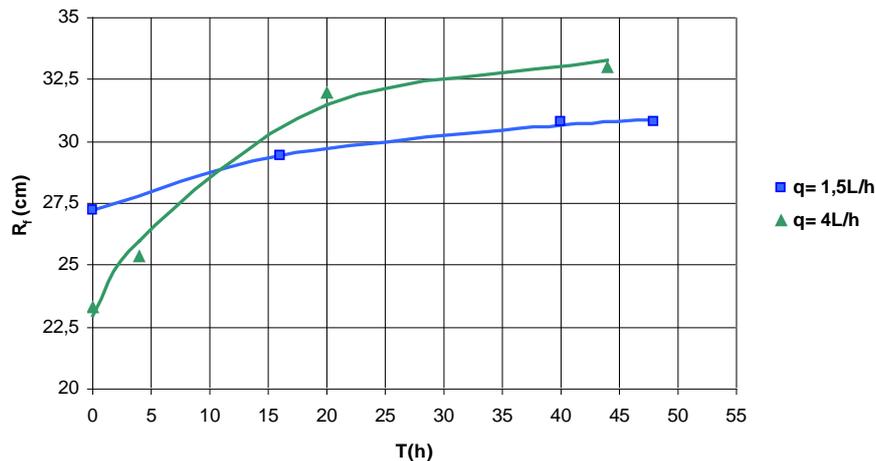
progresser au bout de 44 heures de redistribution pour le débit 1.5 L/h, alors que pour le débit 4 L/h cette progression du front ne s'est arrêtée qu'au bout d'environ 70 heures de

redistribution. Aux incertitudes de mesure près, les points expérimentaux montrent qu'avec le débit 4 L/h, le front se stabilise aux alentours de 70 cm après 44 heures de redistribution. Ils montrent également que ce front n'a pas dépassé la profondeur de 50 cm avec le débit 1.5 L/h. En conséquence, on peut noter qu'avec le faible débit (1.5 L/h), un risque de salinisation du sol peut être encouru si les racines de la culture irriguée vont au-delà de profondeur atteinte par le front et si l'irrigation avec ce débit dure moins que six heures. En revanche, le front d'humidification qui se stabilise à environ 70 cm en fin de redistribution pour le débit de 4 L/h procure une

marge de sécurité en terme de lessivage qui contribue à assurer une production optimale (Skogerboe et Law, 1971 ; Bresler et al ,1992).

### 3.2. Evolution du front radial ( $R_f$ )

En redistribution, le front d'humidification continue à progresser radialement aussi mais de manière plus faible et plus lente qu'en profondeur. Cette progression est représentée dans la figure 3 qui montre l'étirement latéral du bulbe sous l'effet des forces capillaires même après arrêt de l'alimentation en eau en surface (Bresler, E., 1978). Cependant, il paraît que cette progression est plus lente par comparaison à celle en phase d'infiltration.



**Figure 3** : Evolution du front radial en phase de redistribution

Cette figure met en exergue que le front radial culmine à une valeur de l'ordre de 33 cm avec le débit 4 L/h contre environ 31 cm avec celui de 1.5 L/h. Vu l'humidité moyenne en fin d'arrosage, un tel comportement serait aberrant si l'écoulement était monodimensionnel radial.

Essentiellement la nature tridimensionnelle de l'écoulement peut être à l'origine de cette inversion de tendance illustrée à la figure 3.

La même figure montre que la courbe  $R_f$  (T) a une pente croissante plus importante pour le débit 4 L/h. Ainsi, au bout d'une quinzaine d'heures de

redistribution, le front radial sous le débit 4 L/h devient plus élevé que celui sous le débit 1.5 L/h. On note qu'avec le débit 4 L/h, le front radial progresse d'environ 10cm. A l'opposé, le front n'a bougé que d'environ 3.8 cm avec le débit 1.5 L/h durant une phase de redistribution un peu plus longue. Les données relatives à l'avancement du front selon cette direction sont également mieux ajustées par le modèle mathématique précédent ( $r=0.99$  pour les deux débits) et les équations pour

les débits 4 et 1.5 L/h sont respectivement :

$$R_r(t) \begin{cases} 33.53 (1 - 0.31 \cdot \exp - 0.08t) \text{ pour } q = 4\text{L/h} \\ 31.24 (1 - 0.13 \cdot \exp - 0.05t) \text{ pour } q = 1.5\text{L/h} \end{cases} \quad (3)$$

### 3.3- Evolution du front diagonal ( $Z_d$ )

Comme l'écoulement est tridimensionnel, on a pu enregistrer une progression du front sur la diagonale. L'allure de cette progression est illustrée par la figure 4 :

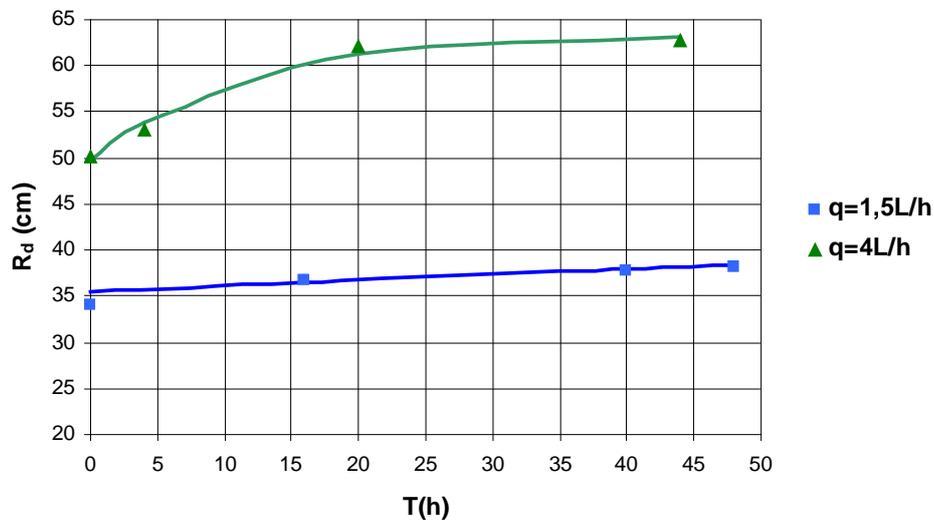


Figure 4 : Evolution du front diagonal en phase de redistribution.

A l'instar de la progression radiale, la figure 3 montre que la pente de la courbe de la progression diagonale est la plus importante avec le débit le plus important. Quant aux données recueillies, le même modèle les a ajustées le mieux ( $r=0.99$  pour les deux débits) pour aboutir aux équations :

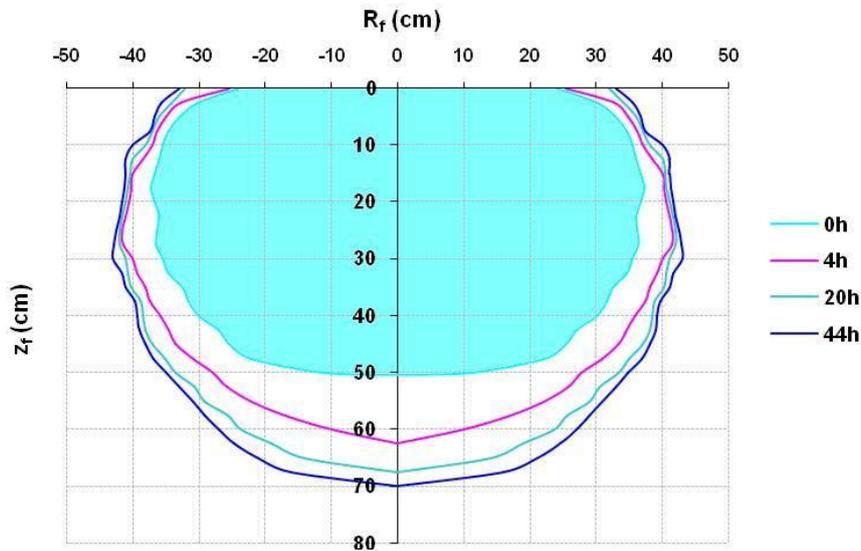
$$Z_d(t) \begin{cases} 63.43 (1 - 0.022 \cdot \exp - 0.09t) \text{ pour } q = 4\text{L/h} \\ 44.89 (1 - 0.21 \cdot \exp - 0.08t) \text{ pour } q = 1.5\text{L/h} \end{cases} \quad (4)$$

### 4. Volume du bulbe humidifié en phase de redistribution

La mesure des côtes d'avancement du front d'humectation selon les directions radiale, diagonale et verticale, a permis le traçage du contour des bulbes humidifiés représentées aux figures (5) et (6). L'implémentation de la méthode des trapèzes composés (Nougier, 1983) a permis l'estimation des volumes

humidifiés des bulbes ( $V_h$ ) à différents pas de temps moyennant l'équation :

$$V_h = \pi \int_{z=0}^{z_f} r^2(z) dz \quad (5)$$



**Figure 5:** Evolution du bulbe humidifié lors de la redistribution ( $q = 4 \text{ L/h}$ )

La figure 5 indique qu'au fur et à mesure que le temps de redistribution augmente, le volume humidifié s'étire latéralement et en profondeur. La largeur maximale de la bande humide est observée à la cote 30 cm où elle prend une valeur de l'ordre de 86 cm. Durant tout le processus de redistribution, l'écart maximum entre largeurs de la bande humidifiée est de l'ordre de 7.6 cm et survient à la cote 30 cm. En revanche, l'écart maximum entre les profondeurs d'humectation ( $Z_f$ ) au cours du même processus est de 17.5 cm.

Dans la pratique, selon la profondeur des racines qu'on accorde à une culture donnée, ces données permettent d'optimiser la durée d'arrosage pour éviter à la fois une sous irrigation ou des pertes d'eau par percolation profonde.

Quant au débit 1.5 L/h (figure 6), le rayon radial maximum est observé à la cote 15 cm et est de l'ordre de 35.5 cm ce qui porte la largeur maximale de la bande humidifiée à 71 cm. La profondeur d'humidification a progressé durant le processus de redistribution de 40 à 55 cm.

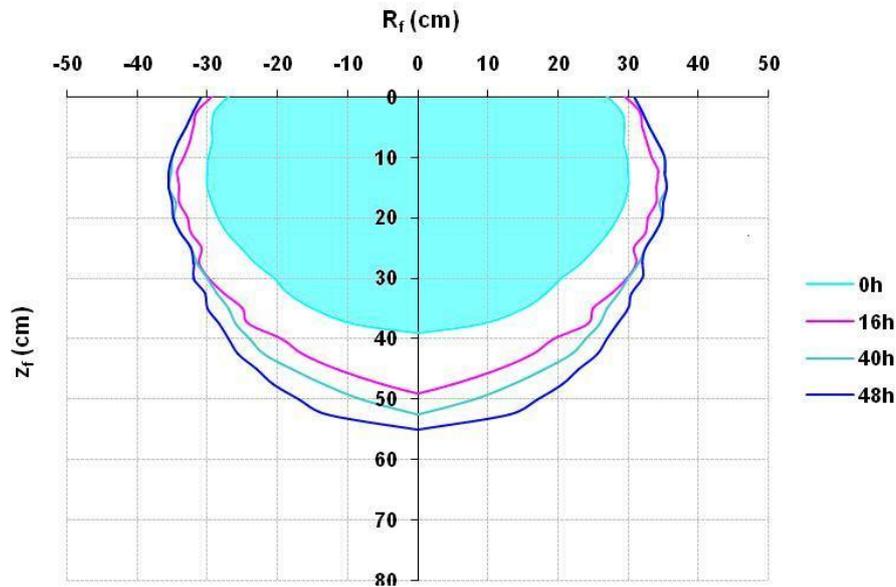


Figure 6 : Evolution du bulbe humidifié en redistribution ( $q = 1.5 \text{ L/h}$ )

L'implémentation de la méthode des trapèzes composés a permis l'estimation des volumes humidifiés des bulbes ( $V_H$ ) à partir de l'équation (5) dont les résultats sont récapitulés au tableau 4 :

Tableau 4 : Volume du bulbe humidifié en phase de redistribution

$q = 4 \text{ L/h}$			$q = 1.5 \text{ L/h}$		
T (h)	$Z_f$ (cm)	$V_h$ ( $\text{cm}^3$ )	T (h)	$Z_f$ (cm)	$V_h$ ( $\text{cm}^3$ )
0	50.4	167987	0	40	80639
4	61	232050	16	50	124346
20	67	268785	40	52.5	140015
44	70	291702	48	55	153867

On constate qu'en phase de redistribution, le volume du bulbe humidifié ( $V_h$ ) continue à augmenter lentement avec le temps et de manière proportionnelle au débit. Ce résultat corrobore celui qui fut obtenu par Roth (1982).

En pratique et pour une culture donnée dont la profondeur de l'enracinement est connue, le volume du bulbe humidifié permet d'évaluer le taux de percolation profonde qui peut se

produire en un temps donné et d'indiquer si cette percolation s'est produite durant la phase d'infiltration ou celle de redistribution. Il aide également à l'estimation du coefficient de l'efficacité d'application de l'eau.

A l'intérieur du bulbe, le présent protocole expérimental n'a pas prévu la mesure de l'humidité aux différents points par rapport au goutteur.

Cependant cet aspect a été développé in situ moyennant l'utilisation d'une batterie de tensiomètres qui a permis la mesure de l'humidité et par la suite des stocks hydriques à différentes distances par rapport au goutteur (Thabet et Zayani 2010).

### 5. Conclusion

Les résultats obtenus mettent en évidence l'intérêt que revêt le processus de redistribution lors de l'irrigation. En effet, durant cette phase le front d'humectation continue à progresser pour agrandir le volume du bulbe humide après l'arrêt de l'irrigation. Un tel phénomène est de nature à assurer deux choses bénéfiques pour la culture :

Un complément d'humidification de l'espace prospectée par les racines de la culture qui peut constituer un terme correctif en cas de sous irrigation ;

Une contribution au dégagement des sels (lessivage) vers la périphérie du bulbe ce qui procure plus de milieu sain à la plante.

D'autre part, ces données sur la géométrie du bulbe peuvent être prises en compte lors de la mise en place du réseau ainsi que sur l'intervalle de plantation des cultures.

Sur le plan environnemental, ceci permet de localiser les traces des éléments chimiques étudiés.

### Références bibliographiques

- Bresler, E. (1978) : Analysis of trickle irrigation with application to design problems. *Irrig. Sci. 1*: 3-17.
- Bresler, E. McNeal, B.L. and Carter , D.L. (1982) : Saline and sodic Soils. Principles-dynamics-modelling. Advanced Series in Agricultural Sciences 10 , Springer –Verlag, New York , 236 pp.
- Montalvo arquinigo Nestor (1991) : *Contribution à l'étude de l'influence de l'irrigation goutte à goutte sur la formation et la morphologie du bulbe d'humidité et sur la répartition des racines de tomate (Lycopersicon esculenturn Mill.) cultivée sous abri*. Thèse de docteur en sciences agronomiques, Faculté des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.
- Nougier J.P (1983) : Méthodes de calcul numérique. *Ed. Masson, Paris*.
- Roth, R.L (1982) : *Moisture movement from a point source*. Unpub . Ph.D. Thesis, The university of Arizona.
- Skogerboe, G.V and Law, J.R (1971) : Research needs for irrigation return flow quality control . Environmental Protection Agency Water Poll. Contr . Res. Ser.
- Thabet, M. et Zayani, K. (2006) : Etude de la cinétique du front d'humectation sous irrigation goutte à goutte.I : Phase d'infiltration. *Revue des Régions Arides -Numéro spécial- Actes du séminaire international : Gestion des ressources et applications biotechnologiques en aridoculture et cultures oasisiennes : Perspectives pour la valorisation des potentialités du Sahara*.
- Thabet Mohamed (2008) : *Etude de l'irrigation goutte à goutte en milieu aride : impacts sur la salinisation du sol et sur une culture de piment (Capsicum*

*Revue des Régions Arides n°37 (2/2015) pp : 3-11*

*Annum L*). Thèse de doctorat en sciences agronomiques de l'Institut National Agronomique de Tunisie. 114 pages + annexes.

-Thabet Mohamed and Khemaies Zayani (2010) : Pepper (*Capsicum annuum*. L) responses to surface and drip irrigation in southern Tunisia. *Journal of Applied Horticulture*,, 12(1):26-29, January-June, 2010.

-USDA, Soil Conservation Service (1991) : *National Engineering handbook*.



## Utilisation des capteurs de saltation pour la détection du seuil d'érosion éolienne dans les zones arides tunisiennes

Mohamed Labiadh<sup>1</sup>, Gilles Bergametti<sup>2</sup> et Houcine Khatteli<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> Institut des Régions Arides (IRA), Médenine, Tunisie

<sup>(2)</sup> Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), UMR CNRS 7583, Université Paris Est Créteil - Université Paris Diderot, Institut Pierre Simon Laplace, Créteil, France

### ملخص

تعتبر ظاهرة الانجراف الهوائي من أهم مظاهر التصحر التي تهدد المناطق القاحلة والجافة وشبه الجافة حول العالم من خلال الحد من الاستعمال المستدام للموارد الطبيعية وذلك بإفقار التربة وتنقل كميات كبيرة من الرمل بواسطة الرياح. تتأثر تونس بحكم موقعها الجغرافي المجاور للصحراء مباشرة بهذه الظاهرة. إن فهم العوامل الفيزيائية للانجراف الهوائي وبالخصوص موجات الرياح الفعالة ( $u_{*c}$ ) التي تبدأ على إثرها مباشرة حبات الرمل بالتنقل أمر ضروري لقياس ومتابعة هذه الظاهرة. من خلال هذا العمل سنناقش استعمال جهاز استشعار بداية تنقل لقياس بداية الانجراف الهوائي بحقل تجريبي. موازاة لهذه التجربة التي أنجزت خلال موسم الربيع (مارس، أفريل وماي) الذي يتميز بهبوب الرياح الموسمية القوية، أجريت كذلك قياسات لسرعة واتجاه الرياح وحجم التربة. أظهرت نتائج هذا العمل أن استعمال هذا الجهاز يمكن من قياس بداية الانجراف الهوائي خلال العواصف الرملية القوية ولكن استعماله في التجارب الميدانية يبقى محدودا نظرا لحجم التربة التي يميز المناطق الجافة والصحراوية التونسية.

**الكلمات المفتاحية :** الانجراف الهوائي، بداية الانجراف الهوائي ، القفز ، Sensit©.

### Résumé

L'érosion éolienne, la manifestation la plus spectaculaire de la désertification, touche de nombreuses régions à travers le monde situées dans les étages bioclimatiques hyper arides, arides et semi arides. Elle met en péril l'exploitation durable des ressources en terre ayant pour conséquence l'appauvrissement des sols et le déplacement de volumes élevés de particules par le vent. La Tunisie, à l'instar des pays limitrophe du Sahara, est concernée directement par ce phénomène. La compréhension des processus physiques de l'érosion éolienne, en particulier la vitesse de friction de seuil ( $u_{*c}$ ), vitesse de vent à partir de laquelle la couche superficielle du sol se met en mouvement, est essentielle pour une quantification plus précise du flux horizontal.

Dans ce travail, nous discuterons l'utilisation d'un capteur de saltation, le Sensit©, pour détecter, *in situ*, le seuil d'érosion éolienne sur une parcelle expérimentale. Au cours de cette expérience, qui a eu lieu pendant les fortes périodes érosives (mars, avril et mai), de mesures additionnelles sur la vitesse et la direction du vent et la distribution en taille des agrégats constitutifs du sol ont été réalisées. Les résultats de ce travail montrent que cet appareil permet de mesurer la vitesse de friction seuil pendant les événements érosifs les plus intenses, cependant il semble être très limité par la taille des fractions érodables qui caractérisent les zones arides et désertiques tunisiennes.

**Mots clés :** Erosion éolienne, seuil d'érosion, saltation, Sensit©

## Summary

Soil erosion by wind, the most dramatic manifestation of desertification, affect many regions around the world located in the hyper arid, arid and semi arid areas. It threatens the sustainable use of land resources by the impoverishment of the soil and moving great volumes of particles by the wind. Tunisia, like the neighboring country of the Sahara, is directly affected by this phenomenon.

Understanding the physical processes of soil erosion by wind, especially the threshold friction velocity ( $u_{*t}$ ), wind speed from which the topsoil is set in motion, is essential for accurate quantification of horizontal flux. In this work, we discuss the use of a saltation sensor, the Sensit© to detect, in situ, on an experimental plot the threshold parameter of wind erosion process. During the experiment, which took place during heavy erosive periods (March, April and May), additional measures of the speed and direction of wind and the size distribution of soil were performed. The results of this work show that this sensor can be used to measure the threshold friction velocity during the most intense erosive events, however there seems to be very limited by the size of the erodible fractions characterizing tunisian arid areas.

**Keywords:** Soil erosion by wind, threshold friction velocity, saltation, Sensit©

## 1-Introduction

L'érosion éolienne résulte de l'action mécanique exercée par le vent sur la surface du sol et se traduit par la mise en mouvement des particules érodables. Ce phénomène est contrôlé par deux paramètres principaux (i) l'énergie apportée par le vent à la surface et (ii) le seuil minimal de mobilisation des particules libres du sol, ou seuil d'érosion. Cette capacité de surface à résister est généralement représentée par la vitesse de friction seuil ( $u_{*t}$ ). Par ailleurs, le processus de l'érosion éolienne, si on considère une surface lisse et un sol meuble et sec constitué de particules de diamètre  $D_p$ , ne peut se produire que lorsque la force de cisaillement exercée sur la surface devient supérieure aux forces de maintien, c'est à dire principalement à la force de gravité et aux forces de cohésion inter particulaires. A cause de ces dernières forces qui varient de façon

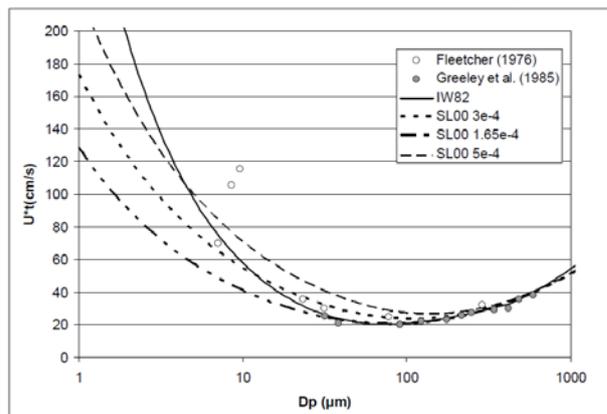
différente avec le diamètre des particules, Chepil (1951) a montré l'existence d'un diamètre optimum pour la déflation éolienne ( $\sim 100 \mu\text{m}$ ) pour lequel la vitesse de friction seuil est minimale ( $\sim 20 \text{ cm.s}^{-1}$ ). Ces vitesses-seuils ont été mesurées sur un terrain sableux, plat et dénudé et étant étroitement fonction de la rugosité de la surface du sol. Par conséquent, elles sont plus faibles sur les dunes que sur un sol couvert de végétation par exemple. Au Sahara, R.A. Bagnold (1941), a trouvé une vitesse-seuil pour la mise en mouvement des particules de l'ordre de  $4 \text{ m.s}^{-1}$ . Mesurée à 2.5 mètres, la même valeur seuil des vents efficaces ( $4 \text{ m.s}^{-1}$ ) pour déclencher des événements érosifs a été trouvée par Prospero et al., 1981. Un même ordre de grandeur de vitesse à partir de laquelle les particules commencent à mouvoir, de  $4 \text{ m.s}^{-1}$  à  $6 \text{ m.s}^{-1}$  et de  $3,3 \text{ m.s}^{-1}$  à  $5,5 \text{ m.s}^{-1}$  a été mesuré,

respectivement, aux U.S.A et sur la Mauritanie dans le Visiting International Scientist program (1981).

En Tunisie, selon leur efficacité géomorphologique, Khatteli (1996) a distingué deux classes des vents mesurés à deux mètres de hauteur, toute en précisant que ce classement devant être précisé dans l'avenir, (i) les vents inactifs qui ont une vitesse inférieure ou égale à  $3 \text{ m.s}^{-1}$  et (ii) les vents actifs définis par une vitesse supérieure à  $3 \text{ m.s}^{-1}$  et sont ceux qui permettent la mise en mouvement des particules sableuses. Ces derniers, dont leur efficacité morphologique en particulier le déplacement potentiel de la quantité de sable est certaine, se subdivisent en une classe de vents forts ( $3 \text{ m.s}^{-1} < V \leq 7 \text{ m.s}^{-1}$ ) et une classe de vents très forts  $V > 7 \text{ m.s}^{-1}$ .

A partir des expériences réalisées en soufflerie, plusieurs formulations de ( $u_{*f}$ ) en fonction du diamètre des particules et de leur densité ( $\rho_p$ ) ont été proposées pour une surface lisse (Iversen and White, 1982 ; Marticorena

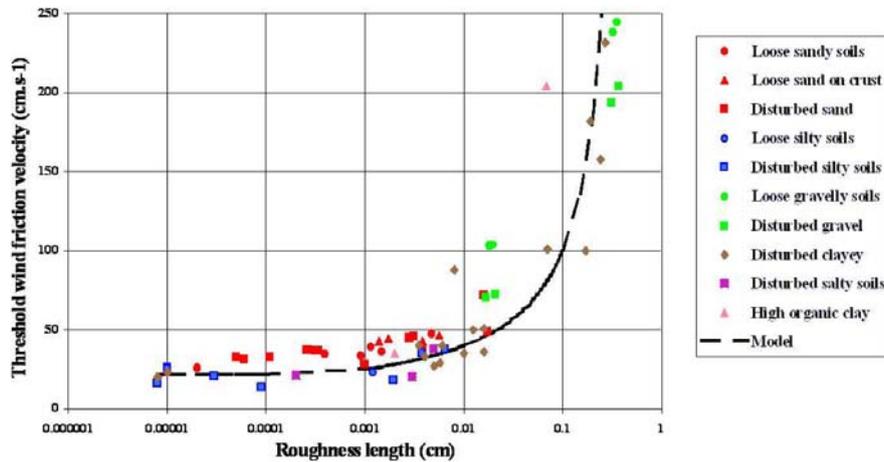
et Bergametti, 1995 ; Shao et Lu, 2000). Les vitesses seuils calculées selon les paramétrisations d'Iversen et White (1982) et de Shao et Lu (2000), bien qu'elles présentent la même allure générale, les différentes courbes font apparaître des différences en ce qui concerne la vitesse de friction seuil minimale et ses variations pour les diamètres inférieurs à  $100 \mu\text{m}$ . Ainsi, le minimum de ( $u_{*f}$ ) se situe autour de  $20 \text{ cm.s}^{-1}$  et de  $20$  à  $27 \text{ cm.s}^{-1}$  calculé, respectivement par l'expression d'Iversen et White (1982) et de Shao et Lu (2000) (figure 1). Dans des conditions de neutralité thermique, en utilisant un profil de vitesse de vent logarithmique (Priestley, 1959), une vitesse seuil de friction de  $20 \text{ cm.s}^{-1}$ , exprimée en vitesse de vent à  $10 \text{ m}$  sur une surface lisse ( $z_0 = 10^{-3} \text{ cm}$ ), correspond à une vitesse de vent seuil à  $10 \text{ m}$  de  $7 \text{ m.s}^{-1}$ . De la même façon, des vitesses seuils de friction de  $24$  et  $27 \text{ cm.s}^{-1}$  correspondent, quant à elles, à des vitesses de vent seuil à  $10 \text{ m}$  supérieures respectivement à  $8$  et  $9 \text{ m.s}^{-1}$ .



**Figure 1 :** Vitesses de friction seuil ( $u_{*f}$ ) en fonction du diamètre des particules de sol ( $D_p$ ), d'après Iversen et White [1982] (IW82), Shao et Lu [2000] avec  $\gamma = 3 \times 10^{-4} \text{ kg.s}^{-2}$  (SL00 3e-4), Shao et Lu [2000] avec  $\gamma = 1.65 \times 10^{-4} \text{ kg.s}^{-2}$  (SL00 1.65e-4), Shao et Lu [2000] avec  $\gamma = 5 \times 10^{-4} \text{ kg.s}^{-2}$  (SL00 5e-4) (Laurent, 2005).

Dans les régions arides et semi-arides, la présence des éléments de rugosité conduit à une dissipation d'une partie de l'énergie du vent par ces obstacles (Raupach et al., 1993; Saleh et al., 1997) ce qui entraîne une augmentation de la vitesse de friction seuil. Marticorena et Bergametti (1995) ont développé un schéma de répartition de la contrainte aérodynamique entre la surface érodable et les éléments non mobilisables qui permet donc de

déterminer les seuils d'érosion des régions arides quelle que soit leur rugosité ( $z_0$ ). La comparaison entre les valeurs de  $u_{*t}$  calculées par cette expression et un ensemble de mesures réalisées dans des conditions naturelles à l'aide de souffleries portables (Gillette et al., 1982; Nickling et Gillies, 1989) tend à démontrer la pertinence du schéma de répartition de l'énergie développé (figure 2).



**Figure 2 :**  $U_{*t}$  en fonction de  $z_0$  (pour  $z_{0s} = 10-3$  cm). Les points représentent des mesures *in situ*, la courbe représente la modélisation de  $u_{*t}$  en fonction de  $z_0$  (Marticorena et al., 1997b) (Laurent, 2005).

Ce paramètre clé des processus d'érosion éolienne, dépendante des propriétés de la couche superficielle du sol, de la présence d'éléments non érodables et de la taille des grains du sol, contrôle la fréquence et l'intensité des flux d'érosion. Il est difficile à mesurer sur le terrain. Jusqu'à présent, les efforts de recherche ont été portés sur les mécanismes du flux horizontal (saltation) et vertical (suspension) pour mieux appréhender le paramètre de

vitesse de friction de seuil, vitesse de vent à partir de laquelle la couche superficielle du sol se met en mouvement. En effet, les périodes de l'érosion ont été déterminées surtout à travers le traitement des enregistrements de la vitesse du vent. Récemment, pour étudier ces phénomènes, *in situ*, plusieurs capteurs de saltation ont été développés, testés et utilisés dans de campagnes de terrain dédiées au suivi de l'érosion éolienne

dans le monde. Parmi ces appareils, les Sensit© (Stockton and Gillette, 1990 ; Gillette and Pitchford, 2004 ; Bergametti and Gillett, 2010) et les Saltiphones© (Van Pelt et *al.*, 2009), qui ont été conçus pour détecter des particules en mouvement de saltation dont le diamètre dépasse 50 µm au minimum (figure 3).

Dans ce travail, nous présenterons les résultats de l'expérience réalisés dans le sud tunisien pour la détection du seuil d'érosion éolienne par les Sensit© et nous discuterons les facteurs qui pourraient limiter leur utilisation.

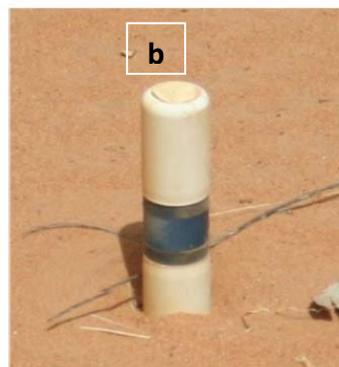
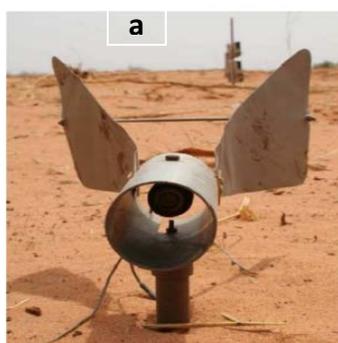


Figure 3 : Capteurs de saltation. (a) le Saltiphone© ; (b) le Sensit©

## 2-Matériel et méthode

### 2.1- Zone d'étude

La station expérimentale de l'Institut des Régions Arides (IRA) de Médenine à Dar Dhaoui (33°17'N, 10°46'E), située à 40 Km au Nord de Ben Gardane, a été choisie pour réaliser des expériences sur la quantification de l'érosion éolienne sur des surfaces anthropisées dans le sud tunisien. Il s'agit d'un vaste domaine d'environ 57 hectares mis en défens depuis quatre décennies situé à l'étage bioclimatique aride inférieur à hiver doux (figure 4). La caractérisation du régime de vent de la station expérimentale a montré que les vents efficaces sont relativement importants. Ils ont une fréquence annuelle de 26.6%, dont 15% sont

supérieurs ou égaux à 7 m.s<sup>-1</sup> (Kardous, 2005). Compte tenu de la répartition mensuelle et saisonnière de ces vents efficaces dont environ 36% se produisent durant le printemps (Khatteli, 1996 ; Kardous, 2005), notre expérience a duré trois mois (mars, avril et mai).

A l'intérieur de ce domaine, pour provoquer et générer de l'érosion éolienne, une parcelle expérimentale rectangulaire (140 m X 110 m) de 1,5 ha de taille a été labourée. Cette parcelle a été orientée face aux vents dominant qui viennent essentiellement de l'ouest au printemps (entre 200 et 330°). En effet, d'après les données météo de 1988, sur 504 périodes de 2 minutes dont le vent moyen est

supérieur à  $10 \text{ m.s}^{-1}$  à 3 m de hauteur, 422 sont de vents dans ce secteur, soit 88% des occurrences.

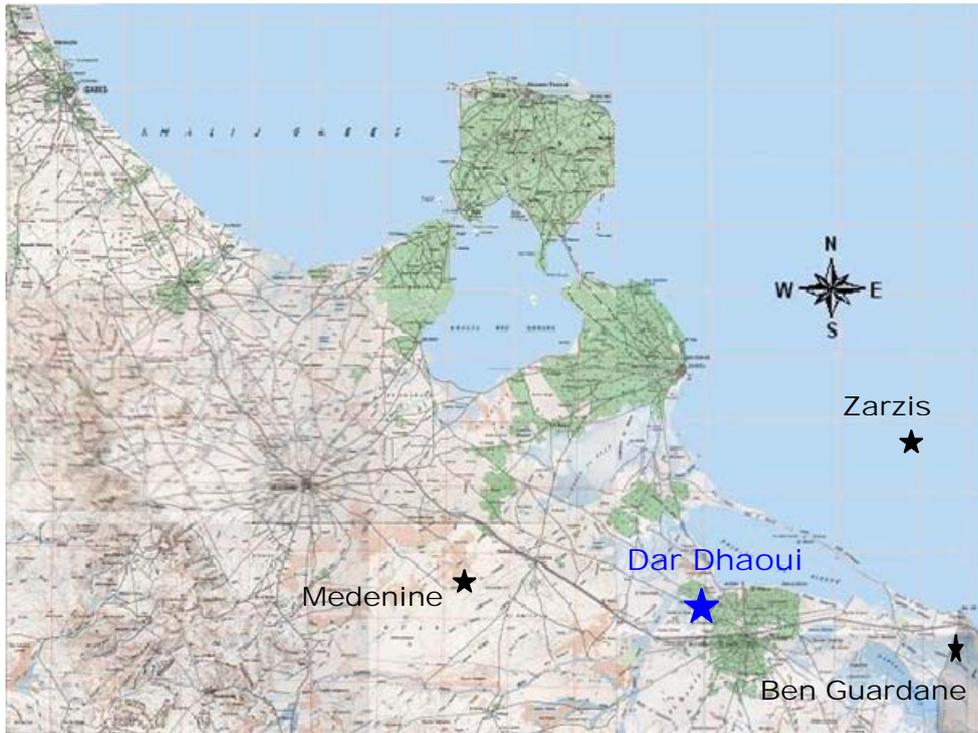
Le sol de la parcelle expérimentale est isohumique à faible teneur en matière organique. La taille des grains de sol est une propriété fondamentale des particules sédiments qui jouent un rôle important dans le mouvement de sable. En effet, les expériences dans la soufflerie réalisées par Bagnold (1941), Chepil (1945) et Iversen et *al.*, (1976) ont noté la relation entre la taille des grains de sédiment et la vitesse de friction seuil. De plus, la taille de grain de sol n'influence pas uniquement la vitesse de friction seuil mais contrôle aussi le flux d'émission. Contrairement à l'approche classique utilisée en sédimentologie pour caractériser la texture du sol, la distribution en taille de particules de sol doit être déterminée sans perturbation des agrégats et peut être représentée par des fonctions log-normales (Chatent et *al.*, 1996 ; Labiadh et *al.*, 2011). Des échantillons de la surface de sol, chacune composé des sols collectés sur 10 sites de la même parcelle, ont été collectés. Ces échantillons de sol ont été séchés à  $105^\circ\text{C}$  pendant 24 heures avant d'être passé lentement à travers une colonne de 13 tamis dont les mails sont compris entre  $50 \mu\text{m}$  à  $1000 \mu\text{m}$ . Les résultats de tamisage à sec montrent que la distribution en taille des grains du sol est bimodale. Le diamètre médian de la première population qui représente environ 52% (écart-type = 12%) de la masse du sol, est de  $101 \mu\text{m}$  (écart-type =  $2 \mu\text{m}$ ). La seconde population a un diamètre médian de  $76 \mu\text{m}$  (écart-type =  $2 \mu\text{m}$ ) et représente 48% (écart-type = 12%) de la masse du sol (Mabiadh et

*al.*, 2011 ; Labiadh et *al.*, 2013). Par conséquent, la présence systématique d'un mode de taille proche ou au dessous de  $100 \mu\text{m}$ , c'est-à-dire, la gamme de taille des grains qui nécessitent la plus faible vitesse de vent pour être mobilisée (Iversen et *al.*, 1976), indique clairement que ces sols sont fortement susceptibles à l'érosion éolienne.

## 2.2-Données Météorologiques

Un mât météorologique a été déployé pour mesurer la vitesse et la direction du vent ainsi que la température de l'air à différentes hauteurs au-dessus de la surface du sol. Les vitesses de vent ont été mesurées, en utilisant les anémomètres classiques (A100R Vector Instrument©) à 7 niveaux verticaux différents se situant entre 22 cm et 420 cm. L'anémomètre le plus haut a été placé à une hauteur égale au moins à  $1/30$  de la longueur de la parcelle (140 m) mesurée dans la direction du vent dominant. Les mesures des hauteurs ont été sélectionnées pour se rapprocher d'une échelle logarithmique. La direction du vent a été mesurée à un seul niveau uniquement (2.5 m) en utilisant le W200P Vector Instrument©. Les températures de l'air ont été mesurées simultanément par les thermocouples (type Chromel Constantan) à 3 hauteurs différentes (20, 95, 272 cm) (figure 5). Les instruments ont été alimentés par des batteries de 12 Volts. Finalement, l'acquisition des données a été réalisée par une centrale d'acquisition (CR10X Campbell©), permettant l'enregistrement de tous les paramètres météorologiques moyennés sur des intervalles de 2 minutes avec un temps de scan de 5 secondes. Ce pas du temps permet

d'une part d'identifier les événements érosifs les plus intenses qui ne durent pas long temps et d'autre part d'éviter que les données stockées soient écrasées dans très peu de temps (par exemple 2 jours si l'acquisition a été programmée chaque minute).



10 Km

Figure 4 : Carte de localisation de la parcelle expérimentale de Dar Dhaoui

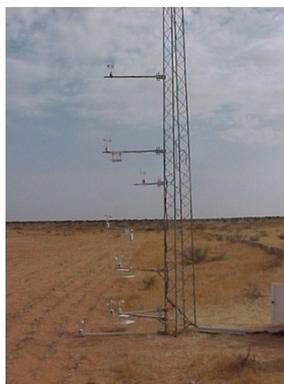


Figure 5 : Mesures des paramètres météorologiques

### 2.3-Capteur de saltation : Sensit©

Dans l'objectif d'améliorer l'identification des périodes de l'érosion éolienne et obtenir une estimation de la vitesse de friction seuil, nous avons accompli des mesures additionnelles en utilisant des instruments à réponse rapide Sensit© (Gillette and Pitchford, 2004). Le Sensit© convertit les impacts des particules, à l'aide d'un anneau piézoélectrique monté sur un cylindre en acier de 2.54 cm de diamètre, en énergie électrique sous forme de coup (1, 2, 3,...50...). Puisque la surface sensible ou de contact de cet instrument fait un anneau de 360°, il répond par conséquent aux impacts des particules provenant des toutes les directions du vent (Bergametti and Gillette, 2010)

(figure 3). Pour notre expérience, nous avons utilisé le Sensit© modèle H11 – LIN (Sensit Company). Dans la parcelle expérimentale, la tête de Sensit© a été installée à environ 7 cm au dessus de la surface de sol et à 3 m en amont du mât météorologique pour estimer le début et la durée de l'érosion éolienne dans notre site de mesures. Les réponses accumulées tous les 20 secondes de l'impact des particules sur la surface sensible ont été enregistrées dans un boîtier d'acquisition alimenté par des batteries de 12 Volts et puis additionnées sur un pas de temps de 2 minutes pour les synchroniser avec les données du vent en particulier, elles aussi sont enregistrées tous les 2 minutes (figure 6).



Figure 6 : Boîtier d'acquisition des données de Sensit©

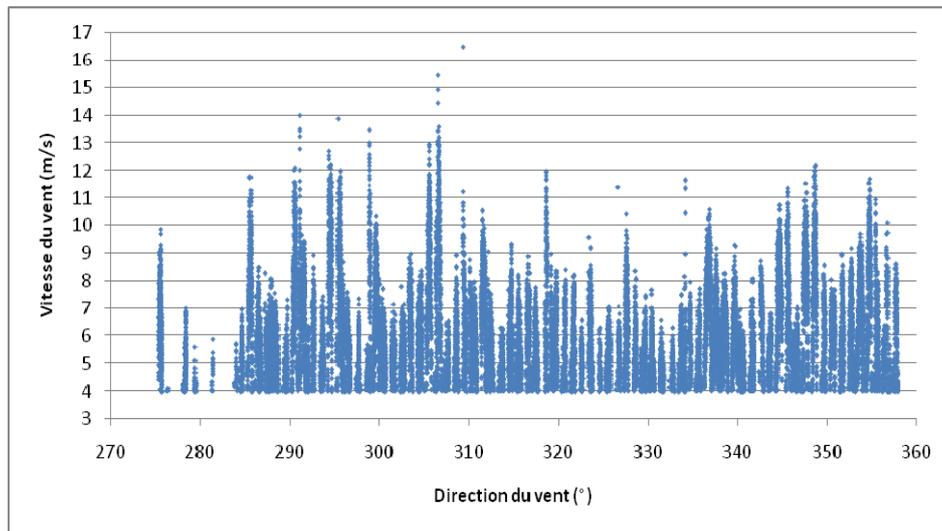
### 3-Résultats

Au cours de cette expérience, les conditions météorologiques ont

beaucoup fluctués dans la journée, en particulier la direction et la vitesse du vent. Les mesures de la vitesse du vent

enregistrées à 420 cm varient entre  $0.25 \text{ m.s}^{-1}$  et  $16.5 \text{ m.s}^{-1}$ . La procédure de détermination des paramètres aérodynamiques (premièrement la hauteur de rugosité aérodynamique,  $z_0$ , et la vitesse de friction du vent,  $u_*$ ) est celle décrite par Marticorena et al., (2006). En effet, dans les conditions de stabilité, définies comme une fonction où les données sont collectées uniquement durant les conditions proches de la neutralité thermique (Karlsson, 1986), la valeur de la hauteur de rugosité aérodynamique mesurée sur la parcelle expérimentale

est de l'ordre de 0.58 cm. Par ailleurs, compte tenue de l'orientation de la parcelle ( $305^\circ$ ) qui a été choisie selon la direction du vent dominant, les périodes de fortes érosion qui correspondent aux évènements érosifs les plus intenses ont eu lieu quand les directions du vent sont à  $\pm 45^\circ$  par rapport à la direction de la parcelle (figure 7). De plus, étant donné que c'est les vitesses du vent les plus importants qui ont plus contribué aux flux d'érosion mesurés, environ 10 périodes érosives ont pu être enregistrées dont la durée et l'intensité sont très variables.



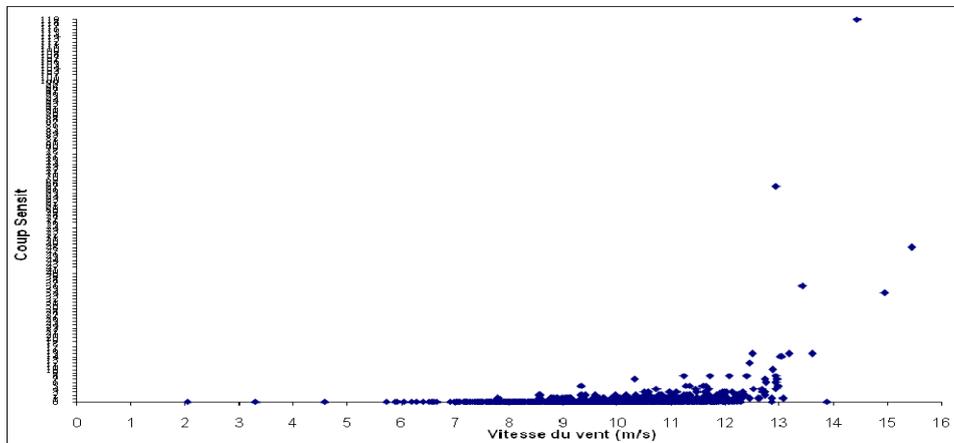
**Figure 7 :** Direction du vent pendant les évènements érosifs

Pour mesurer la vitesse de friction seuil sur la parcelle expérimentale, nous avons, dans un premier temps, analysé les données acquises par le Sensit© tous les 20 s puis mettre en bonne forme l'horloge de la base de données de telles sortes de ne pas avoir de lacunes de données dues généralement

à une chute de tension ou à un dysfonctionnement de l'appareil. Ces dernières ont été, par la suite, additionnées sur un pas de temps de 2 minutes et associé aux mesures de la vitesse du vent enregistrées à 420 cm pour faire correspondre le pas de temps de la mesure de la saltation à celui de

l'enregistrement de la vitesse du vent. Selon la période (mars, avril et mai) et l'intensité des flux d'érosion, jusqu'à 119 coup ont été enregistrés par le Sensit© durant 20 secondes correspondant à une vitesse maximale du vent à 4.2 m de l'ordre de 14.44 m.s<sup>-1</sup>. La figure 8 montre que le Sensit© a

déte té un début de saltation sur notre parcelle expérimentale pour des valeurs de vitesses de friction seuil allant de 7 m.s<sup>-1</sup>   9 m.s<sup>-1</sup> ce qui suggère que ce capteur de saltation semble bien fonctionner en mesurant ce paramètre clé de l'érosion éolienne sur les  tats de surface des zones arides tunisiennes.



**Figure 8 :** Vitesse du vent à 4.20 m et les réponses de Sensit  pendant les  v nements érosifs (l'axe des ordonnées (coup de Sensit ) le minimum = 0 ; le maximum = 119 ; unité principale = 1).

A fin de définir une vitesse seuil d'érosion qui permet de déterminer la sensibilité au vent de la surface étudiée, à partir des mesures de Sensit  dont nous disposons, nous avons travaillé sur la série du vent supérieure à 4 m.s<sup>-1</sup> car au dessous de cette valeur, le capteur de saltation n'a enregistré aucun  v nement. Les vitesses du vent, mesurées à 4.20 m, sont réparties en classes de 0.5 m.s<sup>-1</sup> puis une valeur moyenne de la vitesse du vent pour chaque classe a été déterminée. Il a été alors possible de définir une valeur moyenne de nombres d'impacts obtenus par le Sensit  pour chacune de ces valeurs moyennes de vitesses du vent (tableau 1).

La mise en mouvement des particules érodables de sol a été enregistrée d'une façon continue à partir d'une vitesse du vent de l'ordre de 8.75 m.s<sup>-1</sup>. La moyenne du nombre maximal d'impact qui correspond à une vitesse du vent de 15.25 m.s<sup>-1</sup> est de 48 coups. Cependant, par ce capteur, le début de saltation a été obtenu pour un seuil d'érosion égale à 7.75 m.s<sup>-1</sup> pour ne reprendre qu'à partir de 8.75 m.s<sup>-1</sup> (absence d'impact à 8.25 m.s<sup>-1</sup>). En effet, sur le champ, nous avons observé que le Sensit , pour les plus part de périodes érosives, ne commence à compter systématiquement qu'après que la saltation a eu lieu. Autrement dit, même à des vitesses du vent très fortes

(supérieure à  $7 \text{ m.s}^{-1}$ ), le Sensit© ne répond pas de la même façon d'un enregistrement à un autre (toute les 20 secondes) pendant le même évènement érosif (figure 9). Ceci suggère que l'énergie cinétique des particules de sol en mouvement après que la vitesse de friction seuil est atteinte est insuffisante pour être enregistrée avec le capteur de saltation. Ceci est très probablement dû à la petite taille des agrégats qui constituent les sols érodables du sud tunisien (voir par exemple Labiadh et *al.*, 2011). Par conséquent, uni-quement les évènements d'érosion très intense ont été détectés correctement.

**Tableau 1 :** Valeurs moyennes de nombres d'impacts obtenus par le Sensit© pour chaque intervalle de la vitesse du vent à 4.2 m

Intervalle de la vitesse du vent à 4.2 m	Valeur moyenne de la vitesse du vent à 4.2 m	Moyenne de nombres d'impacts
4.5 – 5	4.75	0
5 – 5.5	5.25	0
5.5 – 6	5.75	0
6 – 6.5	5.25	0
6.5 - 7	6.75	0
7 – 7.5	7.25	0
7.5 – 8	7.75	0.017857
8 – 8.5	8.25	0
8.5 – 9	8.75	0.086538
9 – 9.5	9.25	0.129771
9.5 - 10	9.75	0.083969
10 – 10.5	10.25	0.179104
10.5 – 11	10.75	0.396226
11 – 11.5	11.25	0.785714
11.5 – 12	11.75	0.924528
12 – 12.5	12.25	2.217391
12.5 – 13	12.75	8.5
13 – 13.5	13.25	16.5
13.5 – 14	13.75	7.5
14 – 14.5	14.25	119
14.5 – 15	14.75	34
15 – 15.5	15.25	48

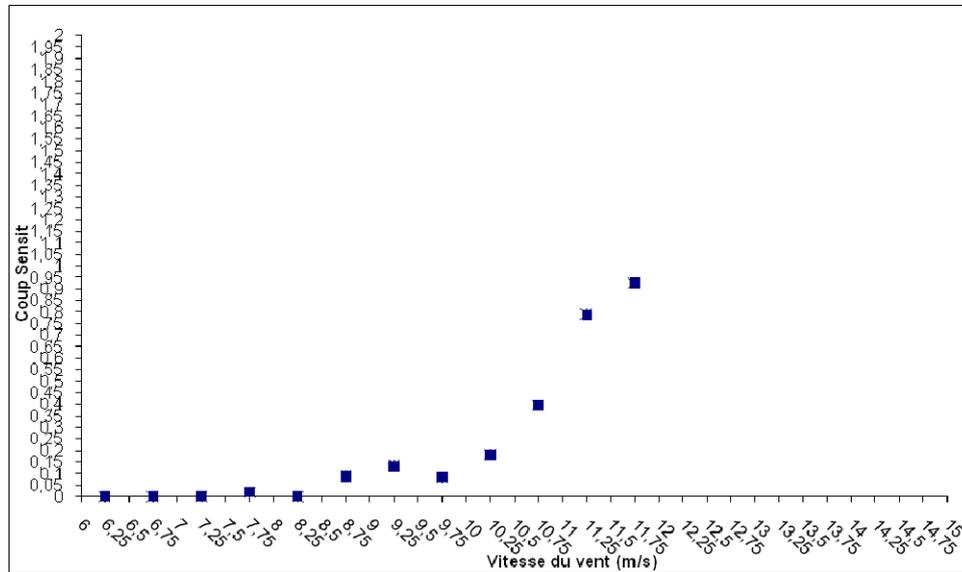


Figure 9 : Détermination de la vitesse de friction seuil ( $u_{*c}$ )

#### 4-Conclusion

La vitesse seuil d'érosion est un paramètre difficile à mesurer sur le terrain. Elle correspond théoriquement à la vitesse du vent pour laquelle les premiers grains du sable se mettent en mouvement à la surface du sol. Les particules ayant la taille optimale pour l'érosion éolienne et une vitesse seuil mini-male ont un diamètre variant entre 60 et 100  $\mu\text{m}$ . L'utilisation de Sensit© pour la détection du seuil d'érosion dans les zones arides et désertiques tunisiennes, bien qu'il permet de

renseigner sur le début de la saltation, semble être limitée par la distribution en taille des particules érodable du sol. Ce capteur de saltation n'est généralement pas sensible aux impacts de telles particules pour les vitesses du vent les plus faibles qui correspondent au seuil. Par ailleurs, les périodes érosives doivent être également déterminées surtout à travers le traitement des enregistrements de la vitesse du vent, en particulier les vents forts dont la vitesse est supérieure à  $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

#### Références bibliographiques

- Bagnold, R.A. (1941) : The physics of blown sand and desert dunes, Methuen, London, 265 pp.
- Bagnold, R.A. (1943) : The physics of blown sand and desert dunes, William Morrow & CO. New York. USA.
- Bergametti, G., and D. A. Gillette. (2010) : Aeolian sediment fluxes measured over various plant/soil complexes in the Chihuahuan desert, *J. Geophys. Res.*, 115, F03044, doi:10.1029/2009JF001543.

- Chatenet, B., B. Marticorena, L. Gomes and G. Bergametti. (1996) : Assessing the microped size distributions of desert soils erodible by wind, *Sedimentology*, 43, 901-911.
- Chepil, W.S. (1945) : Dynamics of wind erosion: IV The translocating and abrasive action of the wind. *Soil Sci.* 61:167-177.
- Chepil, W. S. (1951) : Properties of soil which influence wind erosion: IV. State or dry aggregate structure, *Soil Sci.*, 72, 387-401.
- Chepil, W.S. and N.P. Woodruff. (1963) : The physics of wind erosion and its control, *Advances in Agronomy*, 15, 211-302.
- Gillette D.A., J. Adams, A. Endo, D. Smith and R. Khil. (1982) : Threshold velocities for input of soil particles into the air by desert soils, *J. Geophys. Res.*, 85, 5621-5630.
- Gillette, D. A., and A. M. Pitchford. (2004) : Sand flux in the northern Chihuahuan desert, New Mexico, USA, and the influence of mesquite-dominated landscapes, *J. Geophys. Res.*, 109, F04003, doi:10.1029/2003JF000031.
- Iversen, J.D., J.B. Pollack, R. Greeley and B. R. Whit. (1976) : Saltation threshold on Mars: The effect of interparticle force, surface roughness, and low atmospheric density, *Icarus*, 29, 381-393.
- Iversen, J.D. and B.R. White (1982) : Saltation threshold on Earth, Mars and Venus, *Sedimentology*, 29, 111-119.
- Kardous, M. (2005) : *Quantification de l'érosion éolienne dans les zones arides tunisiennes : approche expérimentale et modélisation*. Thèse de Doctorat en Physique de l'Environnement, Université Paris 12 – Val de Marne, 298 pp.
- Karlsson, S. (1986) : The applicability of wind profile formulas to an urban/rural interface site, *Bound.-Lay. Boundary-Layer Meteorology* 34, 333–355.
- Khatteli, H. (1996) : *Erosion éolienne en Tunisie aride et désertique, Analyse des processus et recherches des moyens de lutte*. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques Appliquées, PhD, Université de GENT, 180 pp.
- Labiadh, M., Bergametti, G., Attoui, B., and Sekrafi, S., 2011. Particle size distributions of South Tunisian soils erodible by wind. *Geodin. Acta*, 24, 39-49.
- Labiadh, M., Bergametti, G., Kardous, M., Perrier, S., Grand, N., Attoui, B., Sekrafi, S., and Marticorena, B. (2013) : Soil erosion by wind over tilled surfaces in South Tunisia. *Geoderma*, 202-203, 8-17.
- Laurent, B. (2005) : *Simulation des émissions d'aérosols désertiques à l'échelle continentale : Analyse climatologique des émissions du nord-est de l'Asie et du nord de l'Afrique*. Thèse de Doctorat en Chimie de la pollution Atmosphérique et Physique de l'Environnement, Université Paris 12 – Val de Marne, 222 pp.
- Marticorena, B. and G. Bergametti (1995) : Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission Scheme. *J. Geophys. Res.*, 100, 16415-16430.
- Marticorena, B., M. Kardous, G. Bergametti, Y. Callot, P. Chazette, H. Khatelli, S. Le Hégarat-Masclé, M. Maillé, J.L. Rajot, D. Vidal-Madjar and M. Zribi. (2006) : Surface and aerodynamic roughness in arid and semiarid areas and

Mohamed LABIADH, Gilles BERGAMETTI & Houcine KHATTELI

- their relation to radar backscatter coefficient, *J. Geophys. Res.*, 111, F03017, doi:10.1029/2006JF000462.
- Nickling, W.G., Gillies, J.A. (1989) : Emission of fine-grained particulates from desert soils, in *Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport*, Leinen M., M. Sarnthein (Eds.), *Kluwer Academic Publ., Dordrecht*, 133-165.
  - Priestley, C. H. B. (1959) : *Turbulent Transfer in the Lower Atmosphere*, University of Chicago Press, Chicago, 130 pp.
  - Prospero, J. M., R.A. Glaccum and R.T. Nees. (1981) : Atmospheric transport of soil dust from Africa to South America. *Nature*, 289, 570-572.
  - Raupach, M.R., D.A. Gillette and J.F. Leys. (1993) : The effect of roughness elements on wind erosion threshold. *J. Geophys. Res.*, 98, 3023-3029.
  - Saleh, A., D.W. Fryrear and J.D. Bilbro. (1997) : Aerodynamic roughness prediction from soil surface roughness measurement, *Soil Sci.*, 162, 205-210.
  - Shao, Y. (2000) : *Physics and Modelling of Wind Erosion*, *Kluwer Academic Publishers*, 393 pp.
  - Stockton, P. & D.A. Gillette. (1990) : Field measurements of the sheltering effect of vegetation on erodible land surfaces. *Land Degradation & Rehabilitation* 2:77-85.
  - Van Pelt, R.S, Peters, P, Visser, S. (2009) : Laboratory wind tunnel testing of three commonly used saltation impact sensors. *Aeolian Research*, 1, 55-62. doi:10.1016/j.aeolia.2009.05.001.
  - Visiting International Scientist Program (1981) : Remote Sensing Institut S.O.S.U, U.S.A.

## Expérimentations en conditions contrôlées des paramètres aérodynamiques de l'érosion éolienne pour différents états de surface du sud tunisien

Mohamed Labiadh<sup>1</sup>, Gilles Bergametti<sup>2</sup> et Houcine Khatteli<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup>Institut des Régions Arides (IRA), Médenine, Tunisie

<sup>(2)</sup>Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques(LISA), UMR CNRS 7583, Université Paris Est Créteil - Université Paris Diderot, Institut Pierre Simon Laplace, Créteil, France

### ملخص

تعتبر سرعة الاحتكاك بسطح التربة التي تعتمد على سرعة الرياح وخشونة سطح الأرض من أهم العوامل التي تتحكم في ظاهرة الانجراف الهوائي. مجمل هذه العوامل مرتبطة فيما بينها بمعادلة لوغارتمية. يقترح هذا العمل محاكاة مخبرية بالنفق الهوائي لمعهد المناطق القاحلة لأهم الخصائص الدينامكية لظاهرة الانجراف الهوائي لعدد 12 عينة من التربة وقع جلبها من عدة مناطق بالجنوب التونسي. أظهرت نتائج هذا العمل أن قياس خشونة سطح التربة للعينات التي وقع نشرها بالنفق الهوائي يتراوح بين  $10^{-7}$  و  $10^{-2}$  سم مم يدل على أن المواقع التي وقع جلب العينات منها تكون جد معرضة للانجراف الهوائي. وبالإضافة إلى ذلك، أثبتت هذه الدراسة أن الخصائص الفيزيائية للتربة بالجنوب التونسي تتميز بوجود حجم تربة أمثل ( $100 \mu\text{m}$ ) يتطلب أدنى سرعة رياح كافية لبداية الانجراف الهوائي ( $20 \text{ سم.ث}^{-1}$ ).

الكلمات المفتاحية : الانجراف الهوائي، الجنوب التونسي، النفق الهوائي، خشونة سطح الأرض، بداية الانجراف الهوائي.

### Résumé

L'érosion éolienne sur la surface du sol est contrôlée par la vitesse de friction de surface,  $u_*$ , qui dépend de la vitesse du vent et de la rugosité de surface. Dans des conditions de neutralité thermique, les paramètres aérodynamiques (la hauteur de rugosité aérodynamique ( $z_0$ ) et  $u_*$ ) sont déterminés à partir de la vitesse de vent ( $u$ ) à une hauteur ( $z$ ) au dessus du sol en utilisant un profil de vitesse de vent logarithmique.

12 échantillons de sol du sud tunisien ont fait l'objet d'une simulation du phénomène de l'érosion éolienne dans la soufflerie de l'Institut des régions Arides de Médenine pour mesurer leurs caractéristiques aérodynamiques. Des expériences additionnelles ont été réalisées pour déterminer la distribution en taille des agrégats constitutifs de chaque type du sol testé.

Les résultats de ce travail montrent que les états de surface étalés dans la section travaillante de la soufflerie sont aérodynamiquement lisses. Les valeurs de la hauteur de rugosité aérodynamique ( $z_0$ ) mesurées sont comprises entre  $10^{-7}$  et  $10^{-2}$  cm. Cet ordre de grandeur de  $z_0$  montre que les sols testés sont très vulnérables à l'érosion éolienne. En outre, des mesures des conditions seuil montrent également qu'il existe un diamètre optimal de l'ordre de  $100 \mu\text{m}$  pour le quel la vitesse de friction seuil est minimale ( $20 \text{ cm.s}^{-1}$ ).

**Mots clés :** Erosion éolienne, sud tunisien, soufflerie, rugosité de surface, vitesse de friction, seuil d'érosion.

### Summary

Soil erosion by wind is controlled by the friction velocity  $u_*$ , which depends on the wind speed and the surface roughness. In neutral conditions, aerodynamic parameters (aerodynamic roughness height ( $z_0$ ) and  $u_*$ ) are determined from the wind speed ( $u$ ) at a height ( $z$ ) above the ground using a logarithmic profile wind speed.

Twelve soils samples from different sites in south Tunisia were the subject of a simulation of soil erosion by wind in the wind tunnel of the Arid Regions Institute to measure aerodynamic characteristics. Additional experiments were performed to determine the size distribution of tested soils.

The results of this work show that the surface of soil spread in the working section of the wind tunnel are aerodynamically smooth. The values of the aerodynamic roughness height ( $z_0$ ) measured are between  $10^{-7}$  and  $10^{-2}$  cm. This order of magnitude of  $z_0$  shows that the tested soils are very vulnerable to wind erosion process. In addition, measurements of threshold condition show also that there is an optimum diameter of 100  $\mu\text{m}$  for which the threshold friction velocity is minimal ( $20 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

**Keywords:** Soil erosion by wind, southern of Tunisia, wind tunnel, surface roughness, threshold friction velocity.

### 1-Introduction

L'érosion éolienne résulte de l'action mécanique exercée par le vent sur la surface du sol. Elle se produit essentiellement dans les régions où le vent est suffisamment fort et le sol est nu, sec et émiétté (Nickling, 1994). C'est donc dans les régions hyper-arides, arides et semi-arides que l'érosion éolienne est la plus active. Géographiquement, ces zones arides se situent principalement aux environs de  $30^\circ$  de latitude, aussi bien dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud.

Dans les environnements arides désertiques où le vent est le principal facteur de redistribution des sédiments, les processus éoliens (érosion, transport des particules par le vent et leur dépôt subséquent) prévalent du fait du très

faible couvert végétal lié à une très faible pluviométrie (Goudie et Middleton, 2001). Dans les régions semi-arides, cependant, les changements climatiques et la forte pression anthropique exercée sur les ressources en sols représentent des facteurs modificateurs (Le Treut, 2003) et amplificateurs de la susceptibilité des sols à l'érosion éolienne (Lavauden, 1927; Le Houérou, 1993 ; Le Floc'h, 1996 ; Katyal et Vlek, 2000).

Cette variabilité spatio-temporelle des facteurs naturels et anthropiques qui contrôlent l'érosion éolienne rend le suivi de ce phénomène à l'échelle de la parcelle expérimentale souvent difficile à mettre en œuvre. En effet, pour réaliser des études sur les processus éoliens impliqués dans les conditions

naturelles, il faut faire en quelque sorte la chasse à la tempête pour s'assurer de la pertinence des mesures. Ceci suppose d'avoir bien documenté tous les paramètres de l'érosion éolienne, en particulier, les périodes érosifs les plus intenses. En outre, ces expériences, nécessitent le déploiement de nombreux instruments scientifiques, très spécifiques parfois, pour mesurer les données météorologiques, les propriétés physiques des états de surface du sol et le flux d'érosion (flux horizontal et flux vertical). Par ailleurs, l'analyse et l'interprétation des données acquises, pour la détermination des principaux paramètres clés qui contrôlent l'érosion éolienne, résultent de la combinaison de l'ensemble de données enregistrées et mesurées au cours de l'expérience (vitesses du vent, hauteur de rugosité aéro-dynamique, la vitesse de friction, distribution en taille des particules, humidité du sol...) puis la quantification du rôle respectif de chaque paramètre dans le processus éolien.

Ces spécificités des mesures font que le dispositif expérimental mis en place sur le terrain est assez lourd sur le plan matériel et sur le coût des expérimentations (durée de l'expérience, mobilisation de moyens humains, fréquence des relevés des données...). Pour remédier à ces problèmes, le recours à la simulation expérimentale de l'érosion éolienne dans des conditions de laboratoire est devenu une pratique de plus en plus courante. Ces expériences dans la soufflerie vont permettre de réaliser autant que possible des répétitions sur le même état de surface testé et de contrôler et varier les paramètres aérodynamiques qui le caractérisent.

L'objectif du présent travail est de simuler en conditions contrôlées (soufflerie de l'Institut des Régions Arides de Médenine) les principaux paramètres clés qui contrôlent l'érosion éolienne pour différents états de surface du sud tunisien. Le matériel utilisé et les méthodes adoptées lors de la réalisation de ce travail ainsi que les résultats des expériences sont présentés ci-dessous.

## **2-Matériels et méthodes**

### **2.1-La soufflerie**

La soufflerie de l'I.R.A de Médenine est rectiligne à circuit ouvert. Le vent produit par la soufflerie est généré par un ventilateur de six pales animé par un moteur électrique, dont la vitesse de rotation varie de 1 à 1500 tr.min<sup>-1</sup>. Ce moteur est commandé par un variateur de vitesse muni d'un cadran permettant d'afficher la vitesse de rotation en cours (figure 1). Un des principaux avantages de ce système c'est de permettre d'effectuer des répétitions réalisées dans les mêmes conditions de vent.

La soufflerie est constituée de deux parties principales, le convergent et le tunnel (veine). Outre l'accélération de l'écoulement de l'air, le convergent, au travers des écrans brise-tourbillon et d'un nid d'abeilles, permet d'inhiber les effets tourbillonnaires et favorise le développement d'un écoulement régulier, uniforme et dépourvu de toute turbulence parasite. La veine de la soufflerie est rectangulaire de hauteur 80 cm, de largeur 60 cm et de longueur totale 732 cm (figure 2). Elle est composée de trois parois métalliques reposant sur un revêtement de carrelage lisse et parfaitement jointif qui

constitue le plancher de la soufflerie (Kardous, 2005).

Des tests d'aptitude de la soufflerie de l'IRA à reproduire de la façon la plus satisfaisante possible l'écoulement de l'air généré par une soufflerie avec les lois régissant cet écoulement dans les conditions naturelles ont été effectués dans un travail antérieur par Kardous, 2005. Ces tests montrent que (i) la soufflerie est bien installée et la transmission du mouvement entre moteur électrique et soufflerie est très satisfaisante, (ii) la soufflerie simule bien la basse couche de l'atmosphère avec l'établissement d'une part d'une couche limite de surface qui s'étend sur environ 25 cm à partir du niveau du sol et où l'application des lois régissant

les écoulements turbulents ne pose aucun problème et d'autre part d'une zone de flux libre assez franche.

Par ailleurs, en raison du frottement de l'air avec les parois de la soufflerie, la répartition de la vitesse du vent est très régulière à la section de la sortie du tunnel. Elle est plus faible au niveau des parois et croît vers le centre du tunnel (Kardous, 2005). Ceci pourrait constituer une contrainte sur l'homogénéité de mesures des paramètres aérodynamiques. Pour remédier à ce problème, nous avons choisi de réaliser des mesures uniquement localisés suivant l'axe de symétrie longitudinal de la soufflerie.



Figure 1 : Variateur de vitesse du moteur électrique et système de commande

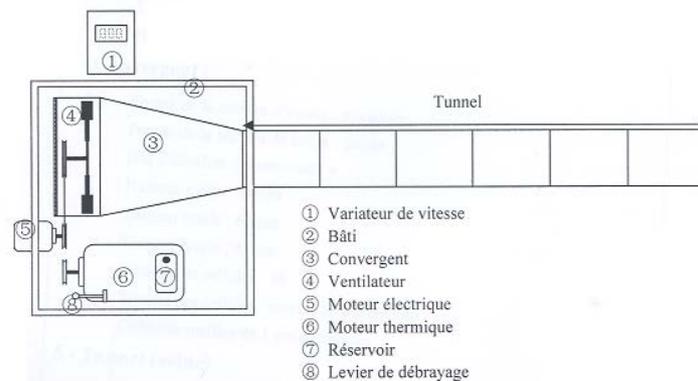


Figure 2 : Vue schématique de la soufflerie de l'IRA (Kardous, 2005)

## 2.2-Instruments de mesure

La mesure de la vitesse du vent a été effectuée grâce à une batterie de tubes de Pitot montés sur une colonne verticale installée à la section de sortie du tunnel. Six tubes immergés dans le tunnel, orientés au vent et reliés à un séquenceur numérique mesurent la pression totale du vent ( $P_T$ ) et un tube mesure sa pression statique ( $P_S$ ) à chaque hauteur. Pour déterminer la pression dynamique de l'air en

mouvement (PD) qui est égale à la différence entre la pression totale et la pression statique de l'air ( $P_D = P_T - P_S$ ), ces tubes sont connectés à un micro-manomètre différentiel. Celui-ci est électrique menu d'un affichage numérique permettant de lire directement la valeur de la pression dynamique exprimée en millimètre d'eau (figure 3).



Figure 3 : Instruments de mesure installés à la section de sortie du tunnel

## 2.3-Les sols

Dans le cadre de nos essais, les cinq premiers centimètres de différents états de surface du sud tunisien sur 12 sites ont été échantillonnés. Pour chaque gouvernorat (Tataouine, Médenine, Gabès et Kébili), l'échantillon de sol a été désigné par la localité où il a été prélevé (tableau 1). Dans la section travaillante de la soufflerie, le matériel érodable testé a été étalé et nivelé pour

former une couche plane d'épaisseur 3 cm environ, de largeur 60 cm et de longueur 400 cm. En parallèle aux expériences réalisées en soufflerie, des analyses complémentaires sur la distribution en taille des agrégats constitutifs du sol ont été réalisées à travers une colonne de 13 tamis dont les mails sont compris entre 50  $\mu\text{m}$  à 1000  $\mu\text{m}$ .

**Tableau 1** : Nom et localisation des échantillons du sol testés

Gouvernorats	Echantillons	Coordonnées GPS (UTM)	
Tataouine	Remada	623869	3577922
	Dhehiba	662261	3555062
	Beni Mhira	668684	3636578
	Douiret	617045	3626819
Médénine	Sidi Taoui	717128	3621017
	Hmada	715460	3652047
	Chehbania	667476	3682119
	Chammakh	681047	3708254
Gabès	Menzel Habib	565700	3793624
	Ghannouch	597167	3759013
	Oudref	568055	3763502
	Hamma	555482	3745347
Kébili	Régim Mâatoug	409995	3686903
	Fouar	468760	3692757
	Zaafrane	493598	3701825
	Ksar Ghilane	562209	3650098

### 3-Résultats

#### 3.1. Distribution en taille des grains du sol

La détermination de la granulométrie des agrégats du sol à l'état naturel tels qu'ils existent réellement à la surface des sols, sans aucune dispersion des agrégats, est primordiale pour l'étude de l'érosion éolienne. Le principe général est le même que pour la texture puisqu'il s'agit d'obtenir les abondances relatives des grains du sol dans diverses classes de taille. Cette distribution granulométrique de la couche de surface des sols peut être déterminée en utilisant des méthodes non-dispersives. Chatenet et al., (1996) ont montré que, pour les sols des régions arides et semi-arides, les distributions granulométriques des particules de taille inférieure à deux millimètres peuvent être décrites par des fonctions statistiques log-normales incluant plusieurs modes. Ces

distributions, qui reproduisent de façon satisfaisante les distributions massiques observées, sont caractérisées par un diamètre médian, un écart type et une proportion totale en masse (eq.1).

$$\frac{dM(D_p)}{d \ln(D_p)} = \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \ln(\sigma_j)}} \cdot \exp \frac{(\ln D_p - \ln D_{medj})^2}{-2 \cdot \ln^2 \sigma_j} \quad (\text{Eq.1})$$

- $D_p$  : diamètre d'une particule  $p$  ;
- $j$  : réfère au  $j^{\text{ième}}$  mode ;
- $M_j$  : fraction massique du mode  $j$  ;
- $D_{medj}$  : diamètre médian en masse du mode  $j$  ;
- $\sigma_j$  : déviation géométrique standard du mode  $j$ .

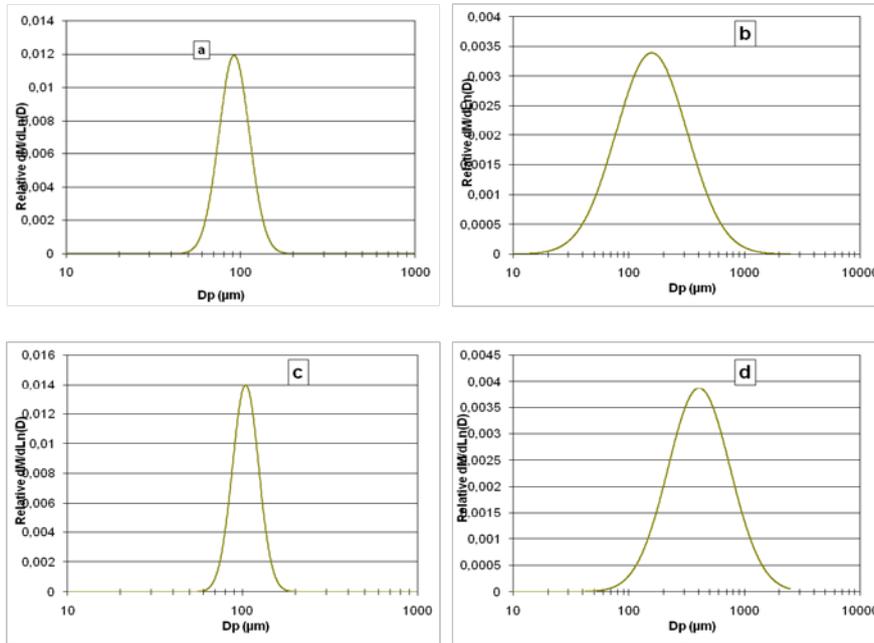
Pour chaque échantillon du sol testé dans la soufflerie, nous avons appliqué ce traitement numérique (fonctions log-normales) afin de déterminer les distributions granulométriques des

grains de sol. Les résultats du tamisage qui figurent dans le tableau 2 font ressortir une bonne homogénéité du sol sur le plan granulométrique. Ils montrent que tous les sols testés sont constitués d'un mélange de particules de taille comprise entre 200 et 75  $\mu\text{m}$  à l'exception de l'échantillon de Douiret et Ouedref dont les diamètres médians sont 406.8  $\mu\text{m}$  et 465.8  $\mu\text{m}$ , respectivement. Aussi, comme le montre les figures 4, 5, 6 et 7 qui représentent la distribution massique des grains du sol en fonction de leurs diamètres, les sols testés sont monomodal et non limités en matériel

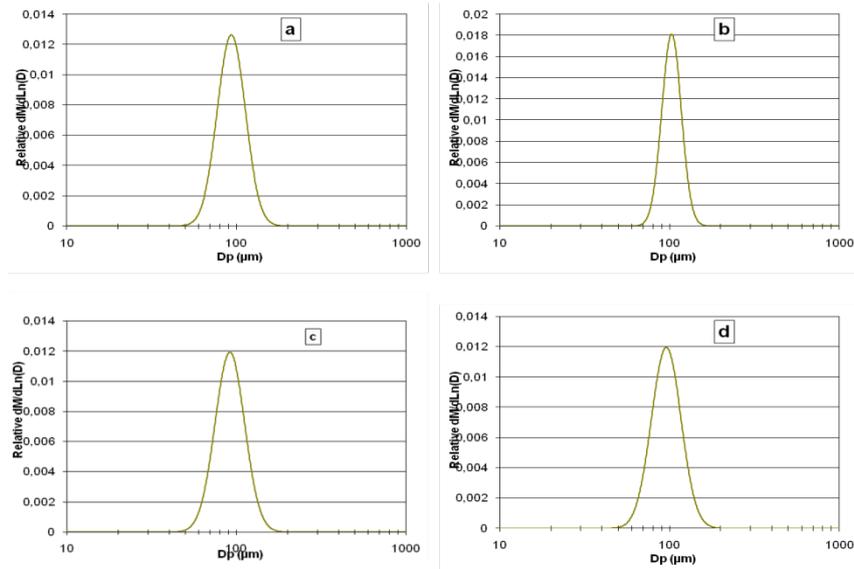
érodable parce qu'il contient une fraction de particules de taille très proche de 100 micromètres et en conséquence facilement mobilisables par le vent. Ce domaine de valeurs de diamètre médian est consistant avec celles trouvées pour l'ensemble de sud tunisien par Labiadh et al., (2011) qui ont montré qu'une population fine très dominante et très bien triée dont la contribution à la distribution granulométrique des sols du sud tunisien est toujours supérieure à 50% est présente partout (médiane: 100  $\mu\text{m}$ , écart type = 1,23).

**Tableau 2 : Paramètres de la distribution massique monomodale des sols testés**

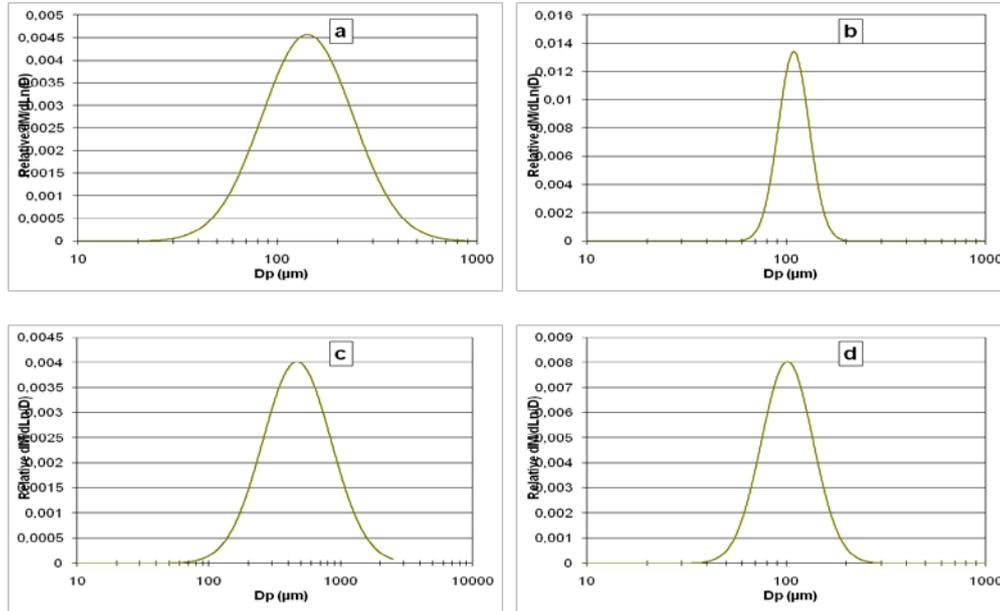
Gouvernorats	Echantillons	Médiane	Pourcentage	Ecart type
<b>Tataouine</b>	Remada	94.5	100	1.20
	Dhehiba	158.4	100	2.00
	Beni Mhira	104.3	100	1.19
	Douiret	406.8	100	1.86
<b>Médenine</b>	Sidi Taoui	93.3	100	1.21
	Hmada	102.9	100	1.14
	Chehbania	94.2	100	1.21
	Chammakh	95.8	100	1.22
<b>Gabès</b>	Menzel Habib	141.8	100	1.69
	Ghannouch	109.2	100	1.20
	Oudref	465.8	100	1.82
	Hamma	101.4	100	1.35
<b>Kébili</b>	Régim Mâatoug	103.4	100	1.29
	Fouar	100	100	1.25
	Zaafrane	109.2	100	1.20
	Ksar Ghilane	115	100	1.18



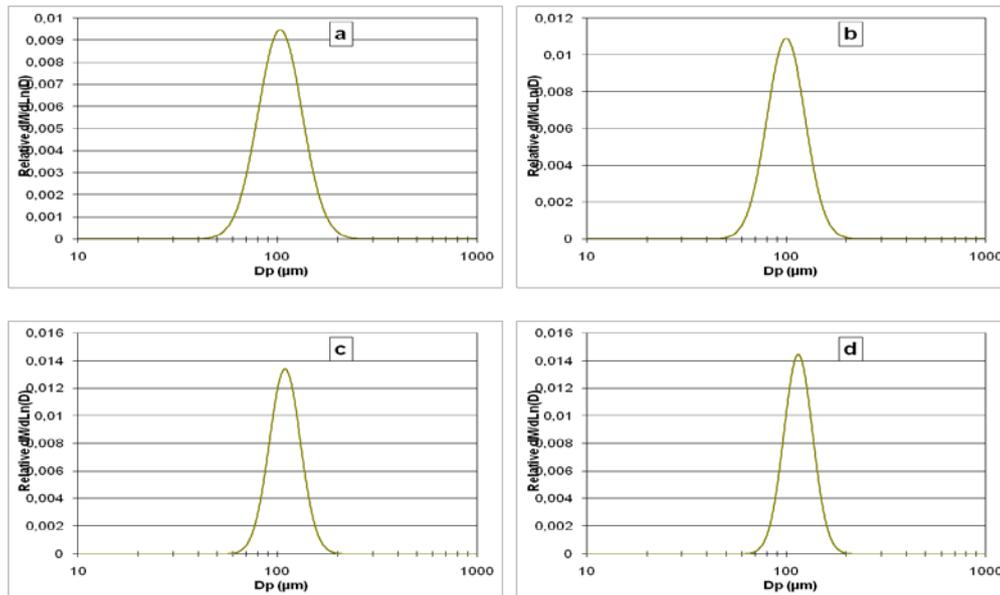
**Figure 4 :** Distribution en taille des agrégats constitutifs des sols à Tataouine. (a) Remada, (b) Dhiba, (c) Béni Mhira et (d) Douiret



**Figure 5 :** Distribution en taille des agrégats constitutifs des sols à Médenine. (a) Sidi Taoui, (b) Hmada, (c) Chehbenia et (d) Chammakh



**Figure 6 :** Distribution en taille des agrégats constitutifs des sols à Gabès. (a) Menzel Habib, (b) Ghannouch, (c) Ouedref et (d) Hamma



**Figure 7 :** Distribution en taille des agrégats constitutifs des sols à Kébili. (a) Régim Maâtoug, (b) Fouar, (c) Zaafrane et (d) Ksar Ghilane

### 3.2. Caractérisation aérodynamique des surfaces du sol testées

Dans la couche limite de surface (CLS) et pour des conditions de neutralité thermiques, le profil de la vitesse du vent varie en fonction du logarithme de la hauteur (Bagnold, 1953 ; Roberson et Crowe, 1980). L'expérience consiste à mesurer la

vitesse du vent ( $u$ ) à différentes hauteurs ( $z$ ) par rapport à la surface du sol pour en déduire les caractéristiques aérodynamiques de la surface du sol (la hauteur de la rugosité aérodynamique,  $z_0$ , et la vitesse de friction du vent,  $u_*$ ) qui sont les deux inconnus de l'expression du profil de la vitesse du vent (eq. 2).

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (\text{eq. 2})$$

$z$  : hauteur au dessus de la surface du sol ;

$z_0$  : hauteur de la rugosité aérodynamique de la surface du sol à tester ;

$u_*$  : vitesse de friction du vent ;

$k$  : constante de Von Karman (0.4).

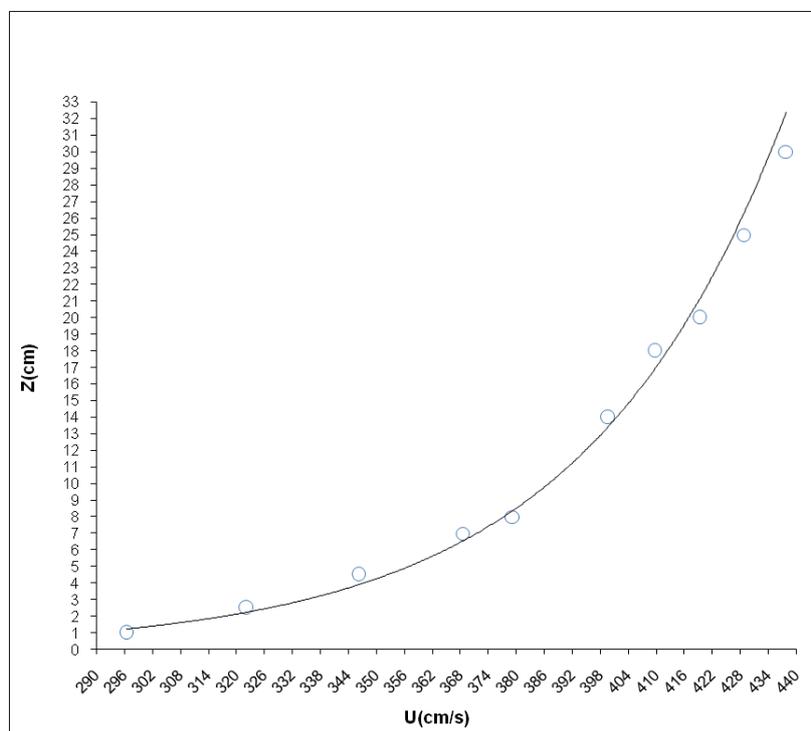
En faisant tourner le moteur sous un régime fixe de 500 tr.mn<sup>-1</sup> pour empêcher les grains de se mouvoir et d'induire une rugosité additionnelle due aux grains en saltation, le micro-manomètre différentiel connecté à la batterie de tubes de Pitot, montés sur une colonne verticale installée à la

section de sortie, affiche directement la valeur de la pression dynamique de l'air ( $P_D = P_T - P_S$ ). La vitesse du vent ( $u$ ) en un point donné a été calculée en utilisant l'expression (3) déduite à partir du théorème de Bernoulli pour les écoulements permanents (figure 8).

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_T - P_S)}{\rho_{air}}} \quad (\text{eq. 3})$$

$P_T$  : pression totale de l'air

$P_S$  : pression statique de l'air



**Figure 8 :** Exemple du profil de la vitesse du vent à la section de sortie du tunnel obtenu pour l'échantillon de Chehbenia pour une vitesse de rotation du moteur de  $500 \text{ tr} \cdot \text{mn}^{-1}$

L'analyse des profils de la vitesse du vent réalisés, a conduit à des valeurs des hauteurs de rugosité aérodynamique ( $z_0$ ) très proches. En effet, pour l'ensemble des états de surface des zones arides et désertiques tunisiennes testés dans la soufflerie,  $z_0$  varie entre  $2.72 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$  à  $2.17 \cdot 10^{-2} \text{ cm}$  (tableau 3). Ces hauteurs de rugosité sont comparables aux valeurs de  $z_0$  mesurées avec une soufflerie portable sur des états de surface naturels et érodables (Gillette et al., 1982). En outre, environ 75% des valeurs de hauteurs de rugosité aérodynamique mesurées pour l'ensemble des sols du sud tunisien testés sont comprises entre  $10^{-4}$  et  $10^{-3} \text{ cm}$ . Ces ordres de grandeur sont similaires à ceux trouvés dans le désert

sableux de Namibie (Greeley et al., 1997) ou mesurés expérimentalement en soufflerie sur des lits de sable homogène (Li and Martz, 1994 ; Mckenna-Neuman and Nickling, 1994). Le domaine de valeurs de  $z_0$  de  $10^{-2} \text{ cm}$ , mesuré dans la soufflerie pour les échantillons de Beni Mhira, Chehbania et Chammakh, représente 19%. Cette mesure est consistante avec celles trouvées dans le désert de Gobi (nord-est de l'Asie) par Laurent (2005) ou déterminées expérimentalement dans la Vallée de la Mort (Californie) par Greeley et al. (1997). La catégorie de type du sol identifiée comme étant un état de surface aérodynamiquement très lisses est celle de Régim Mâatoug ( $z_0 = 2.72 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$ ).

**Tableau 3** : Caractéristiques aérodynamiques des états de surface testés

Gouvernorats	Echantillons	$z_0$ (cm)	$u_*$ (cm.s <sup>-1</sup> )	$u_{*t}$ (cm.s <sup>-1</sup> )
Tataouine	Remada	$4.57 \cdot 10^{-3}$	18.76	23.77
	Dhehiba	$5.35 \cdot 10^{-3}$	19.95	24.34
	Beni Mhira	$1.70 \cdot 10^{-2}$	22.00	25.10
	Douiret	$2.55 \cdot 10^{-3}$	25.27	32.19
Médenine	Sidi Taoui	$1.12 \cdot 10^{-3}$	14.82	19.44
	Hmada	$6.75 \cdot 10^{-4}$	15.71	17.52
	Chehbania	$1.70 \cdot 10^{-2}$	22.00	25
	Chammakh	$2.17 \cdot 10^{-2}$	22.71	25.10
Gabès	Menzel Habib	$3.90 \cdot 10^{-3}$	18.25	21.30
	Ghannouch	$7.27 \cdot 10^{-3}$	21.73	28.10
	Oudref	$1.75 \cdot 10^{-3}$	17.31	33.67
	Hamma	$3.86 \cdot 10^{-4}$	15.01	17.27
Kébili	Régim Mâatoug	$2.72 \cdot 10^{-7}$	8.61	9.51
	Fouar	$1.44 \cdot 10^{-3}$	15.23	18.66
	Zaafrane	$9.70 \cdot 10^{-4}$	16.99	21.90
	Ksar Ghilane	$8.43 \cdot 10^{-3}$	16.07	22.04

En outre, l'énergie transmise par le vent à la surface du sol s'exprime par la vitesse de friction du vent, ( $u_*$ ) (Panofsky et Dutton, 1984). Physiquement, elle représente le taux d'accroissement de la vitesse du vent en fonction du logarithme de la hauteur. Dans des conditions de neutralité thermique, celle-ci peut être déterminée facilement si l'on connaît la vitesse du vent à une hauteur donnée et la hauteur de la rugosité aérodynamique de la surface du sol à tester ( $z_0$ ). Cependant, l'érosion éolienne ne peut avoir lieu que si  $u_*$  dépasse un certain seuil. Cette valeur minimale nécessaire pour vaincre les forces de résistance qui maintiennent les particules au sol correspond à la vitesse de friction seuil ( $u_{*t}$ ). Pour chaque échantillon du sol testé dans la soufflerie, des mesures des conditions seuil ont été effectuées. En effet, en augmentant progressivement le régime du moteur, initialement fixé à 500 tr.mn<sup>-1</sup>, la vitesse du vent s'accroît

également. Une fois les premières particules de sol ont commencé à mouvoir et sont piégées dans un petit piège à sable transparent de section circulaire installé à 5 cm au dessus du niveau du sol, la valeur de la pression dynamique seuil d'érosion mesurée par un tube de Pitot installé à 5 cm à la section de sortie et affichée par un micromanomètre a été notée. Cette démarche a été répétée quatre fois, pour chaque type de sol, pour confirmer les mesures (tableau 3).

Les vitesses de friction seuil ( $u_{*t}$ ) ainsi obtenues varient de 9.51 cm.s<sup>-1</sup> à 33.67 cm.s<sup>-1</sup>, respectivement à Régim Mâatoug et Oudref. En effet, 31% des échantillons de sol testés présentent des valeurs de  $u_{*t}$  au dessous de 20 cm.s<sup>-1</sup> répartis entre les gouvernorat de Médenine (Sidi Taoui, et Hmada), Gabès (Hamma) et Kébili (Régim Mâatoug et Fouar). Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles mentionnées dans la littérature pour des

sols ayant de caractéristiques granulométriques similaires (Gillette et al., 1980 ; Nickling, 1988).

Les vitesses de frictions seuil comprises entre  $20 \text{ cm.s}^{-1}$  et  $27 \text{ cm.s}^{-1}$  représentent 50%. Ces ordres de grandeur de  $u_{*t}$  sont similaires à ceux trouvés par Iversen et White (1982) et Shao et Lu (2000) sur une surface lisse ( $z_0 = 10^{-3} \text{ cm}$ ). En outre, exprimée en vitesse de vent à 10 m, sur une surface aérodynamiquement lisse, une vitesse seuil de friction de  $20 \text{ cm.s}^{-1}$  correspond à une vitesse de vent seuil à 10 m de  $7 \text{ m.s}^{-1}$  alors que des vitesses seuils de friction de 24 et  $27 \text{ cm.s}^{-1}$  correspondent, quant à elles, à des vitesses de vent seuil à 10 m supérieures respectivement à 8 et  $9 \text{ m.s}^{-1}$ . Par ailleurs, trois échantillons (Douiret, Gannouch et Oudref) ont commencé à mouvoir à partir d'une vitesse de friction seuil supérieure à  $27 \text{ cm.s}^{-1}$ .

Ces résultats de simulations en conditions contrôlées des caractéristiques aérodynamiques des différents états de surface de sol sont consistants avec les études conduites pour étudier l'effet conjugué des forces de résistances sur la mise en mouvement des particules (Chepil, 1951 ; Greeley et Iversen, 1985). En absence des rugosités additionnelles, ces expériences ont montré que les forces de gravité et les forces de cohésion interparticulaires sont respectivement proportionnelles et inversement proportionnelles au diamètre de la particule et qu'il existe donc un diamètre optimal pour la mise en mouvement, diamètre qui est de

l'ordre de  $100 \mu\text{m}$ . Par ailleurs, pour ce domaine de taille, l'énergie à fournir (la vitesse friction du vent,  $u_*$ ) pour mettre en mouvement un grain du sol sera minimale.

#### 4-Conclusion

L'Institut des Régions Arides de Médenine dispose d'une soufflerie dont l'aptitude à simuler l'érosion éolienne a été mise en évidence et vérifiée. Les expériences dans des conditions contrôlées permettent de contourner certaines difficultés qui rendent difficiles l'étude directe des processus éoliens à l'échelle de la parcelle. Pour des objectifs de diagnostic de la sensibilité des différents états de surface du sud tunisien à la déflation éolienne, les caractéristiques aérodynamiques de douze types de sol ont été mesurées au laboratoire. Les résultats des expériences montrent que les sols des zones arides et désertiques tunisiennes sont très vulnérables à l'érosion compte tenu d'une part du caractère aérodynamiquement lisse des échantillons du sol testés dans la section travaillante de la soufflerie et d'autre part la présence d'une fraction érodable voisine de  $100 \mu\text{m}$  qui nécessite la plus faible vitesse seuil de mise en mouvement de l'ordre de  $20 \text{ cm.s}^{-1}$ . Par ailleurs, des mesures additionnelles peuvent être également menées sur des états de surfaces plus rugueux pour mesurer leurs principaux paramètres clés qui contrôlent l'érosion éolienne et les comparer à celles d'une surface lisse.

#### Références bibliographiques

-Bagnold, R.A. (1953) : Forme des dunes de sable et régime des vents. Colloques internationaux du CNRS, Actions éoliennes, phénomène d'évaporation et

- d'hydrologie superficielle dans les régions arides. Alger 1951, (Eds.), CNRS, 35, 23-32.
- Chatenet, B., B. Marticorena, L. Gomes and G. Bergametti. (1996) : Assessing the microped size distributions of desert soils erodible by wind, *Sedimentology*, 43, 901-911.
  - Chepil, W. S. (1951) : Properties of soil which influence wind erosion: IV. State or dry aggregate structure, *Soil Sci.*, 72, 387-401.
  - Gillette D.A., J. Adams, A. Endo, D. Smith and R. Khil. (1980) : Threshold velocities for input of soil particles into the air by desert soils, *J. Geophys. Res.*, 85, 5621-5630.
  - Gillette, D.A., J. Adams, D.R. Muhs and R. Khil. (1982) : Threshold friction velocities and rupture moduli for crusted desert soils for the input of soil particles into the air, *J. Geophys. Res.*, 87, 9003-9015.
  - Goudie, A.S., Middleton, N.J. (2001) : Saharan dust storms: Nature and consequences, *Earth Science Review*, 56, 179-204.
  - Greeley, R. and J.D. Iversen. (1985) : Wind as a geological process on Earth, Mars, Venus and Titan, Cambridge University Press, Cambridge, 333 pp.
  - Greeley, R., Blumberg, D.G, McHone, J.F., Dobrovolski, A., Iversen, J., Lancaster, N., Rasmussen, K.R., Wall, S., White, B. (1997) : Applications of spaceborne radar laboratory data to the study of aeolian processes, *J. Geophys. Res.*, 102, 10,971-10,983.
  - Iversen, J.D. and B.R. White. (1982) : Saltation threshold on Earth, Mars and Venus, *Sedimentology*, 29, 111-119.
  - Kardous, M. (2005) : *Quantification de l'érosion éolienne dans les zones arides tunisiennes: Approche expérimentale et modélisation*. Thèse de doctorat, Université Paris 12 Val-de-Marne, 298 pp.
  - Katyál, J.C. and P.L.G. Vlek. (2000) : Desertification: concept, causes and amelioration, ZEF, Discussion Papers on Development Policy 33, Bonn, 65 pp.
  - Labiadh, M., Bergametti, G., Attoui, B., and Sekrafi, S. (2011) : Particle size distributions of South Tunisian soils erodible by wind. *Geodin. Acta*, 24, 39-49.
  - Laurent, B. (2005) : *Simulation des émissions d'aérosols désertiques à l'échelle continentale : Analyse climatologique des émissions du nord-est de l'Asie et du nord de l'Afrique*. Thèse de Doctorat en Chimie de la pollution Atmosphérique et Physique de l'Environnement, Université Paris 12 – Val de Marne, 222 pp.
  - Lavauden, L., Les forêts du Sahara. *Revue des eaux et forêts*, LXV (6): 265-277 ; (7): 329-341, 1927.
  - Le Floc'H, E. (1996) : Desertification in the Near East region, perspectives, strategies and plan of action. *IATF Meeting on Desertification*, 27 pp.
  - Le Houérou, H.N. (1993) : Evolution climatique et désertisation, 639-668. In *Les climats subtropicaux et leur évolution*, André, J.C., J.L. Fellous et A. Podaire, (Eds.), CNES Toulouse 704 pp.
  - Le Treut, H. (2003) : Les scénarios globaux de changement climatique et leurs incertitudes, C.R. *Geoscience*, 335, 525-533.

- Li, L., Martz, L.W. (1994) : System of numeric models for sand particle transport by wind, *J.Geophys. Res.*, 99, 12,999-13,012.
- Mckenna Neuman, C. and W.G. Nickling. (1994) : Momentum extraction with saltation: implications for experimental evaluation of wind profile parameters, *Boundary Layer Meteorol.*, 68, 35-50.
- Nickling, W.G. (1988) : The initiation of particle movement by wind, *Sedimentology*, 35, 499-511.
- Nickling, W. G. (1994) : Aeolian sediment transport and deposition. In *Sediment transport and depositional processes*, (Eds.), by K. Pye, *Blackwell Scientific Publication, Oxford*, 293-350.
- Panofsky, H.A. and J.A. Dutton. (1984) : *Atmospheric turbulence: Models and methods for engineering applications*, Wiley and Sons, New York, 397 pp.
- Roberson, J.A. and C.T. Crowe. (1980) : *Engineering fluid mechanics. Washington State University, Pullman*, 661 pp.
- Shao, Y., Lu, H. (2000) : A simplified expression for threshold friction velocity, *J. Geophys. Res.*, 105, 22,437-22,443.



## Les paysages de l'eau dans la région du nord-ouest de la Tunisie : Gouvernorats de Béja, Jendouba, Le Kef et Siliana

Radhouane NCIRI<sup>1</sup>, Hichem RJEB<sup>1</sup> et Mohamed MOUSSA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unité de recherche "Horticulture, paysage, Environnement" ISA-IRESA-  
Université de Sousse BP 47, 4042 Sousse.

<sup>2</sup>Institut des Régions Arides, 4100 Médenine.

ملخص :

يحتوي الشمال الغربي التونسي على أكبر احتياطي مائي في البلاد، حيث تمثل هذه المياه الخطب الرئيسي بخصوص تعبئتها وإدارتها. ويهدف هذا العمل إلى إظهار المشهد الطبيعي لهذا المورد، كما يسعى إلى تقديم أسباب وطرق تعبئته وترويضه. ويمثل المشهد المائي قبل كل شيء منظورا تاريخيا من خلال الآثار القديمة التي شيدت لتخزينها وإيصـالها واستخدامها. وفي هذه الدراسة، استحضرنـا أمثلة من الموقع الأثري بيلاريجا بولاية جندوبة والمدينة العتيقة بتستور. وأظهرت نتائج تحليل المشهد الطبيعي بالشمال الغربي انه متنوع مع وجود فسيفساء من الغابات والأراضي الزراعية والمباني والمجاري المائية. وبرهنت النتائج المناخية أوجه تشابه بين ولايتي جندوبة وباجة. كما لاحظنا نتيجة متجانسة بين ولايتي الكاف وسليانة. وقد تمت الإشارة إلى اختلاف في تساقط الأمطار بولايات الشمال الغربي. حيث كان عامل الاختلاف السنوي في حدود 25% بجندوبة و باجة و حوالي 30% بالكاف وسليانة. ويمتد موسم الأمطار بين 14 جانفي و 2 فيفري. وتظهر انعكاسات تغير المناخ على النظم الإيكولوجية الزراعية في منطقة الشمال الغربي. ومن بين المؤشرات المبرهنة على هذه التغيرات نذكر الفيضانات المتكررة، تسارع الفصول، نقص كميات الأمطار، ارتفاع عامل الاختلاف الشهري للأمطار ونقصان في إنتاجية الحبوب. وقد كشف التشخيص الزراعي على هيمنة زراعة الحبوب إذ تحتل 42% من الأراضي المروية في المزارع الصغيرة والمتوسطة الحجم وأكثر من 30% في المزارع الكبيرة. إلا أن تنميين الإمكانات المائية للزراعة منخفض نسبيا (>50%). وبخصوص الفيضانات، تظهر النتائج أنها مرتبطة ارتباطا وثيقا بهطول الأمطار. وقد أثرت أضرار فيضانات فيفري 2012 خاصة على مدينة بوسالم مسببة أضرارا مادية وتشويه مشهد المناطق الحضرية والضواحي. لقد مكنت هذه الدراسة من المقارنة بين الخصائص الزراعية بالشمال الغربي والإمكانات المائية وقضايا المشهد الطبيعي في هذه المنطقة، حيث تمثل مسألة إدارة المشهد المائي أمرا بالغ الأهمية.

كلمات مفاتيح: المشهد المائي، المشاهد الطبيعية الزراعية، الشمال الغربي، قراءة المشهد، الفيضانات، تقلب المناخ، سياسة التنمية.

### Résumé

Le nord-ouest tunisien renferme la réserve en eau la plus importante du pays. Dans cette région, l'eau constitue un enjeu capital quant à sa mobilisation et sa gestion. Le présent travail s'attache à identifier l'aspect paysager de cette ressource et cherche à présenter pourquoi et comment la mobiliser et l'approprier. L'eau dans ce paysage présente avant tout un aspect historique à travers des monuments antiques construits pour son stockage, son cheminement et son usage. Dans la présente étude, nous avons évoqué les exemples du site archéologique de Bulla-Regia du gouvernorat de Jendouba et la ville antique de Testour. Les résultats

d'analyse du paysage du nord-ouest montrent qu'il est diversifié avec la présence d'une mosaïque de forêts, de terres agricoles, de constructions et des plans d'eau. Les résultats climatiques ont montré des similitudes entre les gouvernorats de Jendouba et Béja. La même constatation a été révélée pour les gouvernorats de Siliana et Kef. Une variabilité du régime pluviométrique a été aussi observée pour l'ensemble des gouvernorats du nord-ouest. En effet, les coefficients de variabilités (CV%) annuels étaient de 25% pour Jendouba et Béja et de l'ordre de 30% pour Le Kef et Siliana. La saison pluvieuse est située entre le 14 janvier et le 2 février. Les conséquences des changements climatiques sur l'agro-écosystème sont bien observées dans le nord-ouest. Les inondations répétées, l'anticipation des saisons, le manque pluviométrique, le contraste pluviométrique mensuel et les baisses des rendements des céréales sont autant de signes de ces changements. Le diagnostic agraire a révélé une dominance des cultures de céréales qui occupent 42% des superficies irriguées dans les petites et moyennes exploitations et plus que 30% dans les grandes exploitations. Toutefois on note une faible valorisation du potentiel hydraulique en faveur de l'agriculture (<50%). Les résultats relatifs aux inondations montrent qu'elles sont étroitement liées aux pluies. Les dégâts des inondations du février 2012 ont touché notamment la ville de Bou Salem entraînant des dégâts matériels et la transformation des paysages urbains et périurbains. Cette étude a permis de confronter les particularités agraires du nord-ouest, les potentialités hydriques et les enjeux paysagers de ce milieu, où la question de gouvernance paysagère de l'eau est capitale.

**Mots clés :** Paysage de l'eau, paysage agraire, nord-ouest Tunisie, lecture de paysage, inondation, variabilité climatique, politique d'aménagement.

### **Summary**

The North-west of Tunisia contains the largest reserve of water in the country. Water is a crucial issue as to their mobilization and management. The present work aims to demonstrate the landscaping aspect of this resource and seeks to present why and how mobilized and tamed. Water in this landscape shows foremost a historical aspect through ancient monuments built for storage, routing and use of water. In the current study, we mentioned the examples of the archaeological site of Bulla-Regia governorate of Jendouba and the ancient city of Testour. The results of analysis of the landscape of the North-west show that it is diversified with the presence of a mosaic of forests, agricultural lands, buildings and waterways. Climatic results showed similarities between the governorates of Jendouba and Beja. The same observation was revealed in the governorates of Kef and Siliana. A variability of the rainfall regime has also been observed for the whole of governorates in the North-West. Indeed, the annual coefficients of variability (CV %) were 25% for Jendouba and Beja and approximately 30% for El kef and Siliana. The rainy season in the North-West is located between 14 January and 2 February. The consequences of climate changes on the agro-ecosystem are well

observed in the North-West. Repeated floods, anticipating seasons, rainfall shortage, monthly rainfall contrast and decreases in cereal yields are signs of these changes. Agrarian diagnosis revealed a dominance of cereal crops, which occupy 42% of irrigated area in small and medium farms and more than 30% in large farms. However there is a low valuation of the hydraulic potential in favor of agriculture (<50%). The results relating to floods show that they are closely related to rainfall. Flood damages in February 2012 have affected particularly the city of Bousalem causing material damages and disfigurement of urban and suburban landscapes. This study attempts to compare agrarian peculiarities of the North-West, water potential and landscape issues in this environment, where the issue of governance of water landscape is crucial.

**Keywords:** Water landscape, agrarian landscape, North-West, landscape reading, flood, climate variability, planning policy.

### **1-Introduction**

L'eau est une nécessité vitale pour les êtres vivants. Elle est, aussi, indispensable pour le développement socio-économique des pays. L'eau dans le paysage constitue un enjeu capital des politiques environnementales à l'échelle planétaire. Autrefois, on croyait à tort que l'eau est une ressource inépuisable. Désormais, avec les changements climatiques et la gestion inappropriée des ressources naturelles, l'eau devient un enjeu majeur pour les sociétés d'aujourd'hui et de demain et de leurs paysages. Plusieurs dimensions s'élargissent pour l'eau ; l'eau histoire, l'eau milieu, l'eau patrimoine et l'eau société. L'eau, par sa charité, constitue un élément essentiel du paysage : les eaux courantes et constamment renouvelées constituent les fleuves, les rivières, l'écoulement en nappe et les rigoles. Les eaux stagnantes forment des paysages stables lors des périodes calmes ou des paysages agités pendant les tempêtes. L'action de l'eau génère, aussi, des formes de reliefs variées (gorge, combe, Cuesta, plaine alluviale, auge, vallée). Selon son abondance ou

son austérité, l'eau permet de définir le type de végétation qui prospère dans une région donnée. L'usage et la gestion de l'eau par l'homme ont permis de créer des paysages originaux : les terres agricoles, les parcs et les jardins, les réservoirs d'eau (barrages et lacs collinaires), les conduites et les canalisations.

En Tunisie, la gestion et la valorisation de l'eau est très ancienne. Les époques numide, romaine, carthaginoise et arabo-musulmane ont fait un centre brillant de gestion d'usage des ressources en eau. Cette eau fut notamment utilisée pour l'alimentation des villes et pour la production agricole. Aujourd'hui, l'eau est devenue une ressource rare et précieuse. En effet, la plus grande part du territoire tunisien est située dans un étage bioclimatique semi-aride à aride. De plus, le climat est caractérisé par une forte variabilité saisonnière et inter-annuelle de la pluviométrie. Cette situation difficile a rendu de l'eau une ressource limitée, aléatoire et inégalement répartie.

Le nord-ouest tunisien constitue la région la plus arrosée du pays. Il englobe une grande réserve en eau :

presque la totalité des eaux de surface et 59% des nappes phréatiques (Treyer, 2002). Cette richesse naturelle est très convoitée par différents secteurs (la ville, l'industrie, le tourisme, l'agriculture) ce qui limitera sa disponibilité. En outre, le cadre naturel du nord-ouest est imprévisible vu la grande variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique. D'autre part, le secteur de l'eau est mal apprivoisé, marqué par une infrastructure fragile et parfois non appropriée. Parallèlement, le paysage de l'eau dans le nord-ouest est soumis au paradigme d'une mauvaise gestion, dont les conséquences se concrétisent par une défiguration des paysages par les phénomènes d'inondation, d'érosion et d'envasement des bassins hydrologiques (Ben Mammou et Louati, 2007). Du point de vue agraire, le nord-ouest est doté d'un potentiel édaphique très riche mais qui est soumis à plusieurs difficultés. En effet, les plaines sont sous exploitées et les systèmes de cultures sont peu productifs. En revanche, la valorisation des ressources

hydrauliques par l'agriculture est très insuffisante, comme c'est le cas des périmètres publics irrigués.

Malgré cette situation restrictive, le gouvernement est parvenu à mener une stratégie ingénieuse pour mobiliser et développer les ressources en eau dans le nord-ouest. Cette volonté s'est traduite par la construction de grands barrages de stockage d'eau (figure1), dont l'époque remonte au protectorat français (1881-1956). Cette stratégie a permis de faire face aux besoins du secteur agricole et en eau potable même durant les années déficitaires. Toutefois, ces dernières décennies, le capital hydrique a commencé à paraître progressivement limité surtout avec la parution de nouvelles activités comme l'industrie, le tourisme et le développement urbain. Dans cette perspective, la gestion de l'eau par le gouvernement doit constituer un axe fondamental de la politique de l'eau pour l'avenir, afin de contrôler la demande des différents secteurs et de préserver la qualité paysagère de cette ressource.

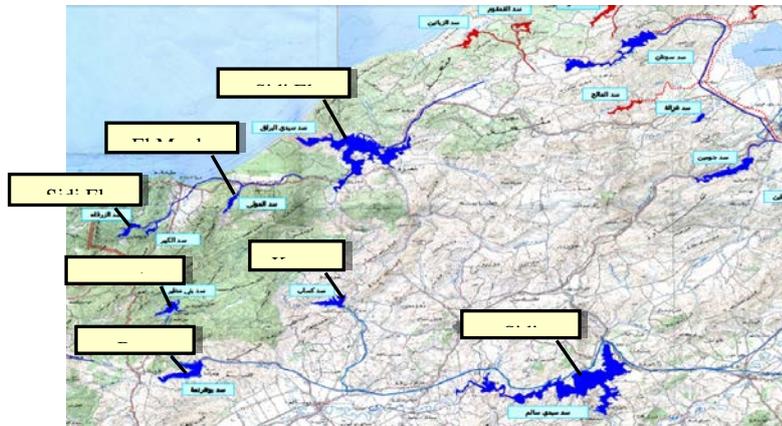


Figure 1 : Les bassins hydrologiques et localisation des principaux barrages dans le nord-ouest tunisien

En conséquence, l'eau demeure un élément fondamental pour la construc-

tion paysagère du nord-ouest tunisien. Son mode d'aménagement doit

s'adapter au processus de modernisation sous réserve de préserver et améliorer ses qualités fonctionnelles et éthiques. Ces aménagements doivent respecter les spécificités architecturales et paysagères des lieux.

Cette recherche esquisse dans une approche progressive les traits suivants :

- les déterminants naturels des paysages de l'eau.
- le façonnement des paysages par les forces naturelles de l'eau.
- l'eau et les systèmes de production dans le nord-ouest.
- les déterminants politiques de l'eau.

## 2- Les territoires paysagers des gouvernorats de Béja, Jendouba, Le kef et Siliana

### 2.1. Aperçu historique : eau et paysage

Le nord-ouest est un paysage remarquable creuset de multiples civilisations. Sa position au carrefour de grandes voies commerciales reliant aussi bien la région de Tunis à l'Est algérien, ce qui a toujours fait de cette région le

principal centre économique, religieux et militaire. Les sites antiques et ses anciens monuments demeurent un témoin des époques glorieuses de la coexistence et de tolérance entre les peuples et les croyances. L'eau jouait un rôle notoire dans la construction du paysage historique du nord-ouest de la Tunisie. Prenant comme premier exemple le site archéologique de Bulla-Regia dans le gouvernorat de Jendouba, occupa par les rois numides en 150 av. J.-C. et par les romains en 46 av. J.-C. firent la décantation de l'eau potable dans des citernes (figure 2) afin d'éliminer les impuretés. L'eau dans les citernes servit, aussi, pour l'alimentation des Thermes ou "Hammam" (figure 3) (Broise et Thébert 1994). La cité antique de Bulla-Regia est également marquée par des vestiges de sources d'eau (figure 4) et des puits de surface (figure 5). Les conditions géologiques, du site, la nature argileuse des sols avec la présence de marnes vertes, ont fait qu'il existait des ouvrages anciens de conduites et de retenues d'eau : des bassins des rigoles et des aqueducs souterrains



**Figure 2.** Citernes dans le site archéologique de Bulla-Regia servirent de bassins qui permettaient d'éliminer par décantation les impuretés, (Clichés R. Nciri, 2012).

*Radhouane NCIRI, Hichem REJEB & Mohamed MOUSSA*



**Figure 3.** Thermes memmiens du site antique de Bulla-Regia ; construits sous la dynastie des Sévères, par Julia Memmia entre 220 et 240 ap. J.-C, (Clichés R. Nciri, 2012).



**Figure 4.** Source d'eau potable dans le site archéologique de Bulla-Regia, (Clichés R. Nciri, 2012).



**Figure 5.** Puits de surface dans le site archéologique de Bulla-Regia, (Clichés R. Nciri, 2012).

Le deuxième exemple est celui de la gestion et la valorisation de l'eau par les morisques dans la ville de Testour (Béja). En effet, le mode de vie sédentaire a permis aux morisques d'acquérir un savoir-faire hydraulique (Sayari et *al.* 2012) qui a engendré un paysage agraire spécifique, basé sur une maîtrise remarquable des ressources en eaux, principalement par le système ingénieux des norias.

Comparativement aux deux exemples archéologiques situés dans le nord-ouest, un ancien système d'évacuation d'eau a été identifié par Ben Hadj Farhat et *al.* (2012) au niveau de Sebka El Kalbia située dans sahel tunisien. Le système a montré une interrelation entre la centration romaine et les réseaux de drainage conduisant l'eau vers les cours d'eau naturelles qui finissent dans la Sebka.

A travers ces exemples, l'analyse archéo-paysagère a permis de démontrer des modes différentiels de gestion de l'eau chez les civilisations historiques (les numides, les romains et les morisques). Le but étant de retracer

l'histoire de l'eau et le savoir-faire de nos ancêtres pour gérer cette ressource.

## 2.2. Les différenciations paysagères en rapport avec les ressources en eaux

L'étude du paysage fait appel à des connaissances, concepts et méthodes relevant de nombreux champs disciplinaires. Les territoires paysagers du nord-ouest tunisien sont souvent soumis à des multiples menaces résultantes des forces naturelles, des forces d'anthropisation des forces de planification (Nciri et Rejeb, 2012).

La perception de l'eau dans les paysages diffère selon les lieux. Dans le milieu naturel, les forces de l'eau permettent de façonner le paysage, on parle donc d'une dimension l'eau milieu. Dans la ville, l'eau est considérée comme une ressource propre et saine et prend des valeurs éthiques autant qu'émotionnelle ou encore symboliques autant qu'utilitaires (Donadieu, 2012).





**Figure 6.** Paysage du nord-ouest de la Tunisie. 1a et 1b : paysage forestier à Ain-Draham; 2a : paysage rural de montagne à Beni-Mtir; 2b : paysage agricole de montagne à Fernana ; 3a : pont sur l'oued Medjerda à Bousalem ; 3b : pont sur l'oued Bouhertma à Bousalem ; 4a et 4b : paysage agricole à Sidi Ismail, (Clichés R. Nciri, 2012).

Le paysage du nord-ouest résulte d'une association de différentes composantes qui interagissent les unes sur les autres. Les éléments physiques du territoire (le relief, les roches, les rivières, les forêts, etc.) en constituent la base. À cette

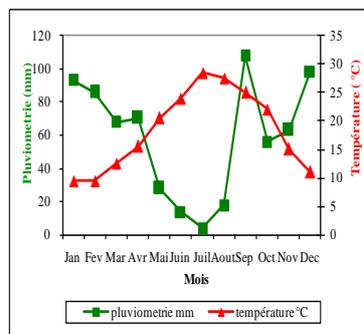
première composante se superpose l'activité humaine : gestion forestière, cultures, habitat diffus ou concentré, réseaux de communication. La troisième composante du paysage réside dans son aspect culturel : identité locale, esprit des lieux, schémas esthétiques, multiples émotions qui lient l'homme et la collectivité à la terre qui les fait vivre. Droeven et *al.* 2007 font reconnaître au paysage une composante objective (relief, occupation du sol, agencement spatial des éléments ect.) et une composante subjective, fondée sur la sensibilité de l'observateur.

A une petite échelle, le territoire paysager du nord-ouest paraît en mosaïque, composé de terres agricoles, de forêts, de maquis, de garrigues, d'habitations, de routes et de plan d'eau. Ce paysage est le produit d'interactions de facteurs climatiques, les activités humaines et des modes d'aménagement du territoire. La contribution de l'homme dans la transformation du paysage est déterminante de la taille et la forme des unités paysagères, qui à leurs tour agissent sur les processus écologiques.

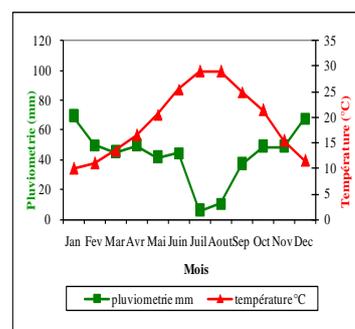
Le paysage du nord-ouest de la Tunisie est le moins anthropisé du pays. Il englobe un patrimoine de biodiversité remarquable, surtout dans la délégation de Ain-Draham et Tabarka du gouvernorat de Jendouba (Ben M'Hamed et *al.* 2002). L'importance de ce paysage n'est pas limitée seulement à sa grande diversité biologique. En effet, la disponibilité des réserves d'eau de la Tunisie dépend de cette région : eaux du réseau de rivières, eaux de sources et réservoirs d'eau. Cette richesse hydrographique joue un rôle important dans l'alimentation en eau de vastes régions du pays caractérisées par des conditions de sécheresse considérable et des pénuries d'eau (Khebour A., 2007). Cependant, malgré l'importance de l'eau pour la population et dans la construction des paysages, certains faits agressives de l'eau peuvent se produire matérialisés par l'exposition de zones urbaines à l'inondation est la réputation du phénomène d'érosion hydrique et de glissement de terrains.

### 3. Identification des territoires paysagers de l'eau

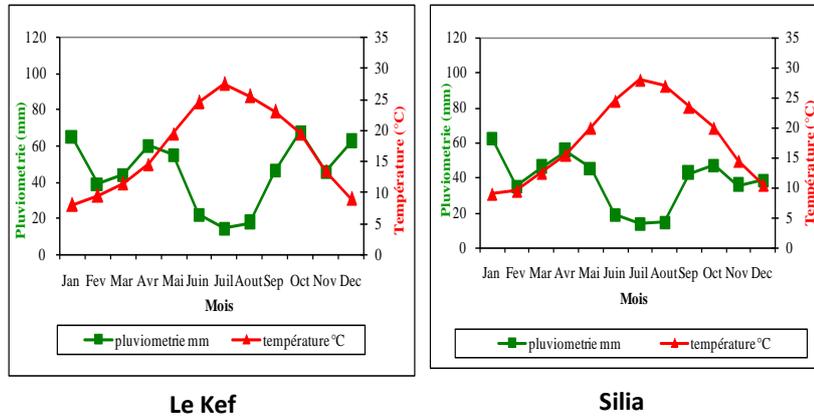
#### 3.1. Bioclimatologie



Béja



Jendouba



**Figure 7.** Diagrammes ombrothermiques des régions du nord-ouest sur 30 ans : la courbe en vert représente le régime pluviométrique moyen mensuel ; la courbe en rouge correspond aux moyennes des maxima et des minima de la température mensuelle

Les différences de températures et de pluviométries résultent essentiellement des effets conjugués de la latitude, de l'influence maritime et du relief. Dans l'ensemble, les précipitations sont plus importantes dans les gouvernorats de Béja et de Jendouba par rapports aux gouvernorats du Kef et de Siliana. Par contre, en hiver, lorsque les anticyclones de Sibérie et des Açores forment une zone de dépression ouvrant, ainsi, un corridor aux perturbations frontales qui aboutissent aux précipitations abondantes surtout vers les zones montagneuses (Plante, 2006).

Les diagrammes ombrothermiques des régions du nord-ouest montrent un climat caractérisé par des étés trop secs et chauds et des hivers froids et humides. La période sèche pour la plupart des gouvernorats se situe entre

mars-avril et octobre-novembre. Les diagrammes montrent, aussi, une pluviosité importante pendant la saison hivernale pour les gouvernorats de Béja et Jendouba situés en sub-humide et en semi-aride inférieur en comparaison avec les gouvernorats du Kef et Siliana situés en semi-aride supérieur.

Selon Faust et al. 2004, la pluviométrie annuelle du gouvernorat de Béja sur une série de données de 100 années montre un caractère d'irrégularité pluviométrique annuelle, avec un coefficient de variabilité de 0.25. La pluie annuelle minimale est de 298 mm, le maximum est de 1040 mm. La précipitation moyenne est de 619 mm avec une médiane de 596 mm. Sur une série de données climatiques de 105 années, le gouvernorat de Jendouba a montré une pluviométrie annuelle irrégulière, avec un coefficient de

variabilité de 0.25. La pluie annuelle minimale est de 268 mm, le maximum est de 760 mm, la précipitation moyenne est de 468 mm (Faust et *al.* 2004) avec une médiane de 435 mm. Le nord-ouest montagneux (Kroumirie, Mogods) est caractérisé par des précipitations moyennes annuelles qui varient de 800 mm à 1200 mm, principalement en hiver. Les précipitations sont plus élevées dans la partie occidentale de la région que dans sa partie orientale. La partie occidentale reçoit en moyenne 1200 mm au niveau d'El Feija, 1500 mm à Ain Drahem et 1030 mm à Tabarka. L'analyse statistique de données pluviométriques du gouvernorat du Kef sur une série d'année de 94 ans révèle une irrégularité interannuelle de la pluviométrie, avec un coefficient de variabilité de 0.30. La pluie annuelle minimale est de 236 mm, le maximum est de 709 mm la précipitation moyenne est de 457 mm avec une médiane de 452 mm. L'étude statistique de la pluviométrie annuelle du gouvernorat de Siliana sur une série de données de 55 ans montre un caractère d'irrégularité pluviométrique annuelle, avec un coefficient de variabilité de 0.31. La pluie annuelle minimale est de 185 mm, le maximum est de 783 mm la précipitation moyenne est de 434 mm avec une médiane de 405 mm, Toutes ces valeurs témoignent d'une variabilité moyenne de la pluviométrie entre les années.

La température moyenne des gouvernorats de Béja, Jendouba, Le Kef et Siliana est influencée par deux facteurs importants : le relief et la proximité de la mer. Cette région, par opposition au reste du pays, présente une topographie

à reliefs, avec des sommets élevés et des zones très fraîches. Les températures annuelles moyennes varient entre 15 et 19°C, et représente un facteur important de l'évaporation. En été, les températures sont élevées du fait des rayonnements solaire à fort intensité et la durée du jour plus longue. L'influence de la méditerranée adoucit les températures estivales du littoral nord (Tabarka à Nefza). La saison hivernale est marquée par deux principales périodes de basses températures : la première s'étale sur la période allant du 5 décembre au 13 janvier. La deuxième période coïncide avec la saison pluvieuse et se situe durant la période du 14 janvier au 2 février. Les montagnes de Kroumirie sont à hiver plus frais avec des températures qui peuvent attendre quelques degrés au-dessous de 0°C en hiver (Ben Mansoura et *al.* 2001). Les moyennes annuelles sont de 14.3°C à El Feija, et 14.9°C à Ain Drahem.

Les vents de l'ouest ou « Gharbi » d'origine et de trajectoire continentale, sont, mais à moindre degré, générateurs de dessèchement. En été, le sirocco est peu présent dans les gouvernorats de Béja et Jendouba, alors qu'il est plus fréquent dans les gouvernorats du Kef et de Siliana. Il souffre pendant 10 à 30 jours/an dans le Tell, avec moins de 10 jours à Ain Drahem. Ce vent se traduit par une hausse de la température, un déficit hygrométrique important et une forte évaporation.

Les conséquences du réchauffement climatique sur l'agro-écosystème sont bien visibles dans le nord-ouest de la Tunisie. Cela s'est manifesté par les inondations répétées que connaît la région ses dernières années entraînant

une transformation du paysage. En effet, les pluies torrentielles entraînant le phénomène d'érosion de glissement de terrain. La transition entre les saisons n'est plus franche : l'hiver est devenu doux comme un printemps anticipé, l'été est plus chaud, ponctué de pluies inattendues et de canicules insupportables et l'accentuation de la sécheresse. En plus, les effets des changements climatiques se répercutent, aussi, sur le rendement des céréales conduites en pluvial, qui est la spéculation la plus pratiquée. A titre d'exemple, les résultats obtenus pour la délégation du Krib dans le gouvernorat de Siliana sur 10 campagnes montrent une diminution du rendement de 39% entre les campagnes 2000-2003 et 2007-2010 et cela pour la même moyenne pluviométrique annuelle (640 mm). Cette diminution du rendement est principalement due à une variabilité très contrastée de la pluviométrie saisonnière (mauvaise répartition de la pluie tout au long du cycle du blé), est aussi un signe du changement climatique.

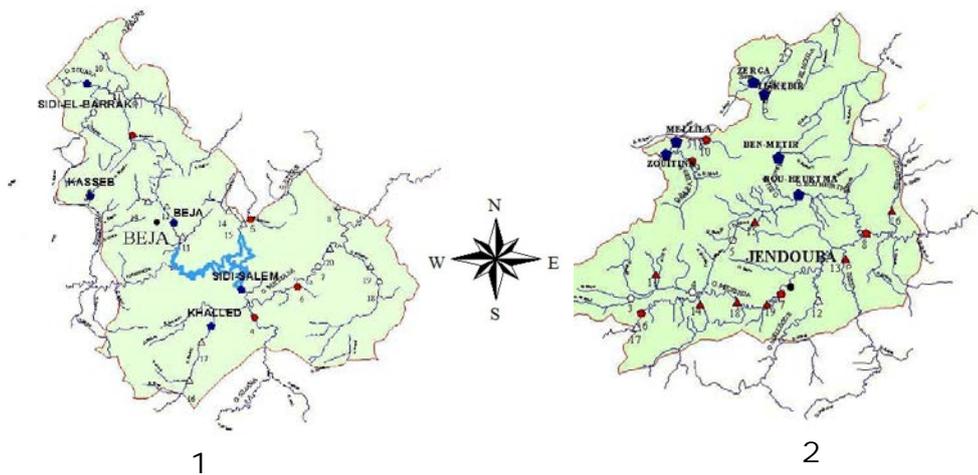
### **3.2. Les paysages de l'eau et les systèmes territoriaux**

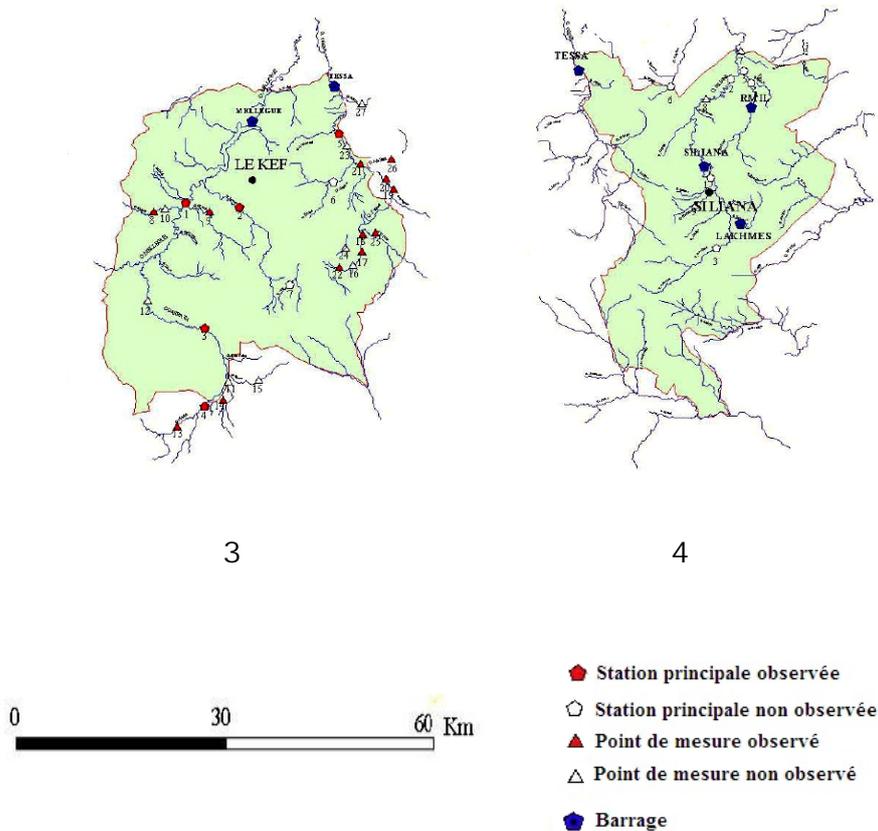
L'approche du paysage proposé, par Feltz et *al.* 2004, préside la perception du paysage dans un premier temps à travers le relief et son modelé, puis l'occupation végétale et humaine du territoire. Cette démarche du paysage privilège sa protection par les habitants du territoire concerné. Le nord-ouest de la Tunisie est caractérisé par un mélange de reliefs montagneux et de plaines. Les conditions géographiques conditionnent la diversité des paysages. Le relief combiné à la nature

géologique des sols, conditionne manifestement le climat, la température et l'hydrographie, et permettra d'établir une végétation variable entre la montagne et la plaine. Les zones montagneuses, d'altitude moyenne variant entre 400 et 800 m, sont le prolongement ultime des chaînes d'atlas qui s'estompent et disparaissent à l'Est (Faust et *al.* 2004). Le long du littoral nord, s'étend le développement du Tell algérien pour donner les contrées montagneuses de Kroumirie et des Mogods. Le haut Tell se poursuit au sud de la vallée de la Medjerda. Par ses plaines homogènes, celle-ci contraste avec le relief plus accidenté du Tell. Le territoire paysager du nord-ouest se trouve dans une région géologique principalement calcaire. Cette morphologie résulte de l'action de l'eau, pénétrant les porosités des affleurements rocheux, qui dissout les carbonates de calcium. Ce phénomène explique l'extension des sols calcimorphes, surtout dans les paysages où la pluviométrie est abondante. Le paysage hydrographique du nord-ouest reflète bien sa situation pluviométrique (Ben Mansoura et *al.* 2001). Les oueds sont généralement bien alimentés, particulièrement en hiver. Le plus important entre eux est l'oued Medjerda qui peut attendre, en hiver, un débit de 1000 m<sup>3</sup>/s (Ben Mansoura et *al.* 2001). La plupart des oueds dans les gouvernorats du Kef et Siliana sont à écoulement temporaire et ne se remplissent que grâce aux rares orages. La Medjerda demeure le seul véritable fleuve à écoulement permanent de la Tunisie, il reçoit beaucoup d'affluents et son débit est très variable. Le paysage lithologique est en étroite relation avec l'étage

bioclimatique, la végétation, la topographie et la nature de la roche. Le Paysage du nord-ouest est constitué pour l'essentiel par des formations de flysch numidiens caractérisé par un énorme développement des grès et argiles recouvrant des formations marno-calcaires. La toposéquence des roches mères est généralement constituée d'affleurements de grès dans les crêtes, d'accumulation de colluvions de texture grossière, mélangées de gros blocs de grès aux pieds des crêtes. Les versants sont constitués d'argiles recouverts de colluvions argilo-caillouteuses et d'affleurement de marnes en bas des versants et dans les dépressions. Les sols sont de type évolué, parmi lesquels on distingue des sols bruns forestiers, des sols bruns lessivés, des sols lessivés. Ceux-ci sont les résultats de phénomènes importants de ruissellement, dues au relief acciden-

té et aux régimes torrentiels des pluies. D'une façon générale, les sols tendent à l'hydromorphie en bas de pente. Les versants sont soumis à une importante érosion par ravinement caractérisée par des glissements importants et des éboulements. Les clairières sont également affectées par le ravinement et des glissements de terrain. Au niveau des clairières, ce phénomène d'érosion est essentiellement provoqué par les pratiques humaines. D'après Ben Hassine *et al.* 2003, quatre types de sols ont été distingués dans les gouvernorats du nord-ouest. Deux de ces types de sols se trouvent sous bioclimat subhumide dans les régions de Béja et Jendouba : sols peu évolués et Vertisols. Les deux autres sont sous bioclimat semi-aride, à la limite entre ses sous-étages supérieur et moyen dans les régions du Kef et Siliana : sols peu évolués et sols bruns isohumiques.





**Figure 8.** Importance du réseau hydrographique et des réservoirs d'eau (barrages) dans les paysages des gouvernorats de 1 : Béja ; 2 : Jendouba ; 3 : Le Kef et 4 : Siliana.

#### 4. Les paysages associés à l'eau

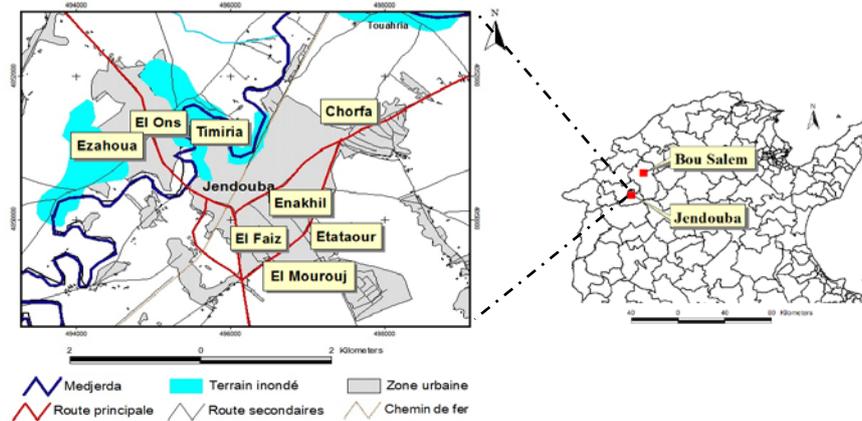
##### 4.1. L'inondation

##### 4.1.1. Historique des crues de la Medjerda

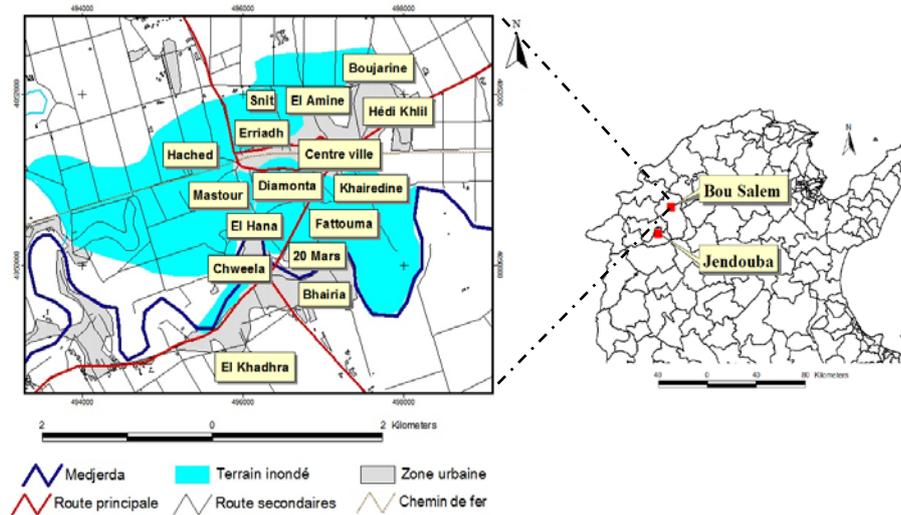
La crue de la Medjerda la plus importante est celle du 1973 qui reste gravée dans toutes les mémoires puisqu'elle représente la plus forte crue jamais connue sur la Medjerda et malheureusement la plus catastrophique

(100 morts). En mai 2000, une grande crue est survenue sur la branche Mellègue en rive droite de la Medjerda, causant des dégâts matériels importants du côté de Bousalem situé juste à l'aval de la confluence Mellègue-Medjerda. La crue de Janvier-Février 2003 qui a eu des effets néfastes sur tout le long de la Medjerda. Tout d'abord, au niveau de la haute vallée avec des

débordements importants à Jendouba et confluences Medjerda-Mellègue et Bousalem située à l'aval des Medjerda-Bou Heurtma.



**Figure 9.** Cartographie des inondations du février 2012 dans la plaine de



**Figure. 10.** Cartographie des inondations du février 2012 dans la plaine de Bousalem (Nciri et al., 2013)

La crue de 2003, et celle de 2004 ont été marquées par des inondations répétées à trois reprises au moins ce qui a abouti à la défiguration du paysage de la ville. Le phénomène le plus particu-

lier est la construction des gourbis sur les toitures des logements utilisés par manque de moyens de certains habitants (figure 11).



**Figure 11.** Paysage de la ville de Bousalem le lendemain des inondations de 2004 : gourbis construits sur les toits des logements, (Cliché L. Lahmar, 2004).

#### 4.1.2. La crue du février 2012

Depuis le 03 février 2012, la région de Jendouba a été soumise à des dépressions atmosphériques causant une baisse de température associée à des chutes de neige. Ceci a engendré l'accumulation de couches de neige constituant un véritable réservoir d'eau sous forme solide. Avec le redressement de la température, la fonte de neige a causé un ruissellement d'eau très important. Avec l'arrivée d'une vague de froid sur toute la Tunisie et

particulièrement au nord du 21 au 24 février 2012. Les pluies importantes se sont survenues en particulier sur le bassin de la Medjerda. Ces pluies, avec la fonte de neige ont favorisées la remontée des niveaux d'eau dans les retenues des barrages Béni Mtir et Bou Hertma. Les inondations sont survenues suites aux pluies à intensité élevée et à durée prolongée conjuguées aux lâchées d'eau par les barrages et la remontée du niveau d'oued Medjerda.



**Figure 12.** Inondation du paysage agricole périurbain par la crue du février 2012. 1 : oliveraies : 2 : culture de céréales. (Clichés R. Nciri. 2012).



**Figure 13.** Défiguration du paysage urbain par les inondations : crue de février 2012. 1:Centre-ville de Bousalem ; 2 : Cité El Zahoua, Jendouba. (Clichés R. Nciri, 2012)

Les modifications dues aux inondations sur le paysage sont très significatives. Elles ont fragilisé et défiguré le paysage urbain et périurbain dans la plaine de la Medjerda. Elles se manifestent surtout à travers l'élargissement de la section des oueds suite à un recul des berges et la mise en place de nappes alluviales dans les zones basses. Le sapement des berges présente une menace sérieuse pour les occupants et risque de rattraper leur habitat. L'étalement des alluvions entraîne de son côté des pertes économiques considérables. Un tel phénomène s'explique par l'importance des volumes sédimentaires véhiculés et dont la sédimentation se fait, pour l'essentiel, pendant les fortes crues.

#### **4.1.3. Transformation des paysages par le phénomène d'inondation : cas de la plaine de Jendouba-Bousalem**

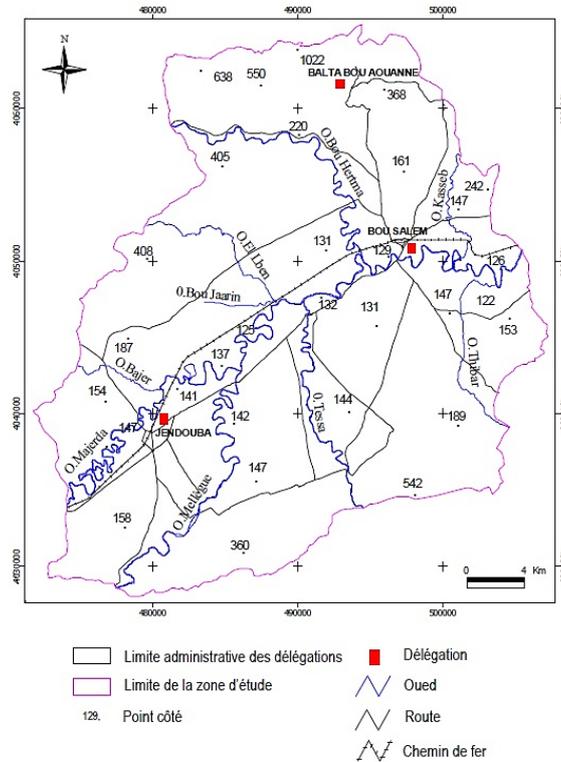
Au nord-ouest de la Tunisie, le risque d'inondation est devenu un phénomène très préoccupant. Ce problème se pose sérieusement surtout dans le bassin-versant de Medjerda, particulièrement dans la plaine de Jendouba-Bousalem qui était, à titre d'exemple, envahie par les eaux au moins trois fois au cours

des quatre dernières années. Ces crues ont rappelé l'acuité des dangers qui pèsent sur la société et l'environnement. L'accentuation du phénomène d'inondation dans le bassin de la Medjerda est principalement due aux caractéristiques climatiques de la région et aux facteurs naturels favorables pour l'inondation :

**i)** une topographie associant des reliefs accidentés propices à la concentration des eaux de ruissellement et des plaines marécageuses, **ii)** une organisation du réseau hydrographique très contrastée : un réseau très dense à l'amont et des problèmes de drainage dans la plaine, **iii)** des formations lithologiques souvent tendres et imperméables, **iv)** une prédominance des sols d'apport alluvial des oueds et **v)** des nappes phréatiques sub-affleurantes.

La question de lutte contre les inondations est devenue préoccupante, voire incontournable. La situation exige des interventions urgentes. La modélisation de la dynamique fluviale pendant les inondations offre de nombreuses perspectives d'aménagement paysager. Elle permet de

déterminer des débits de passage maximum au niveau des ouvrages et de mettre ainsi en évidence les zones de blocage de l'écoulement. Elle permet, aussi, de déterminer les zones risquant d'être touchées par les inondations pour chaque débit lâché au niveau des barrages.



**Figure 14.** Carte de la plaine de Jendouba-Bousalem. Oued Medjerda traverse transversalement le centre de la plaine de direction NW-NE. Oued Mellegue et oued Tessa du côté sud de la plaine et se convergent dans l'oued Medjerda. Oued Bou Hertma du côté nord de la plaine et converge aussi dans l'oued Medjerda.

#### 4.2. Lectures des paysages : cas du bassin-versant d'Oued Ghzala

##### 4.2.1. La distribution paysagère de l'érosion dans le nord-ouest

Le phénomène d'érosion hydrique est l'un des problèmes entraînant la défiguration des paysages. Il entrave le développement économique, social et agricole, en particulier, dans les zones montagneuses. Les pertes annuelles des

terres de cultures et de parcours dans le nord de la Tunisie s'estiment à 7.100 ha (Rouchiche et Abid, 2003).

Dans le paysage du Tell septentrional, la majeure partie des Jbels est à potentialité érosive faible. En effet, les Jbels de la Kroumirie depuis ceux du sud-ouest (Bou Hamra, Oum El Diss, Kef Ed Dboua et jbel Ghorra) jusqu'à ceux occupant le nord-est (Jbel

Ezzouza, Metamanna, Keroufa et El Guessa) du fait de leur couverture végétale bien protectrice, ne favorisent pas le ruissellement des eaux de pluie. Dans les Mogods, seuls les jbelles occidentaux sont classés dans cette catégorie (Jbel Echoucha, El Maou - Bel Harech). Dans le paysage du moyen Tell et du nord de haut Tell, les zones à potentialité érosive faible sont très peu représentées. Elles sont observées seulement dans le bassin-versant du Mellègue (Jbel Takrouna, El Feija, Soudane, versant nord du Guiboub et Ouargha) et aussi vers le sud-est entre les Jbelles Bargou et Fkirine (Jbelles Guern El Ghezal, Boukril, Chennoufa, Sidi Salem et Mansour).

Le paysage du Tell septentrional est à potentialité érosive moyenne qui a une vaste extension dans les Mogods, où elle englobe presque tous les jbelles. En Kroumirie seuls quelques jbelles y figurent. (Jbel El-Ahirech), et les versants sud de quelques massifs (Jbel Gribisa, Bent Ahmed et El Solh). Au sud de la Medjerda, plus de la moitié des zones ont une potentialité érosive moyenne. Elles sont de plus en plus étendues en s'avancant dans le haut Tell. Parmi les jbelles appartenant à cette catégorie on trouve dans le bassin-versant du Mellègue les Jbelles Jaouada, El Fej, Essafli - Melaha - Mjembia - Kef El Ahma et les versants sud des Jbelles Ourgha et Kebbouch. Les paysages des bassins-versants du Tessa et Siliana, les Jbelles Teffa, El-Moughra, les jbelles entre Testour et Oued Zerga, et les jbelles Eccheid, El Ksob, Rayada, Baten Ezzreib entrent dans la même unité.

Les paysages à forte potentialité érosive sont attribués aux massifs où la

végétation clairsemée (ne pouvant couvrir que moins de 40 % de la surface du sol) laisse affleurer de larges surfaces de roches et où les pentes confèrent aux eaux de ruissellement une grande énergie. C'est le cas des affleurements calcaires de Massouge, des Jbel Bargou, Barkane, El Nador et Aruguib El Dabadib dans la région du Kef. Certains paysages de la Kroumirie et des Mogods complètement défrichés sont, aussi, à forte potentialité érosive (Jbel Bou Guetrane, Kef El Bled et Kef Medaouar). Ainsi, au fur et à mesure que l'on s'avance vers le sud, les paysages rocheux confèrent aux eaux de ruissellement une potentialité érosive de plus en plus forte, ceci étant conforme à l'état de dégradation du couvert végétal, à l'extension des secteurs défrichés aux dépens des terres forestières et aux aptitudes naturelles du couvert végétal initial à se régénérer. Les zones à potentialité érosive forte, s'étendent surtout sur les bassins-versants moyens du Mellègue et du Tessa.

#### **4.2.2. L'exemple du bassin-versant d'Oued Ghzala**

Le bassin versant d'Oued Ghzala d'une superficie d'environ 129 Km<sup>2</sup>, est située dans la délégation de Fernana du Gouvernement de Jendouba. Il est limité au nord par la délégation d'Ain Draham, à l'ouest par la frontière algérienne, à l'Est par la délégation de Bousalem et vers le sud par le site archéologique de Bulla-Regia. Il s'agit d'un bassin versant où les phénomènes d'érosion hydrique sont très fréquents (Figure 14). La gestion conservatoire des ressources en terres doit constituer la base des programmes de développement agricole durable. Afin de

*Radhouane NCIRI, Hichem REJEB & Mohamed MOUSSA*

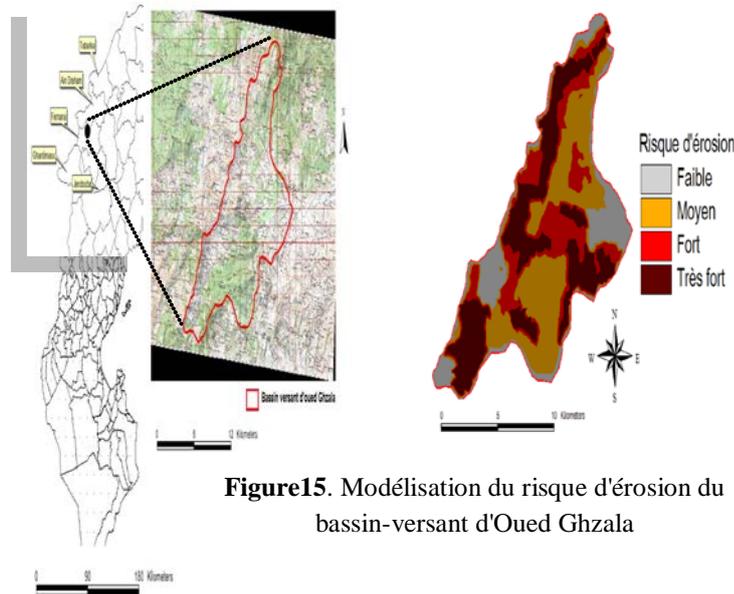
planifier de façon plus raisonnable les actions d'aménagement paysagères à entreprendre et de protéger les zones à risque en priorité dans ce bassin-versant.



**Figure 14.** Exemples paysagers (friabilité et érosion). (Clichés R. Nciri, 2012)

Les formes d'érosion hydrique perçues dans le bassin-versant d'oued Ghzala engendrent des transformations des paysages. Ainsi, trois formes d'érosion ont été mises en évidence : le ravinement, les glissements de terrain et les coulées boueuses. Le ravinement (Photo 14) est fréquent sur les endroits dépourvus de végétation, surtout ceux récemment défrichés. Il s'agit de l'enfoncement et de la progression de ravins coordonnés avec le réseau des Oueds. Le glissement de terrain (Photo 14) est la forme

d'érosion la plus caractéristique dans la zone d'étude. Il affecte notamment les collines marneuses comme c'est le cas de Jbel Adissa, aussi bien à moindre échelle dans le petit vallon aboutissant Ain Debba (Fernana). Enfin, les coulées boueuses sont aussi fréquentes dans la zone d'étude. Elles sont facilement reconnaissables grâce à la nature et au volume des matériaux transportés, souvent à grande distance et sont formées de blocs de grès. On les retrouve sur le flanc de Jbel Adissa.



**Figure15.** Modélisation du risque d'érosion du bassin-versant d'Oued Ghzala

L'approche paysagère pour l'analyse de l'érosion, basée sur la télédétection et l'utilisation des SIG, contribue à l'établissement d'une carte synthétique de répartition des degrés de sensibilité à l'érosion hydrique des différentes zones du bassin. L'avantage de cette démarche réside notamment dans la gestion rationnelle d'une multitude de données qualitatives et quantitatives relatives aux différents facteurs impliqués dans l'érosion hydrique. Il y a donc un cumul d'influence de la pente, de l'occupation du sol et de la vulnérabilité des matériaux, sans oublier, bien sûr, l'action du climat et le facteur anthropologique (Nciri et Rejeb, 2012).

Le plan d'aménagement paysager du bassin-versant doit tenir compte, non seulement de la conception des d'étude, la réalisation des banquettes, cordons en pierres sèches etc. ; correction des

têtes des ravins et traitement des cours d'eau pour arrêter l'érosion latérale provoquée par les crues au niveau des méandres et des rivages. Enfin, instaurer des infrastructures respectueuses de l'environnement (parc national, zoo etc.) permettant d'accueillir le public et la promotion de la région en question.

## **5. L'eau et les systèmes de production**

### **5.1. Le paysage agraire du nord-ouest de la Tunisie**

De la période coloniale jusqu'à nos jours, la Tunisie a connu une succession de politiques agricoles orientées vers la mise en valeur des territoires agraires, vers la modernisation du droit de propriété foncière et des techniques de production agricoles. L'instabilité et l'évolution de la politique agraire en Tunisie s'est produite en réponse aux handicaps auxquels l'agriculture été

heurtée. Durant les dernières décennies, l'agriculture tunisienne a connu des mutations profondes qui ont touché tout autant l'aspect occupation de l'espace, les systèmes agraires et les techniques de production.

En effet, depuis les années 90, une dégradation continue des ressources naturelles a été observée. Ainsi, en ce qui concerne les ressources en eau, la surexploitation des nappes s'est traduite par le rabattement de celle-ci (Elloumi, 2006) et dans certains cas par la détérioration de la qualité de l'eau d'irrigation. Au niveau des exploitations agricoles, cela s'est traduit par l'élévation du coût de l'eau d'irrigation et par la détérioration du sol notamment du fait du non maîtrise des systèmes de drainage. Tout cela a engendré la baisse de la rentabilité des cultures et la baisse des revenus.

L'importance de l'agriculture dans la région du nord-ouest de la Tunisie réside notamment au niveau des emblavures. Dans le nord-ouest où l'agriculture est principalement conduite en pluvial, le surpâturage et les pratiques culturales non appropriés ont conduit à l'apparition du phénomène d'érosion hydrique, parfois assez grave, et à la dégradation des parcours et la surexploitation des forêts naturelles.

## **5.2. L'approche paysagère dans le diagnostic agraire**

L'analyse du paysage d'un territoire agricole présage deux démarches selon Ambroise et *al.*, (2009). La première consiste à passer d'observation visuelle classique de l'agronome et de l'agriculteur à une vision paysagère permettant de regarder attentivement l'ensemble des éléments de l'espace de

production dans ses relations avec le milieu environnant. Ainsi, par exemple, l'observation des éléments qui bordent une parcelle (fossé de drainage, haie, bande enherbée...) et l'analyse de l'organisation du parcellaire complète de façon très utile et l'observation agronomique du sol et de l'état des cultures. La deuxième méthode prévoit des regards et savoirs croisés en s'appuyant sur le constat que chacun a un point de vue spécifique, résultant de son histoire, de sa sensibilité et de sa culture. La discussion sur le terrain entre les différents acteurs offre à ceux qui vivent et travaillent sur l'exploitation agricole l'occasion de formuler leurs préoccupations et leurs centres d'intérêt. Elle aide à comprendre leurs choix (organisation des parcelles, les cultures envisagées et les pratiques culturales) et leurs logiques. Elle permet, grâce notamment aux regards extérieurs, d'une part de détecter un certain nombre de contraintes et d'atouts agri-environnementaux ou territoriaux ; d'autre part de comprendre comment l'exploitation se situe par rapport à ces enjeux.

La classification des gouvernorats du nord-ouest de la Tunisie selon les systèmes agraires montre la présence de deux spéculations principales : les grandes cultures en pluvial et en irrigué et le maraîchage. Dans un premier groupe paysager, on trouve les gouvernorats de Béja et Jendouba qui sont des régions des grandes cultures associées au maraîchage. Ce système de culture est marqué par la céréaliculture qui est intensifiée par l'introduction des spéculations maraîchères soit pluviales ou irriguées, suite aux grands

aménagements hydrauliques du nord du pays. Dans un deuxième groupe, on trouve les gouvernorats du haut Tell (Le Kef et Siliana) qui sont des régions des grandes cultures pluviales dont le système de culture est dominé par les céréales.

En ce qui concerne les Périmètres Publics Irrigués (P.P.I), un faible taux d'intensification a été enregistré. En effet, l'occupation du sol par la céréaliculture irriguée ne diffère guère à la céréaliculture pluviale. Les céréales occupent 42% des superficies irriguées dans les petites et moyennes exploitations. Parallèlement, la part d'occupation de cette superficie augmente chez les grandes exploitations (>30 ha) pour atteindre 80% de la surface irriguée. Les cultures maraichères d'été (melon, pastèque) occupent 18% de la surface irrigable contre 5% seulement pour les potagers d'hiver. Par ailleurs, malgré la

généralisation d'un paquet technique rigoureux, les rendements du blé dur irrigué restent faible par rapport aux rendements escomptés, soit une différence de l'ordre de 28%.

L'approche paysagère peut être également adaptée pour l'analyse de l'eau dans les paysages agricoles du nord-ouest de la Tunisie. Il importe donc d'analyser l'eau en termes de caractères quantitatifs (excès-drainage, manque-irrigation, prise d'eau et stockage) et qualitatifs (biologique et sanitaire, zones de protection des périmètres de captage...), pour passer ensuite à l'interprétation des atouts et des contraintes. Cette démarche a pour objectif d'aider les décideurs dans l'élaboration de projets d'aménagement des territoires. Elle vise à améliorer les systèmes de production tout en contribuant au développement durable des territoires dans lesquels ils se trouvent.



**Figure 16.** Agriculture périurbaine dans le gouvernorat de Jendouba : l'appartenance à la vallée produit une typicité des sols à disparité hydrique contrastée. (Cliché R. Neiri, 2012)

Force est de constater que le nord-ouest de la Tunisie est caractérisé par un potentiel hydrique très important, mais

une valorisation très insuffisante. Les résultats du ministère de l'agriculture sur les P.P.I au cours de la campagne

agricole 1980-1981, révèlent un faible taux d'usage global des périmètres irrigués de moins de 50% (Attia, 1986). Le faible taux d'exploitation des P.P.I est principalement dû à un faible taux d'intensification. Les quantités d'eau utilisées par les P.P.I est de 10% par rapport à celles auraient dû être consommées. Le secteur irrigué lié à la petite exploitation familiale à partir des oueds ou des puits de surface, apparaît plus représenté et plus productif que les périmètres irrigués.

## **6. Le contexte politique d'aménagement**

Depuis le début de l'histoire humaine, et jusqu'à nos jours, les peuples de la région méditerranéenne ont toujours lutté contre la rareté de l'eau et ont appris à maîtriser la gestion de l'eau pour vivre et prospérer. Ainsi, les civilisations qui ont existé depuis des millénaires sur les rives de la méditerranée, nous ont laissé de nombreux témoignages de leur capacité à comprendre les enjeux de l'eau, et d'utiliser judicieusement cette ressource vitale.

La politique de l'eau en Tunisie a passé à travers l'histoire par trois phases : une première phase datant de plusieurs siècles où nos ancêtres ont trouvé des systèmes hydrauliques permettant l'émergence des civilisations, comme les foggaras, les citernes, les Mgouds, les galeries, adductions et systèmes de partage des eaux dans le sud. La deuxième phase pendant le 20<sup>ème</sup> siècle, au cours de laquelle d'importants programmes de mobilisation de l'eau ont été mis en place : réseau de barrages, approvisionnement en eau d'assainissement et les réseaux d'irrigation et une exploitation intensive des

nappes phréatiques. La troisième phase a commencé au début du 21<sup>ème</sup> siècle où le gouvernement a pris conscience des limites de l'approche suivie et que le passage à la gestion de l'eau s'impose. Au cours de cette dernière phase la politique de l'eau a évolué lentement vers une nouvelle approche qui prend en compte la qualité et la quantité de l'eau ainsi que l'ensemble du système hydrologique, la promotion de la gestion de la demande, la réforme des tarifs, l'instauration d'un partenariat public et privé et le renforcement de la mise en application des réglementations sur la protection de l'environnement.

Poussée par ces défis, la Tunisie a entrepris de réformer leur secteur de l'eau. Un changement dans la pensée et l'action dans la gestion de l'eau est en train de prendre place. L'expérience suggère que relever le défi de la rareté de l'eau exige à la fois une stratégie de gestion de l'offre, impliquant le développement très sélectif et l'exploitation de nouvelles sources d'eau (conventionnel et non conventionnel) couplée à une gestion de la demande vigoureuse des réformes globales impliquant des actions visant à optimiser l'utilisation des approvisionnements existants. Le dosage approprié de l'offre et de la demande peut varier en fonction du niveau de développement, la structure de gouvernance et le degré de rareté de l'eau dans chaque région. Aujourd'hui, l'enjeu de l'eau, que ce soit dans sa situation abondante ou rare, est déjà une réalité en Tunisie surtout dans le nord-ouest du pays. Sa mauvaise gestion menace la croissance économique et les moyens de subsistance des populations. Nous craignons, néanmoins, que les

problèmes ne feront que s'accélérer. L'aménagement paysager de l'eau est désormais une priorité à saisir dans le nord-ouest tunisien.

Selon Donadieu et Rejeb, (2009) le plan d'aménagement du paysage doit se baser sur l'organisation spatiale à maintenir et l'état final à attendre. L'approche d'aménagement nécessite un concept de paysage capable de rassembler les divers regards scientifiques et sociaux pour aider à construire des politiques d'aménagement appropriées. Cette approche pluridisciplinaire et concertée proposée par Dubois, 2008 tient une double position en aménagement du territoire. En premier lieu, le paysage tel qu'il est définie constitue un enjeu d'aménagement du territoire en phase avec la démarche pluridisciplinaire. En deuxième lieu, en tant qu'instrument d'interpellation et de sensibilisation des différents acteurs du territoire sur la question de son aménagement. Pour atteindre ces objectifs, le plan d'aménagement doit tenir compte, non seulement du côté socio-économique, mais aussi de la dimension environnementale (Ben Hadj Farhat et *al.*, 2011). Le défi est donc, de mettre en œuvre des cadres de réflexion nécessaires et préalables à l'analyse des paysages et à toute action planificatrice pour faire face aux enjeux des phénomènes de mutation territoriale (Rejeb, 2007).

## **7. Conclusion**

L'eau dans le paysage du nord-ouest tunisien présente, avant tout, un aspect historique avant même ses aspects agro-environnementaux et socio-économiques. L'histoire de l'eau est

sculptée dans la région depuis des millénaires à travers des monuments antiques construits pour le cheminement, le stockage et l'usage de l'eau : source, puits, citernes et thermes memmiens dans site archéologique de Bulla-Regia du gouvernorat de Jendouba ; des norias dans la ville antique de Testour.

L'étude du paysage du nord-ouest tunisien montre qu'il est très coloré avec la présence de forêts, de terres agricoles, des constructions et des plans d'eau. Ce paysage résulte de l'action de trois forces à savoir : les forces climatique, les forces humaines et les forces de planification. La perception du paysage naturel de cette région, présage une grande variété de milieux aux caractéristiques climatiques, pédologiques, hydrauliques et biologiques très contrastées. Une ressemblance de point de vue climatique et occupation du sol a été observée entre les gouvernorats de Jendouba et Béja. La même classification est valable pour les gouvernorats du Kef et Siliana. Par ailleurs, les régions du nord-ouest sont très influencées par l'anthropisation et l'effet des changements climatique.

L'analyse du paysage à travers la bioclimatologie a montré que cette région est bien arrosée en hiver avec une supériorité pluviométrique pour les gouvernorats de Béja et Jendouba par rapport aux gouvernorats du Kef et Siliana. Ceci favorise l'essor d'une agriculture de plaine intensive. Toutefois, les effets des changements climatiques sont visibles ces dernières années. Elles s'expriment, notamment, par une forte variabilité saisonnière de la pluviométrie et une baisse des rendements des céréales pluviales.

L'analyse du paysage agraire révèle la dominance des céréalicultures pluviales et irriguées et des cultures maraîchères. Toutefois, la région présente un potentiel hydrique très important, mais une valorisation pour l'agriculture très insuffisante (au-dessous de 50%).

Malgré l'importance des richesses naturelles, le nord-ouest est soumis à l'action de certaines calamités résultant de l'action de l'eau, comme le phénomène d'inondation dans la plaine de Jendouba-Bousalem et le phénomène d'érosion qui se distribue sur tout le paysage géologique du territoire. Ces phénomènes peuvent gêner le développement économique, social et agricole en particulier de la région.

Il importe de souligner l'importance d'instaurer une politique d'aménage-

ment visant une mobilisation rigoureuse de l'eau. Il faut penser à la création de nouveaux barrages et lacs collinaires et orientée vers l'interconnexion des barrages pour palier à la mauvaise réparation de l'eau. En outre, l'aménagement doit prévoir des mesures pour la correction et la protection des ouvrages de stockage de l'eau et d'inventer de nouvelles alternatives de dispositifs de lutte contre l'érosion. La politique doit réfléchir, aussi, à planifier des aménagements contre l'inondation. Il faut trouver des solutions pour que les crues ne soient pas destructrices et ne finissent par se perdre dans les sebkhas ou dans la mer. La centuriation romaine, dans le Sahel tunisien, constitue un bel exemple pour s'inspirer des alternatives de lutte contre l'inondation.

### **Références bibliographiques**

- Ambroise R., Toublanc M., Bonneaud F. (2009): Apport des outils pour des projets de développement durable des territoires : Projet d'exploitation agricole et paysage, ed. Institut Français du Vin. p 28., <http://www.agriculture-et-paysage.fr/>
- Attia, H. (1986) : Problématique du développement du Nord-Ouest tunisien. In : Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée, N°41-42. pp 264-280.
- Ben Hadj Farhat, K., Rejeb, H., et Gonzalez-Villaescusa, R. (2012) : Landscape dynamic in the Tunisian sahel and its relationship with the roman centuriation: case of the watersheds of Sebkhata El Kelbia. In Water Issues Relating to Environmental Landscape Sustainability. ISBN 978-9938-9502-2-9. pp. 335-341.
- Ben Hadj Farhat, K., Rejeb, H., Moussa, M., Gonzalez-Villaescusa, R. (2011) : Analyse de la dynamique paysagère et géomédiation d'une zone fragilisée sise au Sahel tunisien « Sebkhata El Kalbia ». Revue des Régions Arides. n° 26. pp 117 – 146.
- Ben Hassine, H., Ben Salem, M., Bonin, G., Braudeau, E., Zidi, C. (2003) : Réserve utile des sols du Nord-Ouest tunisien : évolution sous culture. Étude et Gestion des Sols. Vol 10. N° 1. pp 19- 33.

- Ben Mammou, A., et Louati, M. H. (2007) : Évolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages de Tunisie. Université du Québec - INRS-ETE, Vol 20, n° 2. pp. 201-210.
- Ben Mansoura, A., Garchi, S., Daly, H. (2001) : Analyzing forest users' destructive behavior in Northern Tunisia. *Land Use Policy*. N° 18. pp 153-163.
- Ben M'Hamed, M., Abid, K., Ben-Jamaa, M.L. (2002) : La subéraie tunisienne : importance et orientation pour une gestion durable. Colloque Vivexpo. La subéraie : biodiversité et paysage Vivès –Pyrénées Orientales –France. p 32.
- Broise, H., Thébert, Y. (1994) : Bulla Regia : les thermes memmiens. *Recherches archéologiques franco-tunisiennes à Bulla Regia, II. Les architectures, 1. Les thermes memmiens*. In : Dialogues d'histoire ancienne. Vol. 20, N°2. pp 425-430.
- Donadieu, P. (2012) : L'évolution des imaginaires de l'eau urbaine : une condition de la soutenabilité des villes méditerranéennes. In *Water Issues Relating to Environmental Landscape Sustainability*. ISBN 978-9938-9502-2-9. pp. 109-120.
- Donadieu, P. et Rejeb H. (2011) : *Chroniques paysagistes des deux rives de la Méditerranée*. Ed. Imprimerie officielle, Tunis, p 193.
- Donadieu, P., Rejeb H. (2009) : *Abrégé de Géomédiation paysagiste*. p 176
- Droeven, E., Dubois, C., Feltz, C. (2007) : Paysages patrimoniaux en Wallonie (Belgique), analyse par approche des paysages témoins. *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, n° 84-85. p 243.
- Dubois C. (2008) : Le paysage, enjeu et instrument de l'aménagement du territoire. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Vol. 13. n° 2. p. 309 – 316.
- Elloumi, M. (2006) : Les politiques de développement rural en Tunisie : Acquis et perspectives. *Options Méditerranéennes, Sér. A / n°71*. pp 55-65.
- Faust, D., Zielhofer, C., Escudero, R.B., Diaz del Olmo, F. (2004) : High-resolution fluvial record of late Holocene geomorphic change in northern Tunisia: climatic or human impact? *Quaternary Science Reviews*. N° 23. pp 1757–1775.
- Feltz, C. (2004) : Les territoires paysagers de Wallonie. *Conférence permanente du développement territorial*. p 68.
- Khebour Allouche, F. (2007) : Contribution à l'étude des changements d'Etats des paysages de la dorsale tunisienne et du Cap Bon. Thèse de Doctorat. *Paysage et environnement*. UMR 5602 CNRS Toulouse. p 326.
- Lahmar, L. (2005) : Occupation du sol et risque d'inondation dans la plaine de Jendouba-Bou Salem. *Mémoire de Master*, Université de Manouba. *Télé-détection, SIG et Risques*. 02/UR10-01. p. 111.
- Nciri, R., Moussa, M., Rejeb, H. (2013) : Les cités inondées du nord-ouest de la Tunisie : cas de la plaine de Jendouba-Bou Salem, *Revue de l'INAT*, 28, n° 2, 12p.
- Nciri, R., Rejeb, H. (2012) : Transformations des paysages du nord-ouest de la Tunisie sous l'action de l'érosion hydrique : cas du bassin versant d'oued

- Ghzala. *In Water Issues Relating to Environmental Landscape Sustainability*. ISBN 978-9938-9502-2-9. pp 415-440.
- Plante, M.E. (2006) : Géographie et Territoire. WAT Workshop, Atelier/terrain. Paysage et environnement. Université de Montréal. p 29.
  - Rejeb, H. (2007) : Aménagements et mutations territoriales. DVD : Image, Son et conférences 4èmes Journées Interuniversitaires « Horticulture-Paysage » : Ed. UR2003 AGR01 en partenariat avec CIEU Toulouse II et LAREP Versailles.
  - Rivière-Honegger A. (2008) : Regards sur les paysages de l'eau. Evolution des usages de l'eau, dynamiques du territoire et mutations paysagères en Méditerranée occidentale, Habilitation à diriger des recherches, vol. 1, rapport de synthèse, 310 p. vol. 2A et 2B, recueil des publications (sélection de 20 articles), ENS-LSH, Lyon.
  - Rouchiche, S., Abid, H. (2003) : Rôle des plantations forestières et des arbres hors forêts dans l'aménagement forestier durable. Document de travail sur les forêts et arbres plantés FP/27F FAO, Rome (Italie). p 100.
  - Sayari, N., Rejeb, H., et Barbin, V. (2012) : La noria un patrimoine hydraulique générateur d'un paysage authentique de Testour. *In Water Issues Relating to Environmental Landscape Sustainability*. ISBN 978-9938-9502-2-9. pp 441-465.
  - Treyer, S. (2002) : Analyse des stratégies et perspectives de l'eau en Tunisie. Rapport II : Prospective de l'eau en Tunisie. Plan Bleu, centre d'activités régionales. Sophia Antipolis. p 78.

## Requalification paysagère de la foresterie urbaine appliquée à la ville de Kasserine

Héla FATMI<sup>1</sup> ; Hichem REJEB<sup>1</sup> & Mohamed MOUSSA<sup>2</sup>

(1) UR « HPE » ISA, IRESA, BP 47,4049 Chott Mariem Sousse

[helafatmi@yahoo.fr](mailto:helafatmi@yahoo.fr) , [rejeb.hichem@iresa.agrinet.tn](mailto:rejeb.hichem@iresa.agrinet.tn)

(2) Institut des Régions Arides, 4100 Médenine

[Mohamed.Moussa@ira.rnrt.tn](mailto:Mohamed.Moussa@ira.rnrt.tn)

ملخص :

عرفت الغابات والمساحات الخضراء الحضرية عديد المراحل منذ القرن التاسع عشر. وحسب التوجهات العمرانية المعتمدة يمكن تحديد ثلاث فترات رئيسية : عصر العمران الضيفي والتخطيط الحضري المستدام وأخيرا ظهور العمران البيئي. ظهرت طوال هذه الفترات الثلاثة طرق جديدة للتصرف وأنواع مختلفة من المساحات الخضراء الحضرية. كما شهد الاهتمام بهذه المساحات تطورا من حدائق الزينة إلى مساحات خضراء متعددة الأغراض. يهدف هذا البحث لتحديد طريقة لإعادة النظر في الغابات الحضرية وكيفية تنفيذ المساحات الخضراء الحضرية بحث لم تعد تعتبر "مساحا" بسيطة متناثرة في المدينة، بل باعتبارها بنية تحتية خضراء تلعب دورا بيئيا ويمكن أن تساعد في الحد من الضغط العمراني على المناطق الزراعية المجاورة.

### Résumé

La place attribuée à la foresterie et aux espaces verts urbains, a connu depuis le XIXe siècle, plusieurs phases. Selon les tendances urbanistiques adoptées, trois périodes principales peuvent être identifiées : il s'agit de l'ère de l'urbanisme fonctionnaliste, de celle de l'urbanisme durable et enfin l'émergence de l'urbanisme écologique. Tout au long de ces périodes, de nouvelles pratiques de gestion et différentes typologies d'espaces verts urbains sont apparues. La prise en considération des espaces végétalisés urbains a ainsi évolué, allant des jardins ornementaux à la trame verte urbaine multifonctionnelle. L'objectif de cet article est de montrer comment on peut repenser la foresterie urbaine et la façon de mettre en place les espaces verts urbains de manière à ce qu'ils ne soient plus considérés comme des simples « équipements » dispersés sans réelle logique dans la ville, mais comme une véritable infrastructure verte qui joue un rôle écologique et qui pourrait contribuer à préserver et à diminuer la pression urbaine sur les espaces agricoles qui lui sont limitrophes.

### Summary

The place attributed to forestry and urban green spaces has undergone, since the nineteenth century, several phases. According to the adopted urbanization trends, three main periods identified the era of functionalist urbanism, the era sustainable urbanism and finally the emergence of ecological urbanism. Throughout these periods, new management practices and different types of urban green spaces have emerged. Consideration of urban vegetated areas has evolved from private gardens with high ornamental value to the multifunctional urban greenway.

The purpose of this article is to show how we can rethink urban forestry and how to implement the urban green spaces. So, that they are no longer considered as mere

"equipment" dispersed without any real logic in the city, but as a truly green infrastructure playing an ecological role and could help preserving and reducing pressure on adjacent agricultural areas.

## 1-Introduction

Il est de tradition d'associer les espaces verts en milieu urbain aux espaces d'agrément aménagés dans un but essentiellement récréatif ou d'ornement comme les jardins publics, les parcs ou les squares (Lotfi et. al. 2012).

Durant cette époque d'attachement accrue aux valeurs de développement durable, cette vision de l'espace vert urbain est révolue (Donadieu et Rejeb, 2009). En plus de sa fonction initiale d'ornement et de distraction, l'espace vert revêt aujourd'hui une fonction sociale, structurelle, organisationnelle écologique voire même économique au sein de la ville (Lotfi et Di Pietro, 2009). La terminologie « espaces verts urbain » englobe désormais toute la foresterie urbaine dont les espaces verts d'agrément, les arbres d'alignement, ou les espaces à vocation économique comme les espaces agricoles, surtout ceux se situant en périphérie urbaine. Ces derniers jouent un rôle primordial dans l'interface ville-campagne, souvent sujets à controverse, car fragiles et menacés par l'avancée de l'urbanisation (Aguéjdad, 2011).

Cette problématique a fait l'objet de diverses études et dans des domaines aussi différents que variés comme l'urbanisme, l'agronomie, le paysage, l'écologie et la sociologie. Si certaines de ces spécialités se rapportent plus aux sciences humaines de par leurs méthodes d'analyse et d'interprétation souvent subjectives car directement liées au vécu et à l'interprétation de l'Homme, comme le paysagisme ou la

sociologie, d'autres spécialités ayant traitées la problématique des espaces agricoles urbains ou périurbains sont reconnues « scientifiques » et se rapportent aux sciences exactes comme l'écologie (Burel et Baudery, 2004).

L'identification de ces nouveaux enjeux s'est traduite très récemment par des propositions en faveur de trames vertes et d'aménagements écologiques à vocation de préservation de la biodiversité (Bennett, 1991).

Ces trames vertes constituent un outil d'aménagement du territoire comprenant des taches d'habitat et des corridors écologiques les reliant ou servant d'espaces tampons. Ces espaces de naturalité doivent permettre les flux d'espèces animales et végétales (Strub, 2008).

Cette définition d'ordre écologique constitue un nouveau concept de l'aménagement du territoire qui correspond à une prise en considération des attentes d'une société civile en matière écologique et de développement durable, il s'agit notamment de sauvegarder et de favoriser la biodiversité, d'améliorer la qualité de vie et la qualité environnementale et sociale de ces lieux (Cormier, et Carcaud, 2009). La question urbaine des trames vertes n'émane pas proprement parlé d'une communauté scientifique, mais intéresse de manière convergente plusieurs disciplines en sciences sociales et biologiques, ainsi que des acteurs professionnels. Les trames vertes urbaines prennent leur sens par le

développement de continuités naturelles au sein d'espaces urbains plus ou moins denses et leur évaluation met clairement à contribution les disciplines géographiques et sociales (Cormier et al, 2010). Cette étude est consacrée à montrer comment on peut repenser la foresterie urbaine et la façon de mettre en place les espaces verts urbains de manière à ce qu'ils ne soient plus considérés comme de simples « équipements » dispersés sans réelle logique dans la ville. Il s'agit plutôt de les considérer comme une véritable infrastructure verte qui joue un rôle écologique et qui pourrait contribuer à préserver et à diminuer la pression urbaine sur les espaces agricoles qui lui sont limitrophes.

## 2- Présentation de la zone d'étude

### 2.1- Choix de la zone d'étude

L'étude est réalisée dans la ville de Kasserine. Cette ville est choisie

comme zone d'étude pour deux raisons : la première et la principale étant la taille réduite de son espace urbain. Ceci est un atout majeur car il permet d'étudier la ville dans son intégralité et dans le détail, chose que l'on ferait avec beaucoup moins d'aisance voire qui ne serait pas faisable sur une ville étalée comme le Grand Tunis par exemple. La deuxième raison est que Kasserine est une ville de l'intérieur du pays, elle a été, durant des décennies à la marge des actions et des politiques urbaines dont ont toujours bénéficié les villes littorales comme Sousse, Nabeul, Monastir, Sfax, etc. (Chebbi, 2011).

### 2.2 - Présentation générale

La commune de Kasserine se situe au Centre – Ouest de la Tunisie constitue le périmètre de l'étude (figure 1).

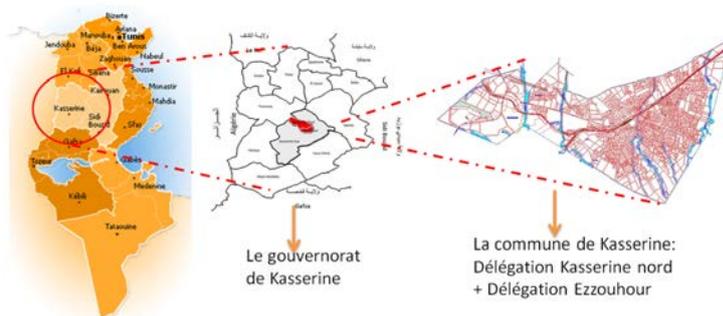


Fig. 1: Localisation géographique de la commune de Kasserine

Située à une altitude supérieure à 670 m, la commune de Kasserine est entourée par trois montagnes (fig. 2) : Jebel Chambi à l'ouest (point culminant de la Tunisie à 1544 mètres et classé parc national), Jbel Semmama au nord

(1314 mètres) et Jbel Saloum à l'est (1373 mètres).

L'environnement immédiat de la ville de Kasserine est ponctué par la présence de bassins versants et d'une série d'Oueds dont les plus importants

sont les oueds Eddarb, Andlou, El Hatab, El Atfal, El Beir. Ces oueds traversent la ville du sud vers le nord. Ils constituent une contrainte à

l'urbanisation planifiée et présentent un risque d'érosion (Plan d'Aménagement Urbain, ville de Kasserine, municipalité de Kasserine 2010).



Figure 2: Kasserine au centre de trois masses montagneuses (google earth, 2013)

La commune de Kasserine qui n'a fait l'objet d'aucune étude urbaine jusqu'au 2010, a connu une évolution importante au niveau de son enveloppe urbaine, souvent au détriment des terres fertiles limitrophes. Cela se traduit sur le territoire par la multiplication des quartiers spontanés et la naissance d'une forme urbaine peu séduisante sans attraits paysagers malgré le grand potentiel de son milieu (Etude diagnostic pour l'élaboration d'un plan vert pour la ville de Kasserine, 2013, réalisée par la municipalité de Kasserine suite à l'initiative prise par l'Association des communes néerlandaises (VNG).

### 3- Approche Méthodologique

#### 3.1. Analyse des données cartographiques

- Le plan d'aménagement urbain (PAU) Il s'agit dans ce travail de mettre en exergue les éléments préexistants au sein de la ville afin de pouvoir ensuite

les connecter entre-eux de manière à créer un réseau ou une trame verte. Ainsi, on a pris pour principal support de recherche le PAU de la ville qui est l'unique document urbanistique de référence pour l'étude des espaces verts en milieu urbain.

Si l'on se rapporte à la légende du plan d'aménagement urbain (PAU) de la ville de Kasserine (figure 3), on remarque que les espaces verts sont regroupés dans la catégorie « Zone Verte » et sont classés dans l'extrait comme suit:

ZONES VERTES	
UVa	ZONES VERTES AMENAGEES
UVb	ZONES VERTES EQUIPEES
Uvc	CIMETIERE
Zm	ZONES MILITAIRES
ZA	ZONES ARCHEOLOGIQUES
NAr	ZONES AGRICOLES
NAr	ZONES INCONSTRUCTIBLES
LES EQUIPEMENTS	
	EQUIPEMENTS CULTURELS POUR LA JEUNESSE ET L'ENFANCE

Figure 3 : Classification des espaces verts de la ville selon la légende du PAU (Plan d'aménagement urbain de la ville de Kasserine, 2010)

Cette classification étant peu adaptée à la réalisation d'un inventaire dans l'optique de mettre en place une trame verte. Dans la présente étude, on se propose de réaliser une nouvelle classification qui prend en considération la nature de l'espace et l'état réel dans lequel il se trouve.

• Les images satellitaires

Dans le cadre de la réalisation d'une trame verte, les espaces verts pris en considération ne se limitent pas aux espaces aménagés mentionnés dans le PAU mais à tous les éléments végétaux urbains et périurbains y compris les alignements d'arbres, les haies, les arbres en isolé, les plantes des réseaux fluviaux, l'agriculture urbaine et périurbaine, que les promenades et les parcours de santé. Dans ce contexte, les images satellitaires type *global virtual* décembre 2012 permettent de localiser les espaces non mentionnés dans le P.A.U et facilitent le travail de terrain (réalisé également en décembre 2012).

### 3.2- Approche pour une nouvelle typologie des espaces verts pour la réalisation de l'inventaire

• Critères d'évaluation

Pour réaliser un diagnostic de l'existant et répertorier les espaces verts, on définit une typologie basée sur un ensemble de critères pour caractériser chaque espace. Les critères adoptés sont :

- la superficie ;
- le couvert végétal ;
- la localisation de l'espace considéré ;
- la présence ou non de certains équipements tels que les cheminements pavés, éclairage public, les bancs publics, les aires de jeux, les plans d'eau, les sculptures, etc. ...

Typologie des espaces verts adoptée dans la recherche.

• Eléments représentant les «tâches» de la trame verte

- Jardin public : un jardin public est un terrain enclos ou pas, on y apprécie une végétation diversifiée (arbre, arbustes, etc..., destinée à la promenade et au repos (présence de cheminements pavés, de bancs ou de pelouses) ;

- Square : le square se différencie du jardin public par la présence d'aire de jeu pour les enfants (bac à sable, balançoire, toboggan...). Il se trouve généralement dans les quartiers, loin des grands axes routiers ;

- Parc : le parc se différencie du jardin public et du square par sa grande superficie et l'abondance de sa végétation. Les cheminements pavés ne sont pas un impératif et peuvent être remplacés par des sentiers ;

- Parc-Cimetière : il s'agit d'un cimetière où l'abondance végétale est comparable à celle d'un parc. Certains équipements sont également de rigueur telles que les cheminements pavés, les bancs pour le repos et les corbeilles à papier. Un cimetière non arboré ne peut être considéré comme un espace vert ;

-Accompagnement de bâtiment public : surface végétalisée pour l'agrément qui est rattachée à un établissement public et qui n'est pas destinée à la promenade ou au repos. Les équipements tels que les bancs, les cheminements pavés ou les corbeilles ne sont pas obligatoires ;

- Friche : terrain délaissé et abandonné sans vocation apparente ;

- Agriculture urbaine : terrain agricole encore en production arboricole ou maraîcher compris dans l'emprise du périmètre urbain.

- Eléments représentant les corridors pour connecter les tâches entre-elles
- Accompagnement de voirie : surfaces végétalisées pour l'agrément et longeant voie ferrée ou voies d'eau (oueds, rivières, canaux) ;
- Alignement d'arbres : arbres plus ou moins jeunes feuillus, le plus souvent plantés le long des rues, souvent des deux côtés de la voie ou sur un terre-plein central.
- Les haies arbustives : arbustes plus ou moins jeunes feuillus, le plus souvent plantés le long des rues, pour clôturer un espace ou sur un terre-plein central.

### 3.3- Travail de terrain

Le travail consiste à parcourir la ville et à recenser tous les espaces verts s'y trouvant aussi bien ceux mentionnés

dans le PAU que ceux localisés grâce aux images satellites, et de les répertorier ensuite dans un tableau récapitulatif en fonction de leurs équipements, superficie etc...

## 4- Résultats et discussion

### 4.1- Répertoriassions des espaces recensés lors du travail de terrain

Afin de pouvoir répertorier les espaces verts de la ville de Kasserine, selon la typologie détaillée dans la partie méthodologie, on a procédé à leur classement dans un diagramme (figure 4) où ont été précisées : la classification initiale dans le PAU et selon la nature de l'espace qui sera utile pour la réalisation d'un plan vert et la mise en place d'une trame verte.

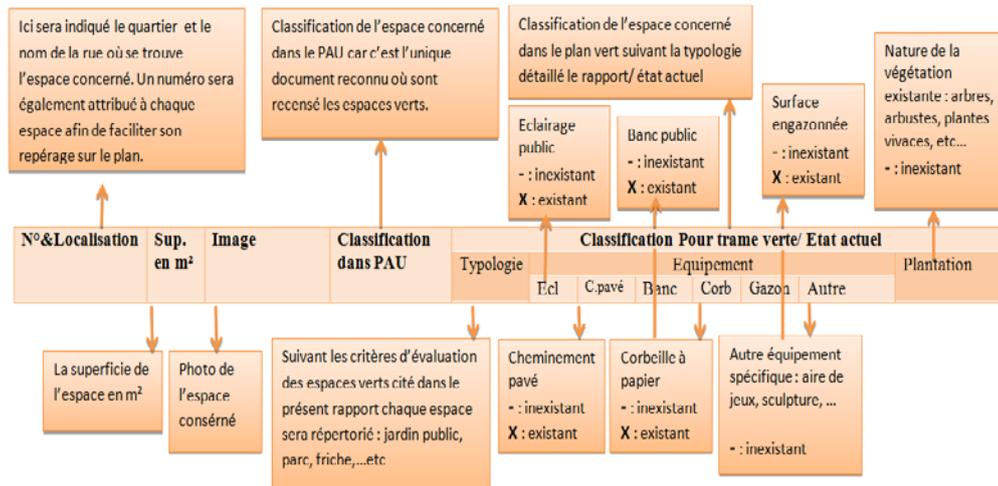


Figure 4: Diagramme récapitulatif des espaces verts de la ville pour une nouvelle qualification

La nature de l'espace est précisée selon les critères d'évaluation suivants : la superficie, la localisation, le couvert végétal et les équipements

Les espaces verts de la ville de Kasserine sont répartis en 5 catégories : jardins publics, square, parc urbain,

accompagnement de voirie et accompagnement du bâtiment public.

Sur les 120 «zones vertes» mentionnées dans le PAU, on compte après recensement et classement selon la typologie ci-dessus définie :

25 espaces verts aménagés dont :

ou en friche dont :

- 1 square
- 1 parc urbain
- 12 jardins publics
- 7 Accompagnements de voiries
- 4 Accompagnements de bâtiment public

95 espaces verts projetés

- 3 cimetières
- 2 zones archéologiques
- 1 zone militaire
- 89 friches urbaines

#### 4.2- Répartition spatiale des 120 espaces verts recensés

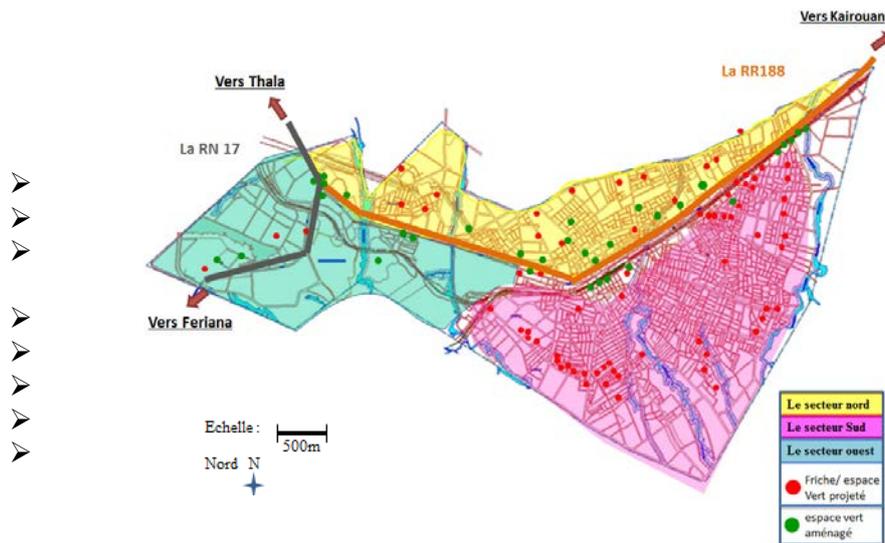


Figure 5: répartition spatiale des espaces verts recensés (fond de plan PAU : ville de Kasserine 2010)

- Déséquilibre nord/Sud ;
- Sur le schéma de répartition spatiale des espaces verts ci-dessus, on remarque un déséquilibre entre le secteur

nord et le secteur sud. En effet, on relève que 84% des espaces en friche se concentrent dans le secteur sud tandis que 76% des espaces verts aménagés se

concentrent dans le secteur nord et autour de la RR188 (route régionale 188) axe structurant la ville et autour duquel se trouvent les principales administrations et structures et services publics.

#### 4.3- Répartition spatiale des arbres d'alignement ou les corridors préexistants recensés

Les arbres d'alignement et les accompagnements de voirie sont deux éléments importants. En effet, ce sont eux qui forment les corridors pour relier les espaces verts entre eux et créer ainsi un réseau ou une trame verte.

L'étude et l'analyse des alignements et accompagnement de voiries existants, permettra par la suite de planifier correctement une trame verte qui prend en considération les éléments pré-existant en les intégrant dans le projet final.

Dans cette partie, ils seront recensés les axes végétalisés et les espaces verts d'accompagnement de voiries. Ces derniers ont été repérés grâce aux images satellites avant d'être localisés sur le terrain pour être ensuite retranscrits sur plan (figure 6).

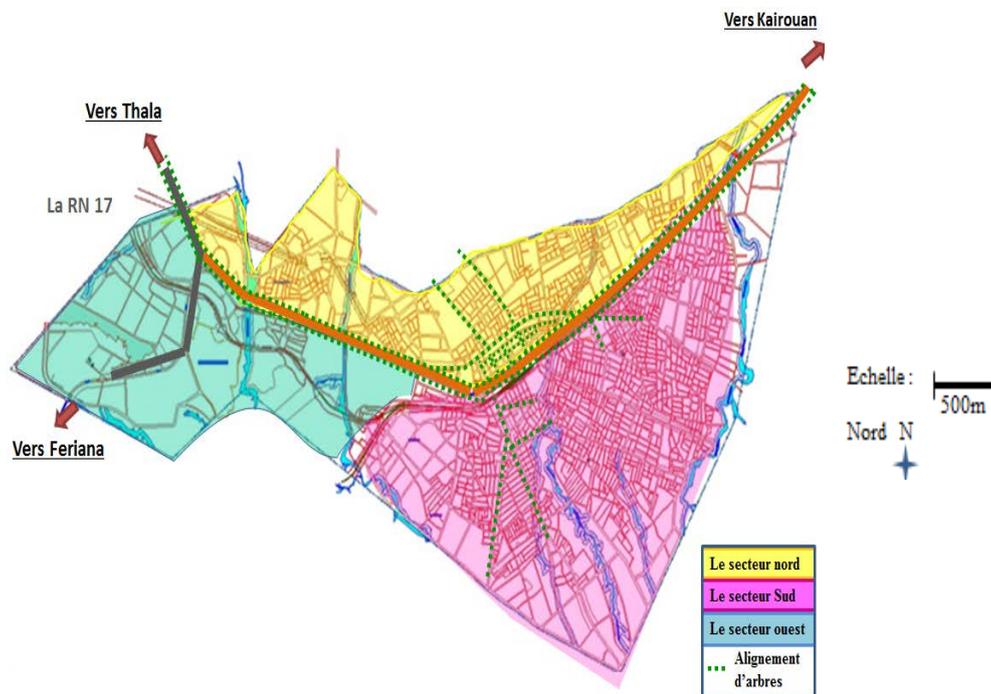


Figure 6: plan de localisation spatiale des arbres d'alignement (fond de plan : PAU ville de Kasserine, 2010)

Le plan de localisation des alignements d'arbres de la commune ci-dessus met en évidence la préexistence d'un maillage plus ou moins équilibré selon le secteur.

Dans le secteur nord, on relève une trame verte préexistante connectée au réseau périphérique de la ville tandis que dans le secteur sud, il n'existe pas de trame préexistante et les alignements d'arbres se font rares.

L'axe principal la RR188 est également arboré et connecte le réseau urbain au réseau périurbain par l'alignement en entrée de ville vers Tala et Kairouan où

on relève encore une fois un déséquilibre nord/sud.

#### 4.4- L'agriculture urbaine

De part la qualité de ses sols et leurs fertilités, la ville de Kasserine est une ville tournée vers l'agriculture. Cette particularité est encore visible et palpable au sein même du périmètre urbain comme le montre le plan de répartition des espaces agricoles (Figure 7).

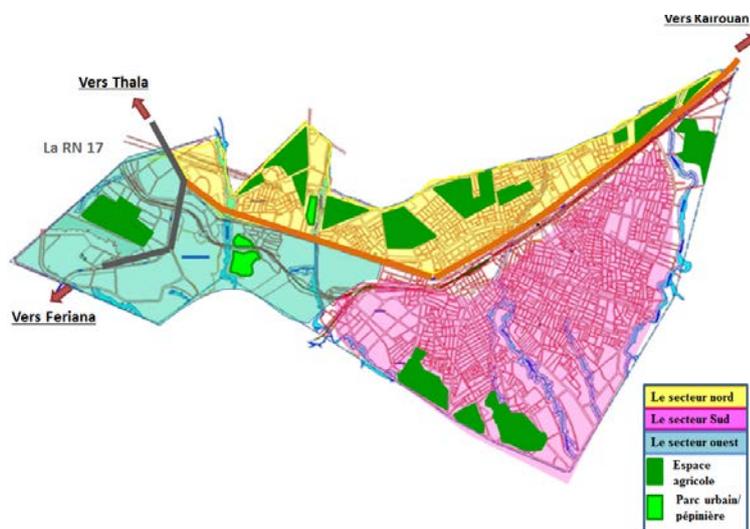


Figure 7 : Répartition spatiale des espaces agricoles dans le périmètre communal de la ville (fond de plan : PAU ville de Kasserine 2010)

Le périmètre communal de la ville de Kasserine comprend encore des espaces agricoles. Cette agriculture de proximité pourrait faire l'objet d'une éventuelle intégration dans la trame verte de la ville. Cela aura une conséquence immédiate de les classer comme espaces verts et de leur assurer

une protection contre l'urbanisation du moment qu'elles ne pourront être déclassées –selon la loi tunisienne- que par décret sur proposition du Ministre chargé de l'urbanisme (article 20 du code de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire, 2011).

Par ailleurs, on remarque encore une fois, bien qu'il soit le fruit du pur hasard- qu'il existe encore un déséquilibre entre le secteur sud et le secteur nord de la ville

#### 4.5 Récapitulatif des éléments pré-existants exploitables pour la mise en place d'une trame verte

On remarque sur que le secteur nord (figure 8) comprend pratiquement une

trame verte préexistante dans le sens où les différents éléments sont plus ou moins connectés entre eux à savoir les espaces agricoles et les espaces verts aménagés, par les moyens d'arbres d'alignement. Cela est bien moins évident dans la partie sud où presque aucun aménagement n'est existant.

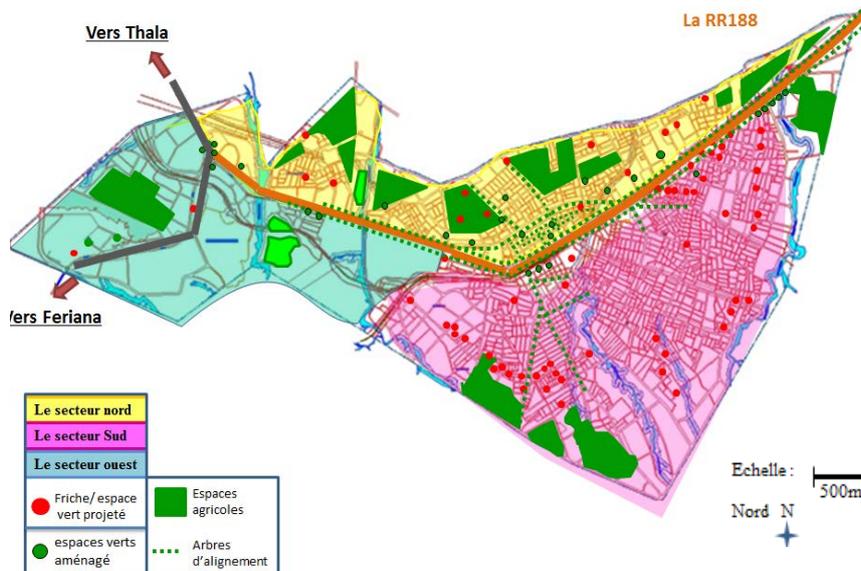


Figure 8: récapitulatif des éléments préexistants exploitables pour la mise en place d'une trame verte (fond de plan : PAU ville de Kasserine 2010)

### 5-Conclusion et recommandations

La foresterie urbaine de la ville de Kasserine est riche et variée mais sa répartition spatiale est inéquitable entre les différents secteurs et quartiers de la ville. Si le secteur nord bénéficie de l'attention des aménageurs et décideurs locaux, il n'en est rien pour le secteur sud couvrant pourtant les deux tiers de la superficie totale de la commune et abritant presque 30% des habitants de la ville (INS 2014).

Cette discontinuité du couvert végétal de la ville et l'inégalité entre les quartiers crée inévitablement des déséquilibres en tout genre principalement d'ordre écologique et social.

Ainsi, on peut déduire que la ville de Kasserine gagnerait à repenser ses espaces verts et à œuvrer de manière à les mettre en réseaux pour diverses raisons dont notamment l'amélioration du cadre de vie au sein de la ville, particulièrement dans le secteur sud englobant les quartiers défavorisés de la

ville. Cette population vivant souvent dans la précarité est la plus nécessiteuse d'un environnement agréable, verdoyant, apaisant, et d'équipement public pour la distraction. Cela permettrait par ailleurs d'animer ces quartiers considérés « dangereux » et de diminuer ainsi l'insécurité qui y règne.

L'instauration d'une trame verte permettra l'adoption d'une vision globale de l'espace, à l'échelle communale et de mieux répartir les espaces verts au sein de la ville tout en gardant en ligne de mire ses fonctions premières qui sont d'ordre écologique et social. A titre d'exemple au lieu de prévoir l'aménagement de 89 espaces verts, tous de superficie réduites (entre 10 et 200 m<sup>2</sup>) et qui sont pour la plupart des espaces tertiaires ou de circulation, mieux vaut aménager 2 ou 3 parcs urbains digne de ce nom et une dizaine de squares à l'intérieur des quartiers. Ainsi, les espaces aménagés joueront leur rôle initial de distraction et d'agrément mais également leurs

fonctions écologiques en ville. D'une part, la diminution du nombre d'espaces verts (et non la superficie totale) projetés, fait gagner de l'argent au contribuable dans le sens où cela nécessitera des frais d'études en moins et limitera d'autre part les frais d'entretien (qu'ils soient assurés par la municipalité ou par des entreprises).

En dernier lieu, la trame verte permettra d'intégrer les espaces agricoles communaux parmi les espaces verts, ce qui permet non seulement de leur assurer une protection de plus pour leur pérennité et leur sauvegarde du mitage urbain, mais cela permettra aussi de développer le commerce de proximité, et de garantir la rentabilité de ces terres pour leurs exploitants. Sans oublier, le fait que ces espaces contribueront au verdissement de la ville au frais de leurs exploitants et non pas au frais de la ville qui bénéficiera par ailleurs de tout leurs attraits paysagers.

### Références bibliographiques

- Agejdad R. et al. (2011) : Etalement urbain et géoprospective prospective : apports et limites des modèles de spatialisation. Application à l'aire urbaine de Toulouse. *Séminaire sur la géoprospective prospective : « Apports de la dimension spatiale aux recherches prospectives »*.
- Bennett G., (1991) : Vers un réseau écologique européen, Arnhem, Institut pour une Politique Européenne de l'Environnement
- Burel F. et Baudry J. (1999) : Ecologie des paysages. Concepts, méthodes et applications, *Ed. Tec & Doc Paris*, 359 p.
- Chabbi M., (1975-2011) : Urbanisation, habitat et politiques urbaines en Tunisie, *recueil de 52 articles*
- Code de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire (2011) : publication de l'imprimerie nationale de la république tunisienne, 2011, 241p.
- Cormier L., Carcaud N. (2009) : Les trames vertes : discours et/ou matérialité, quelles réalités ?, publié dans *Projets de paysage*

*Héla FATMI, Hichem REJEB & Mohamed MOUSSA*

- Cormier L., De Lajarte A.-B., Carcaud N., (2010) : La planification des trames vertes, du global au local : réalités et limites. *Cybergéo*, No.504.
- Donadieu P. et Rejeb H. (2009) : Abrégé de Géomédiation paysagiste, Imprimerie Nationale Tunisienne 176p.
- Institut National des Statistique, recensement 2004
- la revue électronique en sciences de l'environnement, consulté le 04 Avril 2014
- Lotfi M. et Di Pietro F. (2009) : L'espace vert public, lieu d'interactions entre société et biodiversité, *publié dans Projets de paysages*.
- Lotfi M. et al. (2012) : Évolution de la place du végétal dans la ville, de l'espace vert a la trame verte, *VertigO*
- Municipalité de Kasserine (2013) : Etude diagnostic pour l'élaboration d'un plan vert pour la ville de Kasserine. 99p
- Municipalité de Kasserine (2010) : Plan d'Aménagement Urbain de la ville de Kasserine, nombre de pages 54p. ?
- STRUB L., (2008) : Trame verte et bleue – Référentiel de bonnes pratiques en faveur du maintien de continuités écologiques, rapport de stage DIREN Franche-Comté, 71p.

## Caractérisation de la diversité et du mode de conduite de l'amandier dans le centre-est tunisien: Région de Mahdia

Hassouna Gouta<sup>1</sup>, Hamza Ben Ali<sup>2</sup>, Mouna Aiachi<sup>1</sup>, Messaoud Mars<sup>2</sup>, Mohamed Gouiaa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut de l'Olivier, BP: 014, 4061- Sousse

Email: [zalaouz@yahoo.fr](mailto:zalaouz@yahoo.fr)

<sup>2</sup> UR Agrobiodiversité, Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, IRESA- Université de Sousse

### ملخص

عرفت شجرة اللوز في البلاد التونسية منذ القدم حيث تحتل مكانة هامة في الاقتصاد الوطني. يتصدر قطاع اللوز بولاية المهدية المرتبة الثانية بعد الزيتون ويمثل مورد رزق هام لفلاحي المنطقة. يغرس اللوز بصفة فردية، مختلط مع شجرة الزيتون أو لتعويض الغراسة الهرمة للزيتون. تهدف هذه الدراسة التي قمنا بها في أهم المعتمديات المنتجة للوز بالولاية لتشخيص الوضع الحالي للقطاع وذلك عبر استمارة شملت أكثر من أربعين فلاح. بينت النتائج أن صنفين 'العشاق' و'البورتو فرينة' أظهرتا تأقلا جيدا مع الخصائص المناخية للجهة، زيادة علي أن أسعار ثمار هذين الصنفين يحتلان المرتبة الأولى من حيث سعر البيع في الأسواق المحلية. أما في ما يخص التحديات التي يواجهها القطاع فيمكن القول بأن بعض العوامل المناخية كالجليدية و نقص الأمطار زيادة على تجاهل بعض الفلاحين لبعض التقنيات الزراعية مثل المداواة وأهمية تواجد النحل خلال فترة الإزهار هم من أهم الأسباب التي تعرقل تطور هذا القطاع. ختاماً يمكن القول أن المزيد من المساندة والإحاطة بالفلاحين هي السبيل الأمثل لديمومة هذه الزراعة بولاية المهدية.

### Résumé

La culture de l'amandier (*Prunus dulcis* L.) en Tunisie remonte à la plus haute antiquité. Elle occupe une place importante dans l'économie du pays. Dans le gouvernorat de Mahdia, l'amandier est la deuxième espèce arboricole après l'olivier. Il représente une source de revenu principal pour les agriculteurs de la région. Dans cette zone, l'amandier est cultivé soit en plein, soit en intercalaire avec l'olivier ou bien pour la reconversion des vieilles oliveraies improductives. Le présent travail vise, à travers une enquête auprès d'un échantillon d'agriculteurs, d'analyser la situation actuelle de cette culture dans le gouvernorat du Mahdia et d'évaluer sa diversité dans les principales délégations afin de ressortir les facteurs influençant son évolution. L'analyse de l'ensemble des données collectées nous ont permis de conclure que cette spéculation se caractérise par la dominance des deux variétés 'Achaak' et 'Porto Farina', qui ont montré une bonne adaptation aux conditions pédoclimatiques de la région. Ces deux variétés enregistrent toujours les prix de vente les plus élevés sur le marché. Les contraintes sont essentiellement climatiques (gelées, manque de pluies) puisqu'il s'agit d'un système de production

en mode pluvial avec des variétés à floraison précoce. La négligence par les agriculteurs de certaines pratiques culturales (traitements phytosanitaires, fertilisation, apport d'abeilles) affecte la productivité des amanderaies. Ainsi, des mesures de soutien et d'aide aux agriculteurs du gouvernorat de Mahdia s'avèrent indispensables pour garantir la durabilité et la prospérité d'un système de culture assez équilibré.

**Mots-clés\_:** *Prunus dulcis* L., ressources génétiques, diversité, conduite, contraintes, Tunisie.

### Summary

The almond tree (*Prunus dulcis* L.) in Tunisia dates back to the antiquity. The fruit crop occupies an important place in the economy of the country. In the governorate of Mahdia, almond is the second species after the olive tree and represents one of the main source of incomes for farmers. It's cultivated as main species, mixed with olive tree or for the reconversion of the old unproductive olive orchards. The present work aimed to analyze the situation of the almond-tree and to evaluate its diversity in this geographic zone. This study concerned the main almond producer delegations in order to identify the strengths and the weaknesses of a sector in evolution. The analysis of the collected data allowed to confirm that the almond cultivation in the governorate of Mahdia is characterized by a dominance of the two cultivars 'Achaak' and 'Porto Farina', well adapted to the specific pédo-climatic conditions of the region. Furthermore, fruits of these two varieties always record the higher selling prices. Constraints are essentially natural (drought, bad weather during blooming, frost, etc.) since it is a rainfed producing system with auto-incompatible and early blooming cultivars. The farmer's negligence of some important technical practices such as insect treatments and introduction of the bees for pollination, are the main constrains facing the prosperity of this important sector. For this reasons, the adoption of some production guidelines and farmer's assistance in some are necessary to enhance productivity and ensure sustainability of this particular production system.

**Keywords:** *Prunus dulcis* L, genetic resources, diversity, cropping techniques, constrains, Tunisia.

### 1. Introduction

La culture de l'amandier occupe une place importante en Tunisie. Elle a contribué et contribue toujours à la sédentarisation de la population. En plus de sa participation dans la valorisation des sols marginaux et la lutte contre l'érosion et la désertification surtout dans le centre et le sud Tunisien. Cette culture emploie un nombre non négligeable de main

d'œuvre (El Gharbi, 1974). La production nationale était de l'ordre de 58.000 T en 2014 alors qu'elle était de 55.000 T en 2002. Cette légère augmentation est obtenue suite à la mise en oeuvre du programme de replantations pour la récupération des pertes enregistrées pendant les années de sécheresses (2002 – 2003) (Gouta *et al.*, 2011).

Deuxième grande spéculation après l'olivier, le secteur de l'amandier dans

le gouvernorat du Mahdia chiffre plus de 2000 000 pieds couvrant une superficie de l'ordre de 25000 hectares, soit 16% de la superficie arboricole totale de la région. Toutefois, on ne dispose que de peu d'informations sur l'état réel de la situation du secteur et de l'assortiment variétal dans ce gouvernorat. De plus, la superficie emblavée par l'amandier ne cesse de diminuer d'une année à une autre bien que cette espèce se montre bien adaptée aux conditions pédoclimatiques de la région. Ainsi l'étude et l'évaluation des causes et des contraintes qui empêchent cette culture d'atteindre des rendements acceptables seraient d'un grand intérêt. C'est dans ce cadre que la présente étude s'est fixée pour objectif d'évaluer la situation actuelle de l'amandier à travers des enquêtes auprès d'un

échantillon d'agriculteurs repartis sur les principales délégations du gouvernorat de Mahdia et de dégager les principaux obstacles qui entravent le développement de ce secteur.

## 2. Méthodologie de travail

### 2.1.Synthèse des informations disponibles

Le gouvernorat de Mahdia se situe dans le centre-est de la Tunisie et renferme 12 délégations. Il est délimité au Nord par les gouvernorats de Monastir et Sousse, à l'Est par la mer, à l'Ouest par le gouvernorat de Kairouan et au sud par le gouvernorat de Sfax. La culture de l'amandier est présente dans tout le gouvernorat, mais les délégations de Chorbane, Souassi, Hbira, Ouled Chamekh et El Jem en sont les principales zones de culture (tableau 1).

**Tableau 1:** Répartition des superficies d'amandier dans les différentes délégations de la région de Mahdia (CRDA, 2011)

Délégation	Superficie (ha)	Nombre de pieds	Proportion (% de l'effectif total)
Mahdia	70	64500	0,27
Boumardès	500	50000	1,93
Chebaa	650	65000	2,51
Malloulech	1480	148050	5,72
Sidi Alouane	1500	150000	5,8
Souassi	1800	170000	6,96
Ksour Essef	1857	130000	7,18
Hbira	2320	174000	8,97
El Jem	2330	230000	9,01
Ouled Chamekh	4050	295750	15,66
Chorbane	9301	736200	35,96

Plus de 99% des vergers d'amandier sont conduits en pluvial (tableau 2). La dominance de ce mode de conduite est expliquée par l'absence des ressources en eau d'irrigation dans la région. De

plus les ressources financières des agriculteurs sont très limitées pour l'aménagement de puits de surface ou de sondages.

**Tableau 2:** Répartition des superficies (en ha) de l'amandier en pluvial et en irrigué dans le gouvernorat de Mahdia (CRDA, 2011)

En pluvial		En irrigué		Total	
Superficie	Nombre de pieds	Superficie	Nombre de pieds	Superficie	Nombre de pieds
25760	2198150	98	15350	25858	2213500

## 2.2. Prospections et enquêtes

Les résultats de cette étude sont basés sur des travaux de prospection, d'identification et d'analyse de la situation des exploitations à travers:

- la réalisation d'une enquête auprès d'une quarantaine d'agriculteurs des délégations de Chorbane, Ouled Chemekh, El Djem, Hbira, Ksour Essaf; Sidi Alouane, Melloulech et Souassi

- le traitement des données fournies par l'enquête qui intéresse les différents aspects de la culture de l'amandier de la plantation jusqu'à la production et la commercialisation des fruits

- la synthèse des résultats de ce travail à travers une présentation générale des éléments caractérisant la situation actuelle de l'amandier

- la description des points forts et des points faibles de ce secteur ainsi que

l'évaluation du niveau de diversité génétique de l'amandier dans la région

- l'estimation des moyens et des améliorations nécessaires pour remédier aux défaillances et relancer le secteur.

## 3. Identification des agriculteurs

La plupart des agriculteurs enquêtés sont âgés. En effet, plus de la moitié de la population étudiée est âgée de plus de 60 ans et représente 53%. Par contre les jeunes agriculteurs ayant un âge inférieur à 50 ans ne représentent que 12% (tableau 3). Trois agriculteurs, uniquement, parmi tous les agriculteurs visités (8,82 %) habitent loin de leurs vergers. Les autres résident près de leurs exploitations. La totalité des agriculteurs enquêtés pratiquent l'agriculture comme activité principale. Ces agriculteurs pratiquent l'agriculture dès l'enfance par tradition et n'ont aucune formation agricole particulière.

**Tableau 3:** Répartition sur les tranches d'âge des agriculteurs de la région de Mahdia pratiquant la culture d'amandier.

Age	Nombre d'agriculteur	Pourcentage
< 50 ans	5	12%
Entre 50 et 60 ans	14	35%
> 60 ans	21	53%

## 4. Identification des exploitations

Les sols des plantations visitées se caractérisent par une grande variabilité d'une zone à une autre et dans la même zone. La plupart sont légers (62%).

Environ 17% sont sablo-limoneux et 21% sont des sols bruns (hemri). Ces derniers sont bien structurés avec une teneur assez importante d'argile. Vue la nature légère des sols et les faibles

précipitations, il est déconseillé d'utiliser la charrue à disques qui décompose finement les éléments du sol et par conséquent favorise l'érosion éolienne.

Un seul agriculteur parmi ceux enquêtés pratique la culture de l'amandier en intensif. Le reste des exploitations sont conduites en extensif. Les agriculteurs qui disposent de puits de surface ou qui sont proches de périmètres publics irrigués apportent des irrigations complémentaires au cours des années de sécheresse. Trois types de conduite sont appliqués pour l'amandier dans le gouvernorat de Mahdia : en plein, en intercalaire ou les deux types à la fois sur la même exploitation. Les superficies conduites

en plein représentent 30% du total (tableau 4). Généralement, l'amandier cultivé en intercalaire est associé avec l'olivier et parfois avec autres espèces fruitières. Comparativement à ceux cultivés en plein, les arbres cultivés en intercalaire donnent généralement un faible rendement et sont caractérisés par une faible vigueur. Ces résultats sont attribués essentiellement à la mauvaise conduite. L'agriculteur considère que l'olivier est plus rentable que l'amandier et par conséquent intervient peu pour entretenir l'amandier en particulier. Ces plantations arrivent à un état de vieillissement prématuré et finissent par être arrachés.

Tableau 4: Répartition, selon le mode de conduite, des plantations d'amandier prospectées au gouvernorat de Mahdia

Type de conduite	Nombre de vergers	Proportion (% du total)
En plein	12	30
En intercalaire	13	33
Les deux types	15	37

A l'exception d'un seul agriculteur de la délégation de Hbira qui pratique l'irrigation localisée, dans tout le reste des vergers l'irrigation n'a eu lieu que durant les premières années qui suivent la plantation. Elle est faite, essentiellement, par cuvette de diamètre variable selon l'âge de la plante et l'eau provient soit à partir de puits de surface soit à partir de sondages publics. La main d'œuvre permanente est absente. Toutefois, les agriculteurs font souvent appel aux ouvriers saisonniers au moment de la taille, de la récolte et du travail du sol. En effet, la main d'œuvre familiale ne représente que 26% du total suite à l'exode rural. Ceci a été nettement élucidé dans les délégations

de Souassi, Chorbane, Ouled Chamekh et Hbira.

### 5. Porte-greffes et variétés

A l'exception des écotypes issus de semis, toutes les autres variétés sont greffées sur semis d'amandier amer; soit en pépinière soit directement sur champ. Ce porte-greffe est utilisé fréquemment à cause du coût réduit et de sa bonne adaptation avec les conditions de culture en mode pluvial. Pour le verger conduit en intensif, l'agriculteur utilise le GF677 comme porte-greffe puisque le semis d'amandier amer a montré des problèmes phytosanitaires en irrigué.

Au total, sept variétés locales d'amandier ont été rencontrées au niveau des vergers visités. Le reste sont des écotypes non identifiés. Les variétés 'Achâak' et 'Porto farina' sont celles qui dominent et existent chez la majorité des agriculteurs (87%). Elles sont suivies par les variétés 'Ksontini' et 'Mazzetto' (tableau 5). Pour les écotypes locaux 'Arbi', plusieurs

spécimens qui ont montré un niveau d'adaptation satisfaisant face aux divers aléas climatiques (sécheresse) et édaphiques (salinité) sont en diminution d'une année à l'autre. De plus, les agriculteurs ne sont pas satisfaits par ces variétés à raison de leur faible valeur marchande d'où le risque de l'érosion génétique.

Tableau 5: Variétés d'amandier répertoriées dans les vergers prospectés

Variété	Nombre de pieds	Proportion (%)	Productivité estimée (Kg/arbre)	Rdt au cassage (%)
Achaak	16036	39,23	4 -15	32 – 50
Porto	7340	17,96	8 -25	43 – 52
Ksontini	5730	14,02	07- 10	43
Mazetto	5675	13,88	8 - 20	35 - 40
Fekhfekh	300	0,73	10	34
Zahaf	215	0,52	20	25- 40
Guern ghazel	125	0,3	20	42
Plate (Fournat de Breznaud)	267	0,65	20 - 30	55-60
Arbi	2560	6,26	4-25	25 - 30
Heuch ben Mesbah	2000	4,89	7	43
Bouchouka	290	0,7	07- 10	35 - 49
Bousabâa	250	0,61	15	50
Malti	50	0,1	15	35
Bayoudhi	15	-	20	43
Kouarek	14	-	35	38

## 6. Techniques culturales

### 6.1. Travail du sol

Le travail du sol est mécanisé dans la majorité des cas (98%). Cependant, la traction animale est parfois utilisée. Ces travaux sont variables dans le temps et en nombre pour chaque agriculteur et sont généralement des travaux superficiels ou de destruction des mauvaises herbes afin de minimiser les pertes d'eau par évaporation et

assurer une bonne aération du sol. Le nombre d'intervention est tributaire des moyens financiers de l'agriculteur. Environ 33% des agriculteurs travaillent le sol 4 fois par an, 37% font 1 à 3 interventions et 30% intervient plus que 4 fois par an.

### 6.2. Fertilisation

Sachant que l'amandier est surtout conduit en extensif, la plupart des vergers ne reçoivent aucun élément

fertilisant sauf au début de l'installation. En effet, 62% des agriculteurs enquêtés ne font aucun apport d'éléments fertilisants à la plantation. Cependant, l'intervention des agriculteurs (38%) se limite à quelques apports irréguliers de fumier bovin ou ovin pendant les saisons automnales et hivernales. L'achat de fumier est tributaire des moyens financiers de l'agriculteur.

### 6.3. Taille

Tous les agriculteurs visités pratiquent la taille mais à une fréquence variable d'un agriculteur à un autre. De plus le type et la fréquence de la taille sont variables chez le même agriculteur et dépendent principalement des conditions naturelles et de la vigueur de l'arbre. Si celle-ci est faible avec un manque de pluie, l'agriculteur pratique une taille sévère pour favoriser le renouvellement de la charpente et si la vigueur est importante il applique une taille légère pour éviter l'excès de végétation. En effet, la majorité des agriculteurs (92%) pratiquent la taille chaque année et (8%) la pratique une fois tout les deux ans. Il s'agit d'une taille d'entretien qui s'effectue généralement après la récolte jusqu'au mois de décembre. Cette opération est exercée dans la plupart des cas par des tailleurs non qualifiés, ce qui explique les erreurs de la taille fréquents et affecte d'une façon importante la production et la longévité de l'arbre.

La taille en vert est absente chez tous les agriculteurs enquêtés bien que cette taille ait une grande importance est consiste à éliminer les gourmands et les rameaux anticipés qui n'ont aucune contribution à l'augmentation de la production et qui sont les premiers

foyers de pullulation des insectes (notamment les pucerons).

### 6.4. Apport d'abeilles pendant la période de floraison

Sachant que l'amandier est une espèce allogame avec la plupart des variétés auto-incompatibles et que le transport de pollen par le vent reste très faible, la présence des abeilles au cours de la pollinisation contribue d'une façon importante à l'amélioration de la production (El Gharbi *et al.*, 1984). Parmi les agriculteurs enquêtés, 18 (45%) disposent des ruches d'abeilles dans leurs vergers au moment de la floraison. La majorité de ces agriculteurs résident dans les régions côtières où les températures au moment de la floraison sont favorables pour une bonne activité des butineuses. Pour le reste des agriculteurs, plus de la moitié (55%), n'apportent pas les abeilles. Ils sont en majorité situés dans les zones continentales comme Chorbane et Hbira où la température au moment de la floraison est relativement basse ce qui limite l'activité des abeilles. De plus, certains agriculteurs ont perdu leurs ruches à cause de l'application des traitements chimiques sur autres espèces fruitières cultivées en mélange avec l'amandier.

L'apport des abeilles consiste à une distribution aléatoire des ruches dans les vergers avec un nombre variable d'un agriculteur à un autre. La plupart des agriculteurs utilisent leurs propres ruches. En effet, un seul agriculteur de Ouled Chamekh introduit un nombre important des ruches apportées par des apiculteurs. Plusieurs agriculteurs se disent intéressés par l'introduction des abeilles pollinisatrices mais ils n'ont

pas les moyens. Ce problème pourrait être résolu par l'établissement de relations professionnelles entre ces agriculteurs et les apiculteurs.

### **6.5. Traitements phytosanitaires**

Les principaux ravageurs qui attaquent l'amandier dans le gouvernorat du Mahdia sont les pucerons et le faux tigre à partir du mois de mars jusqu'à la fin de la récolte et les scolytes en été avec un maximum de pullulation pendant les années de sécheresses. Bien que les agriculteurs enquêtés soient considérés comme meilleurs producteurs d'amandes, plus de la moitié (60%) ne traitent pas leurs vergers. Environ 40% pratiquent les traitements dont 30% traitent par des insecticides, généralement le Décis et 10% utilisent uniquement la chaux vive sur le tronc pour fermer les fissures qui représentent un foyer pour les ravageurs. Un seul agriculteur de la région de Souassi fait le traitement d'hiver avec des produits à base de cuivre.

Ce pourcentage faible d'application des traitements chimiques est lié principalement au manque de matériel (tracteur, pompe à haute pression...). En effet, 85% des agriculteurs propriétaires d'un matériel de traitement pratiquent la culture d'autres espèces fruitières en irrigué pour lesquelles ils considèrent les traitements chimiques indispensables. Plusieurs agriculteurs sont très intéressés par le traitement de leurs plantations, mais précisent qu'ils n'ont pas la capacité financière pour acquérir ou louer le matériel de traitement.

### **6.6 Récolte et commercialisation**

La majorité des agriculteurs (90%) pratiquent la récolte de leurs amandes

en sec. Cette récolte s'échelonne sur les deux mois juillet et Août et varie selon le désir de l'agriculteur. La récolte en vert est rare et ne vise que quelques variétés à coque tendre comme 'Fournat de Breznaud' désigné par les agriculteurs 'Plate' et qui est connue par son faible poids en sec, d'où il est recommandé de la récolter en vert. Aussi, les agriculteurs ne préfèrent pas la récolte en vert suite à l'absence de la main d'œuvre qualifiée. Si elle est mal faite elle provoque l'élimination des structures de production essentiellement les bouquets de mai. Ceci affecte énormément la récolte de l'année suivante. La production reste toujours tributaire de plusieurs facteurs principalement naturels (pluies) et des techniques culturales (apport d'abeilles, taille, traitements phytosanitaires...). La production moyenne est de l'ordre de 3 à 8 Kg par arbre équivalent d'une récolte de 210 à 560 Kg par ha.

La destination du produit récolté peut prendre plusieurs sens et c'est l'agriculteur qui décide le devenir de sa récolte. Le choix du type de vente est basé principalement sur le prix.

Plus que la moitié des agriculteurs (59%) pratiquent la vente sur place, 18% au niveau de marché local et 15% au niveau de marché de gros (tableau 6). Le reste des agriculteurs préfèrent la vente sur pied par manque des moyens (main d'œuvre, matériels...). Chaque agriculteur réserve une quantité d'amandes pour la consommation familiale. Elle est variable d'un agriculteur à un autre et dépend de la récolte et du prix de la vente.

**Tableau 6 : Modes de commercialisation des amandes dans le gouvernorat de Mahdia**

Type/lieu de vente	Nombre d'agriculteurs	Pourcentage
Vente sur pied	3	8%
Vente sur place	24	59%
Marché local	7	18%
Marché de gros	6	15%

### 7. Contraintes

- Le manque des précipitations est une contrainte principale puisqu'il s'agit d'un système de production en extensif. Quelques agriculteurs apportent des irrigations complémentaires pendant les années de sécheresse, mais la plupart non pas les moyens pour intervenir. Pour cette raison on note des pertes énormes d'arbres et par conséquent une perte d'un patrimoine génétique précieux.

- Le second facteur naturel est la gelée printanière qui menace les variétés à floraison précoce. Les variétés locales sont toujours sujettes à l'effet de la gelée. Elles subissent une grande chute des fleurs qui se traduit par des rendements faibles.

- Autre facteur, mois fréquent, est la grêle qui cause des dégâts touchant à la fois la production et l'état sanitaire de l'arbre. Ainsi à coté de la chute des fruits on assiste à un affaiblissement de l'arbre, l'apparition de gomme à l'intérieur des fruits et le développement des maladies cryptogamiques.

- A l'exception de deux agriculteurs qui ont tous les moyens d'une bonne conduite, tous les autres agriculteurs font continuellement face à des problèmes de manque de matériels de traitement, de travail du sol et de traction. Pour cette raison, ils négligent

certaines opérations indispensables pour avoir une bonne production.

- Le manque de formation et d'informations techniques est noté pour tous les agriculteurs. Il serait opportun d'organiser continuellement des journées d'informations pour mieux les encadrer.

- La plupart des agriculteurs visités, ont une difficulté au niveau de l'écoulement de leur produit. Le problème réside au niveau du prix qui est généralement fixé par les grands commerçants sans aucune norme. A ce moment, l'agriculteur se trouve obligé de vendre son produit avec un faible prix. En outre, les agriculteurs ayant des vergers d'amandier conduits en mode biologique ne sont pas satisfaits par le prix de vente de leurs récoltes. Ces derniers affirment que le prix de vente dépend seulement de la variété et non pas du mode de conduite.

- La présence de moineaux (après débourrement) cause des problèmes sérieux pour les agriculteurs et contribue à une baisse de la production. Ils se nourrissent des fleurs et des fruits noués des variétés précoces. Les dégâts sont variables selon l'année et la région. Le maximum d'attaques est observé lorsqu'il n'y a pas une autre culture près des vergers d'amandier au moment de la floraison.

## 8. Conclusion

On peut conclure que dans le gouvernorat de Mahdia l'amandier occupe une place très importante dans l'économie de la région. La réussite de cette culture peut être expliquée par l'association des deux variétés 'Achaak' et 'Porto farina'. Ces deux variétés ont une période de floraison voisine ce qui permet d'avoir une bonne pollinisation croisée. De plus, ces deux variétés enregistrent toujours les prix de vente les plus élevés sur le marché local. La plupart des agriculteurs confirment que la rentabilité de leurs vergers est très importante, surtout, si on la compare avec le coût de production qui est généralement faible. Malgré la satisfaction notée chez plusieurs agriculteurs, le système de production de l'amandier dans le gouvernorat de Mahdia est sujet à plusieurs contraintes qui se résument comme suit:

- la plupart des variétés utilisées sont à floraison précoce et par conséquent sont toujours sujettes aux aléas climatiques.
- la majorité des agriculteurs enquêtés sont âgés de plus de 60 ans, ceci menace l'avenir de cette culture puisque les jeunes ne sont pas intéressés par l'agriculture.
- l'apport des ruches d'abeilles au moment de la floraison n'est pas bien maîtrisé et même s'il est pratiqué, il s'agit d'une distribution aléatoire des ruches avec un nombre inférieur aux normes (4 à 5 ruches/ha).

- les traitements phytosanitaires sont négligés par bon nombre d'agriculteurs suite au manque de matériel de traitements.

- plusieurs plantations présentent des problèmes phytosanitaires et des symptômes d'attaque du *Crown gall*.

- la plupart des agriculteurs ne font aucun apport de fertilisant. Pour certains vergers, les apports se limitent à quelques apports irréguliers du fumier organique.

Ainsi, la situation de la culture de l'amandier dans le gouvernorat de Mahdia n'est pas critique. La préservation des ressources existantes et l'amélioration du système de conduite peut toujours se faire à conditions de:

- inciter et encourager les agriculteurs à respecter certaines techniques culturales moyennant un meilleur encadrement pour mieux gérer la situation du verger (choix et associations variétales, introduction de l'apiculture, *etc.*).
- assurer la multiplication de matériel performant et certifié pour atténuer l'évolution de certaines maladies graves.
- organiser les circuits de commercialisation pour assurer le bon écoulement du produit récolté (création de coopératives de services, associations de producteurs, valorisation du produit "amande" par un conditionnement attrayant et une diversification du produit fini, *etc.*).

## Références bibliographiques

- CRDA Mahdia (2011) : Commissariat Régional au Développement Agricole de Mahdia, *Rapport Annuel 2011*.
- El Gharbi A. (1974) : Note sur la sélection variétale et les maladies de l'amandier. *Document technique de l'INRAT, 11 pages.*

*Revue des Régions Arides n°37 (2/2015) ; pp :83-93*

- El Gharbi A., Kechaou M. et H. Triki (1984) : Influence de la pollinisation par les abeilles sur l'accroissement de la production d'amandier dans la collection d'Ettaous-Sfax. *Options Méditerranéennes*, N° 84/11, 1974.
- Gouta H., Mars M., Gouiaa M., Ghrab M., Zarrouk M. and A. Mliki (2011) : Genetic Diversity of Almond (*Prunus amygdalus* Batsch) in Tunisia: A morphological traits analysis. *Acta Horticulturae*, 912: 351-358.



## Valorisation des extraits de compost en fertigation hors sol des plants de pastèque

M'Sadak Youssef et Jelali Ramzi

Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel  
Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, Université de Sousse, Tunisie  
[msadak.youssef@yahoo.fr](mailto:msadak.youssef@yahoo.fr)

### ملخص :

إن الغرض الرئيسي من هذا العمل هو اختبار قدرة السماد المنتج محليا من الكتلة الحيوية من فضلات الأرانج وحدها أو مختلطة مع فضلات بعض النباتات، ومقارنة مختلف المستخلصات المتأتية منه ومحاولة لتحقيق أقصى قدر من نسبة التخفيف من المستخلصات المركزة عن وظيفة أفضل في التسميد بالري فوق سطح الأرض لبعض الخضروات. وفقا لهذه التجربة، يبدو واضحا أن مختلف المنتجات يمكن أن تستخدم كأسمدة لنباتات الدلاع. كما تبين، وفقا لأول اختبار، أن تكرير الطحن ليس ضروريا، لأن السماد المستخرج أعطى نتائج مماثلة للشاهد. وبالإضافة إلى ذلك، تجدر الإشارة إلى أن هذا المستخلص فعال بجرعات منخفضة. كما بين الاختبار الثاني أن التخفيف 200 ضعفا يعتبر نسبة مناسبة. وهكذا، فإن الفائدة في استغلال مستخرج السماد (كسماد طبيعي) يبدو واضحا كسماد عضوي سائل وخاصة مع الاتجاه الحالي نحو الأنشطة الزراعية البيولوجية.

كلمات مفاتيح : السلوك الحضري، السماد، استخراج، تخفيف، التسميد بالري فوق سطح الأرض، شتلات الدلاع

### Résumé

Le but essentiel de ce travail était de tester, après extraction, l'aptitude fertilisante des composts ou Co-composts, produits localement respectivement à partir de la biomasse cunicole seule ou en mélange avec du broyat multi végétaux, de comparer les divers extraits qui en sont issus et d'essayer d'optimiser le rapport de dilution des extraits concentrés obtenus pour un meilleur emploi en fertigation hors sol des plants maraîchers.

Selon l'expérimentation réalisée, il paraît évident que les différents produits testés pourraient être exploités comme fertilisant des plants de pastèque. En effet, on a montré, d'après un premier essai, que le broyage d'affinage n'est pas indispensable, étant donné que l'extrait du Tamisat de Co-Compost multivégétaux a donné des résultats comparables au témoin concernant les rendements en matières fraîche et sèche de la partie aérienne des plants. En outre, il est à signaler que cet extrait est efficace à faible dose. Le deuxième essai a dévoilé qu'une dilution de 200 fois constitue un rapport de dilution adéquat. Ainsi, l'intérêt de l'exploitation de l'extrait de compost (comme fertilisant naturel) paraît évident pour la fertilisation organique liquide (ou fertigation) surtout avec la tendance présente vers les pratiques agrobiologiques.

**Mots clés :** Comportement Végétatif, Compost, Dilution, Extraction, Fertigation Hors Sol, Plants de Pastèque.

### Summary

The main purpose of this study was to test, after extraction, fertilizing ability of compost or co-compost, locally produced respectively from only rabbit biomass or mixed with crushed multiplant, to compare the various extracts derived there from and try to optimize the ratio of dilution of concentrated extracts obtained for a better job in fertigation of vegetable plants above ground.

According to the experiments conducted, it seems obvious that the various products tested could be used as watermelon plants fertilizer. Indeed, it was shown from a first test that the crushing refining is not essential, as the extract from the underflow Co-Compost multiplant gave comparable results to the control about the fresh and dry matter yields of the aerial part of the plants. In addition, it should be noted that this extract is effective at low doses. The second test revealed that a 200-fold dilution is adequate dilution ratio. Thus, the interest of the operation of the compost extract (as natural fertilizer) seems obvious to the liquid organic fertilizer (or fertigation) especially with the current trend towards agrobiological practices.

**Keywords:** Vegetative Behavior, Compost, Dilution, Extraction, Fertigation Above Ground, Watermelon Plants.

### 1. Introduction

Avec l'accroissement démographique, et par suite, les besoins en produits agricoles, la fertilisation devient de plus en plus nécessaire afin d'améliorer le rendement des cultures.

Certes, la fertilisation commence à avoir des contraintes de plus en plus sévères surtout avec l'épuisement de certaines mines, l'augmentation des prix des engrais chimiques et leurs effets néfastes sur l'environnement (essentiellement sol et nappe phréatique).

Dans ce contexte, plusieurs travaux de recherche ont été réalisés dont certaines études ont montré l'intérêt du compostage pour la dépollution et la valorisation des déchets de l'élevage comme amendement organique et source d'humus pour les sols. En effet, le compostage est un processus de décomposition et de biodégradation de la matière organique, tant d'origine végétale que d'origine animale, par les micro-organismes en conditions aérobi-

ques. Ainsi, le compostage fournit un produit organique stable riche en composés humiques : le compost dont l'effet positif sur diverses cultures a été largement évoqué, notamment concernant le compost avicole (Znaïdi, 2002). En pépinière hors sol, les substrats de culture généralement utilisés ont un rôle de support, mais pas d'apport en éléments minéraux essentiels à la croissance des plants. Ces substrats ne sont pas riches en éléments nutritifs et ne peuvent pas assurer les besoins lors des différentes phases de croissance des plants. La fertilisation est parmi les principales techniques culturales incontournables pour améliorer la qualité et contrôler la croissance des plants en pépinière (Lamhamedi *et al*, 2006).

Dans ces circonstances, l'agriculture biologique s'est étendue tout en utilisant des produits fertilisants naturels. Ainsi, ce travail réalisé à l'Institut Supérieur Agronomique (I.S.A.) de Chott Mariem, Tunisie, s'intéresse à l'exploitation de l'extrait de compost

comme produit fertilisant biologique, particulièrement dans la production des plants maraîchers, tout en essayant d'optimiser entre autres le rapport de dilution de l'extrait con-centré. Dans cette optique, deux essais de fertigation ont été réalisés en vue de comparer respectivement quatre types d'extraits de compost cunicole ou de Co-compost issu des biomasses multivégétale et cunicole, selon les mêmes rapports d'extraction et de dilution et quatre rapports de dilution pour le même extrait, tout en considérant un témoin (sans fertigation) lors de chaque essai.

## **2. Matériel et Méthodes**

### **2.1. Matériel végétal**

Des semences de pastèque « Crimson Sweet » ont été achetées pour l'accomplissement de deux essais mis en œuvre concernant l'évaluation indirecte des extraits élaborés.

### **2.2. Autres Matériels**

Douze sacs perforés en plastique, douze récipients en plastique de volume unitaire 80 litres, une éprouvette graduée, multipots en plastique à 15 cavités chacun (dix pour le premier essai et douze pour le second), une règle, des bouteilles de 1,5 litres, de l'eau potable, du compost cunicole brut et des Co-composts multivégétaux respectivement à l'état brut, criblé et affiné ont été utilisés pour la réalisation des essais d'extraction et de valorisation des extraits produits.

### **2.3. Méthodes**

#### **2.3.1. Considérations générales**

Un extrait de compost (EC) est un mélange de compost et d'eau selon un rapport d'extraction de 1 : 5 à 1 : 10

(volume : volume) qui macère de 1 heure (h) à 2 semaines avant d'être filtré et appliqué sur les cultures. La solubilisation des éléments nutritifs du compost est l'objectif principal de la production de l'EC (Diver, 2002). L'EC diffère du «thé de compost» (Brinton *et al*, 1996) par l'absence de fermentation induite par l'ajout d'une source de carbone soluble (Scheuerell et Mahaffee, 2002). Les modes de fabrication des EC sont rassemblés en deux groupes. Les EC aérés sont ceux confectionnés à l'aide d'un système qui force de l'air dans le mélange. En opposition, les EC non aérés renvoient aux méthodes qui n'interviennent pas ou peu lors de la macération. Il est attrayant d'utiliser le mot «aérobie» ou «anaérobie» pour décrire les EC, néanmoins, il deviendrait difficile de mesurer les quantités d'oxygène (O<sub>2</sub>) présentes afin de les classer (Scheuerell et Mahaffee, 2002). Les EC contiennent plusieurs éléments majeurs et éléments traces en faible concentration. La teneur en éléments minéraux des EC est fortement corrélée à la teneur en éléments minéraux solubles du compost à partir duquel il est fabriqué (Biron, 2010). La caractérisation des éléments organiques solubles, contenus dans les EC, fera l'objet d'une autre investigation.

#### **2.3.2. Préparation des extraits de compost**

Quatre substrats à base de compost ou Co-compost ont été considérés : un Compost Cunicole Brut (CCB) composé de 100% fientes cunicoles, un Co-Compost Multi Végétaux Brut (CCMVB) formé de 30% fientes cunicoles et 70% broyat de déchets

Multi Végétaux, un Co-Compost Multi Végétaux Criblé à la maille 10 mm (CCMVC) et un Co-Compost Multi Végétaux Affiné (CCMVA). Ces deux derniers Co-Composts ayant la même composition que l'autre Co-Compost. Ces divers substrats ont été élaborés sur la plate-forme de compostage de la Société « Lapins du Sahel » à Ksibet Sousse, Sousse, Tunisie.

Pour chaque substrat, un volume de 10 litres a été placé dans un sac en toile et plongé dans un récipient contenant de l'eau de robinet (50 litres) pour avoir un rapport d'extraction 1 : 5. Trois répétitions ont été réalisées pour chaque traitement. On a laissé infuser (technique d'extraction par simple infusion) pendant trois semaines avec brassage quotidien (M'Sadak, 2005). Ainsi, on a obtenu les extraits concentrés de compost. Un échantillon moyen issu de chaque traitement (mélange des extraits de 3 répétitions) a été conservé : c'est l'extrait concentré de compost.

### **2.3.3. Germination et semis des graines de pastèque**

Les graines de pastèque ont subi une prégermination dans une étuve à une température de 30 °C pendant 72 heures. Puis, des conteneurs en plastique ont été remplis de tourbe humidifiée (substrat standard). Ainsi, on a semé les graines prégermées à raison de 15 plants par traitement distribués sur trois blocs. Il est à signaler que le dispositif expérimental adopté était un dispositif factoriel en blocs aléatoires complets pour les deux essais de fertigation mis en place en pépinière hors sol.

### **2.3.4. Irrigation des plants**

L'arrosage des plants a été manuel et biquotidien lors de chaque essai.

### **2.3.5. Fertigation des plants à l'extrait de compost**

Pour le premier essai, deux fertigations espacées d'une semaine ont été effectuées avec les quatre extraits concentrés (produits selon un même rapport d'extraction 1 : 5) correspondant aux quatre substrats étudiés, selon un même rapport de dilution de 1/150.

Pour le second essai, deux fertigations espacées également d'une semaine ont été menées avec uniquement l'extrait du compost cunicole brut (CCB) selon quatre rapports de dilution 1/50, 1/100, 1/150 et 1/200.

Pour chaque essai, un traitement témoin (sans fertigation) a été considéré.

### **2.3.6. Paramètres étudiés**

Pour la partie aérienne des plants, on a considéré les paramètres morphologiques ci-après.

-Matière fraîche (MF) en g.

-Matière sèche (MS) en g.

-Croissance en hauteur (CR) en cm.

### **2.3.7. Mesures des masses fraîche et sèche**

La partie aérienne des plants a été coupée et identifiée : la masse fraîche a été pesée moyennant une balance électronique de précision et enregistrée ; puis, elle a été mise dans une étuve à la température de 80 °C pendant 72 heures. Ensuite, la masse sèche a été déterminée et enregistrée.

### **2.3.8. Mesures de croissance des plants en hauteur**

Elles consistent à relever la distance entre les cotylédons et le bourgeon terminal pour chaque plant. Chaque fertigation a été précédée de mesures de croissance en hauteur. Vers la fin de chaque essai, une dernière mesure de la

croissance a été réalisée. On a retenu une seule mesure pour le premier essai et deux mesures pour le second.

### 2.3.9. Analyses statistiques des données recueillies

sous la forme moyenne  $\pm$  erreur standard à la moyenne (ESM). Les résultats obtenus ont subi l'analyse de la variance (ANOVA) et la comparaison des moyennes par le test de Duncan, grâce au logiciel SPSS. Les résultats relevés ont été présentés

(13.0). Les différences ont été considérées significatives au seuil de 5%.

## 3. Résultats

### 3.1. Essai 1 : Comparaison de quatre types d'extraits de compost ou Co-compost

Les résultats de l'essai 1 sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Résultats morphologiques relevés lors de l'essai 1

	MF	MS	CR
<b>Témoin</b>	10,69 $\pm$ 0,39 <sup>ab</sup>	1,23 $\pm$ 0,04 <sup>ab</sup>	10,70 $\pm$ 1,17 <sup>a</sup>
<b>Extrait CCB</b>	11,78 $\pm$ 0,32 <sup>a</sup>	1,35 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	11,33 $\pm$ 0,91 <sup>a</sup>
<b>Extrait CCMVB</b>	10,18 $\pm$ 0,42 <sup>b</sup>	1,16 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	9,33 $\pm$ 0,97 <sup>a</sup>
<b>Extrait CCMVC</b>	11,84 $\pm$ 0,36 <sup>a</sup>	1,24 $\pm$ 0,04 <sup>ab</sup>	12,16 $\pm$ 1,01 <sup>a</sup>
<b>Extrait CCMVA</b>	10,88 $\pm$ 0,44 <sup>ab</sup>	1,21 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>	9,33 $\pm$ 0,93 <sup>a</sup>

Les résultats sont présentés sous la forme moyenne  $\pm$  erreur standard à la moyenne (ESM). Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan à  $P < 0,05$ .

#### 3.1.1. Matières fraîche et sèche

L'analyse statistique a montré l'absence d'une différence significative concernant ces deux paramètres ( $P > 0,05$ ) comparativement avec le témoin, mais il paraît que le CCB à base de 100 % fientes cunicoles a montré légèrement une meilleure efficacité. Ceci est évident compte tenu de la richesse des excréments animaux en éléments minéraux par rapport aux déchets végétaux (Mustin, 1987 ; Peigné, 2001). En comparant les extraits issus des Co-composts brut (CCMVB) et traités physiquement (CCMVC et CCMVA), il n'y avait pas de différences majeures, d'où, la non nécessité du criblage ou du broyage d'affinage ; ce serait un gain d'énergie et de temps de faire l'extraction, dans l'avenir, en ayant recours à un compost ou Co-compost à l'état

brut. Une telle affirmation mérite d'être confirmée tant de point de vue caractérisation indirecte (comportement végétatif des plants produits) que de point de vue caractérisation directe (charge polluante et composition physico-chimique des extraits élaborés).

#### 3.1.2. Croissance des plants en hauteur

Selon l'analyse statistique, on n'a pas eu de différence significative entre les traitements comparativement au témoin concernant l'accroissement en hauteur. Ce résultat montre également que le broyage d'affinage n'est pas toujours justifié (même croissance relevée que le produit brut). Il suffit d'utiliser le compost brut pour l'extraction (le criblage a engendré un résultat meilleur

que le produit brut sans toutefois être statistiquement significatif).

En se basant sur les résultats préliminaires observés, on peut dire que les traitements physiques appliqués aux composts, utiles pour l'ajustement granulométrique des substrats de culture hors sol, ne sont pas pratiquement nécessaires pour la fabrication des

extraits de compost. Par ailleurs, une telle procédure (extraction du compost à l'état brut) engendre une réduction des matières en suspension, et par conséquent, un pouvoir polluant moindre et moins de risque de colmatage des organes d'arrosage (asperseurs ou goutteurs).

### 3.2. Essai 2 : Optimisation du rapport de dilution de l'extrait concentré

Les résultats de l'essai 2 sont relatés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats morphologiques relevés lors de l'essai 2

	MF	MS	CR1	CR2
<b>Témoin</b>	10,99 ± 0,33 <sup>a</sup>	1,28 ± 0,03 <sup>a</sup>	6,70 ± 0,34 <sup>ab</sup>	14,83 ± 0,72 <sup>a</sup>
<b>Dilution 1/50</b>	10,73 ± 0,59 <sup>a</sup>	1,26 ± 0,06 <sup>a</sup>	5,60 ± 0,41 <sup>b</sup>	16,53 ± 1,45 <sup>a</sup>
<b>Dilution 1/100</b>	10,65 ± 0,52 <sup>a</sup>	1,20 ± 0,04 <sup>a</sup>	5,73 ± 0,37 <sup>b</sup>	15,40 ± 1,31 <sup>a</sup>
<b>Dilution 1/150</b>	10,85 ± 0,39 <sup>a</sup>	1,25 ± 0,03 <sup>a</sup>	5,83 ± 0,55 <sup>b</sup>	16,93 ± 1,56 <sup>a</sup>
<b>Dilution 1/200</b>	11,48 ± 0,36 <sup>a</sup>	1,32 ± 0,03 <sup>a</sup>	7,70 ± 0,59 <sup>a</sup>	17,50 ± 1,33 <sup>a</sup>

Les résultats sont représentés sous la forme moyenne ± erreur standard à la moyenne (ESM). Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan à  $P < 0,05$ .

#### 3.2.1. Masses fraîche et sèche

Concernant ces deux paramètres, la différence était statistiquement non significative comparativement au témoin. On peut dire que la dilution de l'extrait concentré du compost cunicole brut n'a pas affecté les rendements en masses fraîche et sèche. Cependant, il convient de noter que le rapport de dilution 1/200 a montré une meilleure efficacité par rapport aux autres rapports de dilution et de même par rapport au témoin. Ce résultat semble fort intéressant de point de vue quantité à appliquer (moins d'extrait concentré de compost pour un bon rendement de biomasse aérienne des plants de pastèque).

#### 3.2.2. Croissance des plants en hauteur

L'analyse statistique montre l'inexistence d'une différence significative ( $P > 0,05$ ) entre les rapports de dilution testés comparativement au témoin pour ce paramètre aussi bien pour la mesure CR1 que pour la mesure CR2. En effet, le rapport de dilution 1/200 paraît également être le meilleur traitement (moins d'extrait concentré de compost pour une meilleure croissance en hauteur des plants de pastèque). Par ailleurs, le rapport de dilution 1/150, appliqué lors de l'essai 2, s'est montré intéressant par rapport au témoin surtout en fin de croissance (CR2).

L'étude entreprise par M'Sadak *et al* (2012), relative à d'autres plants

marâchers, a discerné que le rapport de dilution a un effet significatif sur la croissance en hauteur des plants de tomate, quoique, quelque soit le type d'extrait, le rapport de dilution 1/150 s'est avéré le meilleur pour la fertigation des plants considérés.

Il convient de recommander, lors des essais futurs, de bien choisir le moment d'application des fertigations (généralement deux à trois au maximum en pépinière maraichère) en tenant compte du stade physiologique des plants tout en faisant appel à un substrat de référence autre que la tourbe (certes stable biologiquement, mais chimiquement non inerte), à titre indicatif, la perlite pourrait constituer le substrat recherché.

#### 4. Conclusion

Selon l'expérimentation réalisée en pépinière maraichère (essais de fertigation 1 et 2), il paraît que l'extrait de compost cunicole (100% fientes) est plus efficace pour la fertigation des plants de pastèque que celui d'un Co-compost (30 % fientes et 70 % broyat multi végétaux), compte tenu particulièrement de la richesse du premier en éléments minéraux et fertilisants. De plus, les traitements physiques (criblage

ou broyage d'affinage) généralement appliqués aux composts pour l'amélioration de leur répartition granulométrique, ne se sont pas montrés efficaces lors de l'extraction des composts. En conséquence, il convient d'éviter, dans l'avenir, des telles pratiques et de se contenter d'une fabrication des extraits à base des substrats à l'état brut (en cas de confirmation ultérieure des résultats trouvés).

Par ailleurs, un rapport de dilution de l'extrait concentré de l'ordre de 1/200 semble être un rapport optimal pour une fertigation efficace des plants de pastèque. En effet, il y aurait un moindre risque de colmatage des asperseurs ou des goutteurs étant donné la présence limitée des matières en suspension. De plus, il faut signaler le moindre coût de fertigation grâce à la dilution appliquée (moindre quantité de l'extrait concentré).

Cependant, des travaux complémentaires sont nécessaires pour maîtriser la valorisation des composts produits à partir des fientes cunicoles avec ou sans incorporation des déchets multi végétaux broyés (élaboration des extraits pouvant être utilisés entre autres en fertigation).

#### Références bibliographiques

- Biron F. (2010) : *Effets des extraits de compost (EC) fortifiés sur la croissance du soya (Glycine max (L.) Merr.)*. Mémoire M. Sc., Université Laval, Canada- 130 p.
- Brinto W.F., Tränkner A. and Droffner M. (1996) : Investigations into liquid compost extracts. *BioCycle* 37: 6870.
- Diver S. (2002) : Notes on compost teas: A Supplement to the ATTRA Publication. Compost teas for plant disease control. Pest management Technical note. National center for appropriate technology (NCAT) a publication of ATTRA -

Youssef M'SADAK et Ramzi JELALI

- National sustainable agriculture information service. <http://www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/compost-tea-notes.pdf>
- Hacala S. (1999) : Le compost : mieux qu'un engrais de ferme. *Document ACTA, France*- 12 p.
  - Lamhamedi M.S., Fecteau B., Godin L., Gingras Ch., El Aini R., Gader Gh. et Zarrouk M.A. (2006) : Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Projet : ACIDI E4936-K061229. Direction Générale des Forêts, Tunisie et Pampev Internationale Ltée, Québec, Canada- 114 p. [mrn.gouv.qc.ca/.../forets/.../Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/.../forets/.../Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf)
  - M'Sadak Y., (2005) : Module Technologies de traitement et de valorisation de la biomasse. *Document d'appui* - 3<sup>ème</sup> Ing. GSH – I.S.A.- Chott Mariem, Tunisie- 51 p.
  - M'Sadak Y., Hmani E. et Bouzidi L. (2012) : Tentative d'optimisation des processus d'extraction et de dilution des solutions fertilisantes à partir des Co-composts pour la production hors sol des plants maraîchers. *e-Revue de génie industriel*. Numéro 8, 31 janvier 2012, pp. 87-92. <http://www.revue-genie-industriel.info/document.php?id=1640>
  - Mustin M. (1987) : Le compost - Gestion de la matière organique, *ed : François Dubusc, Paris, France* - 954 p.
  - Peigné J., 2001. Compostage et environnement. *Document INRA de Colmar, Franc* - 4 p.
  - Scheuerell S. and Mahaffee W., 2002. Compost tea: principles and prospects for plant disease control. *Compost Sci. Util.* 10: 313-338.
  - Znaïdi I., 2002. Etude et évaluation du compostage des différents types de matières organiques et des effets des jus de compost biologique sur les maladies de plantes. *Mémoire de Mastère : M.A.I. Bari, Italie*- 94 p.
- [www.rechercher.me/.../master-sur-le-compostage\\_pdf\\_807779...](http://www.rechercher.me/.../master-sur-le-compostage_pdf_807779...)

## Mécanismes adaptatifs d'une halophyte spontanée *Atriplex halimus* sous condition de stress salin et hydrique

Fatima Bouchenak<sup>1</sup>, Pascal Rey<sup>2</sup>, Patricia Henri<sup>2</sup>, Fatima Benrebaha<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> université saad dahlab de blida. faculté agro-vétérinaire. département d'agronomie. laboratoire de physiologie végétale. bp 270 route de soumaa. blida. algérie  
<sup>2</sup> cea, dsv, ibeb, sbvme, laboratoire d'écophysiologie moléculaire des plantes, 13108 saint-paul-lez-durance, cedex, France

Correspondant auteur : Fatima Bouchenak

E-Mail : [bouchenakfatima@yahoo.fr](mailto:bouchenakfatima@yahoo.fr)

ملخص

*Atriplex halimus* أو الوغل الملحي من النباتات المنتشرة على نطاق واسع في منطقة البحر الأبيض المتوسط. تمت دراسة تحمل الجفاف والاجهاد الملحي لأصناف من الرغل الملحي، صنف متواجد بالمنطقة شبه القاحلة في الجلفة وأصناف منتشرة بالمنطقة القاحلة في الأغواط. تعرضت هذه الاصناف للإجهاد الملحي نتيجة لتطبيق جرعات مختلفة من 300 مم كلوريد الصوديوم و 600 ملي لمدة 14 يوما. تمت دراسة تحمل الجفاف والاجهاد الملحي لصنفين من هذه النباتات وعلاقته بتراكم الأملاح العضوية مثل البرولين والأمونيوم الرباعية وبعض الانزيمات المضادة للأكسدة. وقد لوحظ أيضا مشاركة الانزيمات المضادة للأكسدة مثل الكاتالاز وميثيونين سلفوكسيد الانزيمات التي تساهم في إزالة السموم من الجذور والحد من أكسدة الهيثيونين خلال الأكسدة.

في 300 مم من كلوريد الصوديوم لوحظ تراكم الكثير من البرولين على شتلات منطقة الاغواط يفوق بكتير البرولين، البيتين جليكاين والصديوم. وقد سجلت هذه الاصناف نشاطا عال من الكاتالاز واختزال الميثيونين سلفوكسيد أكثر مما سجل لدى الاصناف المتواجدة بمنطقة جلفة.

من خلال هذه النتائج نفترض أن *osmolytes* والنظم المضادة للأكسدة التي ينطوي عليها الاجهاد الملحي تساهم في تحمل الاجهاد الملحي لدى الاصناف المتواجدة بالأغواط. تبين من خلال هذه الدراسة احتمال اختزال الثيول وتحمل الرغل المحلي لنسبة ملوحة عالية. ويظهر هذا العمل احتمال مساهمة الثيول في تحمل الوغل الملحي لملوحة عالية. كلمات البحث: *Atriplex halimus* رغل ملحي. الكاتالاز. ميثيونين سلفوكسيد اختزال. الإجهاد الملحي.

### Résumé

*Atriplex halimus* est une espèce xéro-halophyte répandue dans le bassin méditerranéen. La tolérance au stress hydrique et salin a été étudiée sur deux populations d'*Atriplex halimus*, une en provenance de la région semi-aride de Djelfa et l'autre population en provenance de la région aride de Laghouat. Les deux populations ont subi un stress hydrique appliqué par arrêt d'arrosage ou une application d'une solution de Polyéthylène glycol (PEG). Le stress salin est induit par l'application de différents doses de NaCl 300mM et 600mM pendant 14 jours. La tolérance au stress salin et hydrique des deux populations a été étudiée en relation avec l'accumulation de solutés organiques comme la proline et ammonium quaternaire et certaines enzymes antioxydantes. La participation des enzymes antioxydantes comme les catalases et méthionine sulfoxyde réductases enzymes qui participent respectivement à la détoxification des radicaux libres et la réduction des méthionines oxydés lors d'un stress oxydant a été également observée.

Fatima BOUCHENAK, Pascal REY, Patricia HENRI, Fatima BENREBIHA

A 300mM de NaCL, les plantules de Laghouat accumulent beaucoup plus de proline, glycine bétaine et Na<sup>+</sup>. Elles présentent une forte activité de la catalase et les méthionine sulfoxyde réductases (MsrA) que la population de Djelfa.

A partir de nos résultats, nous supposons que les osmolytes et les systèmes antioxydants participent à la tolérance au stress salin chez la population de Laghouat. Ces travaux montrent la participation probable des réductases à thiols dans la réponse d'*Atriplex halimus* à une forte salinité.

Mots clés : *Atriplex halimus*; Catalase; Methionine sulfoxide reductase; stress salin.

### Summary

*Atriplex halimus* is a xero-halophyte species widespread in the Mediterranean basin. Tolerance to drought and salt stress was studied in two populations of *Atriplex halimus*, one from of Djelfa semi-arid(Djelfa) and arid salin Laghouat. Water stress result from withholding watering or applying a solution of Polyethylenglycol (PEG).

Salt stress is induced by the application of different doses of 300 mM and 600 mM NaCl for 14 days. Tolerance to salt and drought stress in the two populations was studied in relation to the accumulation of organic solutes and the involvement of antioxidant enzymes such as catalase and methionine sulfoxide reductase enzymes respectively involved in detoxification of free radicals and repairing oxidized proteins during oxidative stress..

At 300 mM NaCl, Laghouat plant exhibit higher concentrations in Na<sup>+</sup>, proline , ammoniums quaternaires compounds and higher catalase activity than Djelfa plants. We then analysed the involvement of recently characterised plastidial thiol reductases methionine sulfoxyde reductase (MSRS). An increased abundance of plastidial MSRA and a higher total MSR activity were also noticed in Laghouat plants treated with 300 mM NaCl compared to Djelfa ones. We propose that mechanisms based on organic solutes and antioxidant enzymes like catalases, and MSRs party underlie the better tolerance of the Laghouat population to high salt..

Keywords: *Atriplex halimus*; Catalase; Methionine sulfoxide reductase; salt stress.

### 1-Introduction

La salinité du sol est un problème majeur qui réduit la productivité des plantes dans le monde entier Mahajan et Tuteja 2005; Paridas et Das, 2005). L'exposition à des fortes teneurs en sel est du principalement à un stress osmotique qui conduit à des dommages moléculaires et biochimiques et affectent le métabolisme cellulaire et le développement de la plante entière. Les plantes halophytes tolérantes au sel ont

développé des mécanismes d'adaptations comme la sécrétion d'ions à travers des structures glandulaires et le compartimentage des ions afin de limiter les effets toxiques des fortes concentrations en sel à l'intérieure des cellules (Flower al., 2010).

Les plantes accumulent également des solutés compatibles ou osmolytes tels que la proline (Reymond et Smirnoff 2002, glycine bétaine est un ammonium quaternaire dont le niveau dans les

cellules végétale est souvent corrélé avec le degré de tolérance des plantes au sel (Rhodes et Hanson, 1993), les sucres solubles (Tattini et al., 1996). Ces composés protègent les macromolécules et les structures cellulaires (Bohnert et Jensen, 1996). Une des conséquences des contraintes osmotiques comme la salinité élevée est une production accrue d'espèces réactives d'oxygènes (ROS). Le stress salin et hydrique perturbent le métabolisme chloroplastique ce qui déclenche la production de ROS (Smirnoff, 1993). Les niveaux élevés en ROS altèrent par oxydation les lipides membranaires, les protéines et les acides nucléiques (Smirnoff, 1993, Hernandez et al., 2001, Appel et Hirt 2004). Afin de minimiser le stress oxydatif les plantes ont développée un système antioxydant de nature enzymatique comme la superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT) et l'ascorbate peroxydase (APX) (Appel et Hirt 2004). L'augmentation de l'activité de ces enzymes est en relation avec la tolérance des plantes à la salinité (Demiral et Turkan, 2005). Chez les halophytes, la liaison entre l'activité de ces enzymes et la tolérance des plantes à la salinité et d'autres stress a fait l'objet de nombreuses discussions (Jithesh et al., 2006, Ksouri et al., 2007).

## 2. Matériels et Méthodes

### 2.1- Le matériel végétal

Le matériel végétal ayant fait l'objet de notre étude concerne des graines d'*Atriplex halimus* récoltées de la station d'El Mesrane (Wilaya de Djelfa) située à 300 Km au sud d'Alger et la région de Laghouat située à 400km. L'espèce utilisée est *Atriplex halimus*, plante de la famille des Amaranthaceae.

Les graines sont semées et mises en culture dans un phytotron soumis aux conditions suivantes : Intensité lumineuse de 250 moles photons.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, une photopériode de 12h, une température de 23°C le jour et 19 °C la nuit avec une humidité relative de 60/80% (jour/nuit). Après la levée des graines, les plantules sont transplantées dans des pots contenant de tourbe et de sable (1/1). Les pots sont arrosés avec une solution nutritive de Coic et Lesaint (1971) par un système de goutte à goutte. Au bout de 4 semaines, les plantes atteignent le stade 4 paires de feuilles, stade auquel la contrainte hydrique (arrêt d'arrosage pendant 14j ou arrosage avec du PEG 8000 à 20% pendant 14 jours) et salin arrosage avec une solution saline de 300 Mm et 600Mm de NaCl pendant 14j sont appliquées.

### 2.2- Mesures

#### 2.2.1- Croissance des plants en relation avec l'eau :

La croissance des plantes est mesurée par le poids frais et sec après passage à l'étuve à 80°C pendant 48h. Ce poids est déterminé en utilisant 15 plantes par traitement.

-Le potentiel osmotique  $\psi_s$  à turgescence maximale (osmomètre à pression de vapeur, WESCOR, 5500) a été mesuré sur la dernière paire de feuilles.

-Potentiel hydrique est mesuré par la méthode de Scholander et al., 1965

-teneur relative en eau (Weatherley, 1970) a été calculé selon l'équation suivante :  $CRE = (PF - PS) / (PT - PS) \times 100$  où PF est le poids frais, et PT le poids à la turgescence. PS est déterminé après passage à l'étuve pendant 48h à 80°C

Le potentiel osmotique et le contenu relatif en eau ont été mesurés entre 12h et 14h.

### 2.2.2-Analyses physiologiques

Les teneurs en composés organiques susceptibles d'intervenir dans le processus d'ajustement osmotique ont été dosés comme :

Les sucres totaux par la méthode d'Anthrone (Yemne et Willis,1954)

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesly (1955) simplifiée et mise au point par Dreier et Goring (1974)

Dosage des composés ammoniums quaternaires Grieve et Grattan (1983)

Le dosage des cations Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>:Après séchage à l'étuve à 70°C pendant 16 heures, 200mg de matière sèche sont broyés et incinérés à 450°C pendant 4heures au four à moufle. Après refroidissement, 2 ml de HNO<sub>3</sub>/capsule sont ajoutés puis on remet au four pendant 1 heure. La cendre obtenue est dissoute dans 3 ml d'HCl (6N) puis filtrée et le volume est amené à 100 ml. A partir de cette solution, les dosages de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> sont effectués par spectrophotométrie de flamme à absorption atomique(Horiba Jobin Yvon).

### 2.2.3-Analyse de l'activité des enzymes anti-oxydantes : catalase et MSR

Extraction des enzymes. Deux cents milligrammes de feuilles sont broyées dans l'azote liquide et homogénéisées dans 1ml de tampon 50Mm Tris-HCl (pH 8,0), en présence de 1mM PMSF. Après centrifugation, (16,000xg, 20mM,4°C) le surnageant est utilisé pour la détermination de la teneur en protéines solubles totales ainsi que

l'activité de la catalase (CAT, EC 1.11.1.6)

Dosage des protéines solubles totales. Les protéines solubles sont dosées selon la méthode de bicinchoninic acid (BC Assay Reagent, Interchim, Montluçon, France). La teneur en protéines (mg.g<sup>-1</sup> poids frais) est déterminée par référence à une gamme étalon préparée à partir d'une solution contenant le réactif Acide bicinchoninique.

Mesure de l'activité enzymatique. L'activité CAT est mesurée selon la méthode d'Aebi (1984) en suivant la diminution de l'absorbance du milieu réactionnel (50Mm de tampon potassium phosphate pH 7 ,10Mm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(Sigma Aldrich)+100µg de protéines foliaires) à 240 nm pendant 2 min, après addition de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La quantité de CAT est calculée sur la base du coefficient d'extinction molaire S = 40 mM<sup>-1</sup>.cm<sup>-1</sup>.

Mesure de l'activité des MSR par HPLC : L'activité des MSR des extraits de feuilles a été dosée en recherchant la réduction d'un substrat synthétique le Dabsyl-Metso en présence du DTE (Laugier et al., 2010).

### 2.2.4-Extraction et Séparation des protéines solubles chloroplastiques (Msr) par électrophorèse SDS-PAGE (Laemmli UK,1970).

### 2.3Analyses statistiques

Les données expérimentales sont soumises à une analyses de la variance à deux facteurs (analyse factorielle) et au test de comparaison multiples de Student's t-test (Sigma-Stat).

### 3-Résultats

#### 3.1-Description de la localité des deux populations d'*Atriplex halimus*

Les deux populations d'*Atriplex halimus* ont été récolté dans deux

régions d'Algérie, la région de Djelfa et Laghouat. Ces 2populations se distinguent par leurs caractéristiques climatiques et le type de sols. Tableau 1

Tableau 1 : Caractéristiques climatiques et types de sol des 2 régions :Djelfa et Laghouat

Localisation	Temp moy	Pluv moy	Hum moy	Conductivité électrique
Géographique	Annuelle	Annuelle	Annuelle	
Djelfa	28°C	307 mm	56 %	3.32 ± 0,40 deciSiemens.m <sup>-1</sup>
Laghouat	24°C	145 mm	40 %	8.20 ± 1,30 deciSiemens.m <sup>-1</sup>

Les moyennes annuelles d'humidité, de températures et de pluviométrie ont été calculées à partir de moyennes de 3 années consécutives : 2007, 2008 et 2009 obtenus par les stations bioclimatologiques des deux régions. La conductivités électrique est mesurée à partir des sols des deux régions en suivant le protocole de Richards (1954) . Les valeurs représentées sont la moyennes de 10 valeurs indépendantes La région de Djelfa est caractérisée par un climat semi-aride avec une moyenne annuelle de température et pluviométrie de 28°C et 307mm respectivement, par contre la conductivité électrique est de 3,32 déciSiemens.m<sup>-1</sup>. La région de Laghouat est caractérisées par un niveau de salinité très fort du sol (8,2déciSiemens.m<sup>-1</sup>) dont la pluviométrie est moins importante que la région de Djelfa (145mm).Les populations d'*Atriplex halimus* issues de cette régions vivent dans un environnement fortement salin.

#### 3.2-Effets d'un déficit hydrique, du PEG et une forte salinité sur la crois-

#### sance, le statut hydrique, les concentrations d'ions

Nous avons étudié les effets du stress hydrique sur les 2 populations d'*Atriplex* cultivées dans les conditions de phytotron. Sous conditions de contrôle les plantules en provenance de la régions de Djelfa et Laghouat présentent un poids frais , poids sec et un contenu relatif en eau similaire (tableau 2) . Sous conditions de stress hydrique par arrêt d'arrosage pendant 14jours ou un arrosage avec une solution de PEG 8000 à 20% une réduction significative de la croissance des plantes a été observé. Tableau3. Cependant nous avons analysé les effets d'une forte salinité (300Mm et 600Mm),sous condition de contrôle les deux populations présentent un même poids frais et sec (tableau4). Après une exposition à300Mm de NaCl, la croissance des plantes des 2 populations diminue de façon significative, cette diminution est plus accentuée chez Djelfa que Laghouat. La réduction du poids frais et poids sec à était respectivement de 55% et 30% chez

Fatima BOUCHENAK, Pascal REY, Patricia HENRI, Fatima BENREBIHA

Laghouat et Djelfa. A 600Mm cette réduction de la croissance est de 74% chez Djelfa et 40% chez Laghouat.

Pour le statut hydrique, les deux populations montrent une même valeur de potentiel hydrique et osmotique (tableau5) avec une même croissance. Les plantules quant elles sont exposées à 300Mm de NaCl il y a une diminution significative du potentiel hydrique et osmotique chez Laghouat par rapport à Djelfa. A 600Mm le potentiel hydrique et osmotique diminuent encore plus avec une valeur

significative du potentiel osmotique particulièrement chez Laghouat (tableau5).

Nous avons également mesuré la concentration en ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> chez les 2 populations. Les ions K<sup>+</sup> Leurs concentrations est la même sous condition témoin et stressé chez la population Laghouat. Par contre Na<sup>+</sup> les plantules de Laghouat exposée à 600Mm exhibent une quantité plus élevée en Na<sup>+</sup> que Djelfa respectivement 1,5mmol.g<sup>-1</sup> de PS chez Laghouat et 1mmol.g<sup>-1</sup> chez Djelfa(tableau6).

Tableau 2 : Effet d'un déficit hydrique sur le poids frais, le poids sec et a teneur relative en eau des deux population d'Atriplex halimus. Les plantules âgées de 4 semaines ont subit un arrêt d'arrosage de 14jours. les valeurs représentent les moyennes obtenues sur 15 plants par traitement et par populations.

Population	Traitements		
	PF (g)	PS (g)	TRE (%)
<b>Control</b>			
<b>Djelfa</b>	2.31 ± 0.22	0.26 ± 0.01	84.7 ± 2.8
<b>Laghouat</b>	2.61 ± 0.20*	0.25 ± 0.02	83.0 ± 6.4
<b>Déficit hydrique</b>			
<b>Djelfa</b>	0.77 ± 0.14	0.11 ± 0.04	58.4 ± 2.0
<b>Laghouat</b>	0.90 ± 0.18	0.15 ± 0.04	61.0 ± 4.2

Tableau 3 : Effet d'un traitement par le PEG 20% sur le poids frais ,le poids sec et la teneur relative en eau des deux populations

Traitements		Populations		
		PF (g)	PS (g)	TRE (%)
<b>Control</b>				
	Djelfa	2.38 ± 0.23	0.19 ± 0.02	85.8 ± 1.7
	Laghouat	2.20 ± 0.25	0.23 ± 0.05	86.4 ± 1.6
<b>PEG 20%</b>				
	Djelfa	0.51 ± 0.09	0.07 ± 0.01	71.5 ± 0.9
	Laghouat	0.59 ± 0.10	0.08 ± 0.01	73.6 ± 2.4

Les plantules âgées de 4 semaines ont subi un arrosage avec une solution de 20% de PEG 8000 pendant 14 jours. Les valeurs représentent les moyennes obtenues sur 15 plants par traitement et par populations. L'expérience a été refaite deux fois .

Tableau 4 : Effet d'un NaCL sur le poids frais, poids sec et le contenu relatif en eau des deux population d'Atriplex halimus. Chaque valeur représente la moyenne de 5 mesures indépendantes

Traitements	expérience 1		Expérience 2		
	PF (g)	PS (g)	PF (g)	PS (g)	
<b>Control</b>					
	Djelfa	3.44 ± 0.51	0.62 ± 0.14	3.95 ± 0.58	0.64 ± 0.18
	Laghouat	3.87 ± 0.43	0.60 ± 0.05	4.41 ± 0.62	0.67 ± 0.08
<b>NaCl 300mM</b>					
	Djelfa	2.41 ± 0.17	0.28 ± 0.07	2.60 ± 0.16	0.40 ± 0.10
	Laghouat	2.95 ± 0.25***	0.42 ± 0.07**	3.44 ± 0.67*	0.56 ± 0.07**
<b>NaCl 600mM</b>					
	Djelfa	1.34 ± 0.56	0.16 ± 0.03	2.01 ± 0.22	0.28 ± 0.04
	Laghouat	2.01 ± 0.53	0.40 ± 0.13***	2.86 ± 0.42***	0.40 ± 0.08**

\*\* Valeurs de Laghouat significativement différentes de celles de Djelfa Significatif au seuil de 1%

\*\*\* Valeurs de Laghouat significativement différentes de celles de Djelfa Significatif au seuil de 0,1%

Les plantules âgées de 4 semaines ont subi un arrêt d'arrosage de 14 jours. les valeurs représentent les moyennes obtenues sur 15 plants par traitement et par populations. L'expérience a été refaite deux fois.

Tableau 5 : Effet du stress salin sur l'accumulation de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> au niveau des feuilles des 2 populations d'*Atriplex halimus* Chaque valeur représente la moyenne de 5 mesures indépendantes

Traitements Populations	Na <sup>+</sup> (μmol.g <sup>-1</sup> PS)	K <sup>+</sup> (μmol.g <sup>-1</sup> PS)
<b>Control</b>		
Djelfa	98 ± 3	1195 ± 34
Laghouat	104 ± 3	1087 ± 71**
<b>NaCl 300mM</b>		
Djelfa	706 ± 17	1018 ± 94
Laghouat	921 ± 47***	912 ± 41*
<b>NaCl 600mM</b>		
Djelfa	998 ± 25	713 ± 62
Laghouat	1479 ± 91***	652 ± 50

\*Valeurs de Laghouat significativement différentes de celles de Djelfa au seuil de 5% (p<0,05) (t-test)

\*\* Valeurs de Laghouat significativement différentes de celles de Djelfa Significatif au seuil de 1% (p<0,01)

\*\*\* Valeurs de Laghouat significativement différentes de celles de Djelfa Significatif au seuil de 0,1% (p<0,001)

Tableau 6 : Potentiel hydrique et osmotique des feuilles des 2 populations d'*Atriplex halimus*

Traitements Populations	Potentiel hydrique (ψ <sub>w</sub> ) MPa	Potentiel osmotique (ψ <sub>s</sub> ) MPa
<b>Control</b>		
Djelfa	-0.50 ± 0.01	-1.35 ± 0.09
Laghouat	-0.49 ± 0.03	-1.33 ± 0.11
<b>Déficit hydrique</b>		
Djelfa	-0.82 ± 0.02	-1.76 ± 0.07
Laghouat	-0.79 ± 0.02	-1.75 ± 0.11
<b>NaCl 300mM</b>		
Djelfa	-0.90 ± 0.02	-3.45 ± 0.05
Laghouat	-0.86 ± 0.03	-4.25 ± 0.06***
<b>NaCl 600mM</b>		
Djelfa	-1.15 ± 0.04	-7.17 ± 0.08
Laghouat	-1.49 ± 0.06***	-8.15 ± 0.08***

A l'issue de 14 jours de traitement par arrêt d'arrosage pour le déficit hydrique et arrosage avec une solution saline à 300mM et 600mM de NaCl. Chaque

valeur représente la moyenne de 5 mesures indépendantes.\*\*\* les valeur sont significativement différente au seuil de 0, 1% (p<0,001) t-test.

### 3.3- Effets d'un stress salin et hydrique sur l'accumulation des solutés organiques

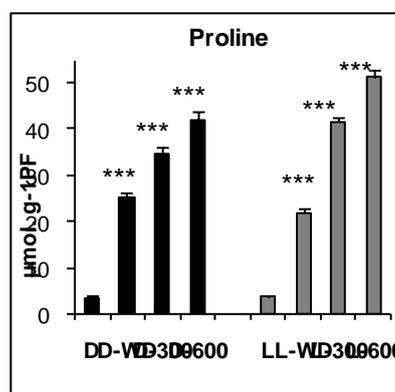
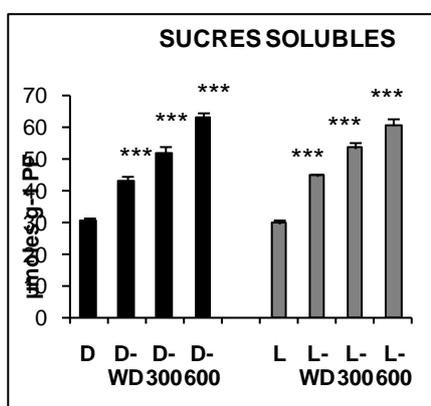
La figure A montre que la réduction de fréquence d'arrosage des plantes induit une augmentation des sucres solubles chez les 2 populations. Elle augmente respectivement de 30 et 45  $\mu\text{moles g}$  de PF chez les deux populations. Après un traitement au NaCl les plantules des deux populations accumulent une concentration élevée en sucres solubles totaux (52 et 61  $\mu\text{moles g}$  de PF après un traitement respectif à 300mM et 600mM de NaCl. Nos données statistiques ne révèlent aucune différence significative entre les traitements.(fig 1A).

La réduction d'arrosage des plantules d'*Atriplex halimus* induit une augmentation significative de la teneur en proline des feuilles chez les deux populations. Cette augmentation est plus marquée chez la population de Djelfa que Laghouat, cette concen-

tration est respectivement de 25,5 et 21,9  $\mu\text{moles g}$  de poids frais. Figure 1 B Le traitement au NaCl une augmentation très hautement significative de la proline chez les 2 populations. Cette augmentation est plus marquée chez Laghouat que Djelfa. A 300mM de NaCl, elle est respectivement de 41,7 et 34,8  $\mu\text{moles g}$  de poids frais ;

Après un arrêt d'arrosage des plantules des deux populations d'*Atriplex halimus* de 14 jours, on remarque une accumulation de la glycine betaine (ammonium quaternaire). Cette dernière est 3 fois plus importante chez les plantules stressées. Cette augmentation est beaucoup plus marquée chez la population de Laghouat après un traitement au NaCl à 300mM et 600mM (figure 1C). Elle est respectivement de 5,1 et 6,0  $\mu\text{moles g}$  de Poids frais.

Ces résultats indiquent que la population de Laghouat accumule beaucoup plus de proline, d'ammonium quaternaire que la population de Djelfa suite à un traitement salin.



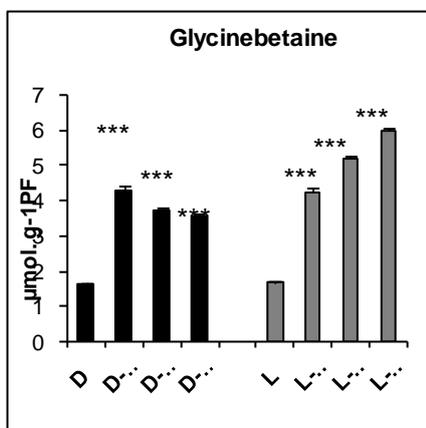


Figure 1 Effets d'un stress salin et hydrique sur l'accumulation des sucres solubles totaux (A), proline(B) et glycine bétaine (B) D, témoin djelfa, L, témoin Laghouat ;D-WD, stress hydrique Djelfa ;L-DW, stress hydrique Laghouat ;D-300,D-600mM de NaCl, plantes de Djelfa traitées à 300,600mM de NaCl ;L 300,600Mm, plantes de Laghouat traitées à 300,600mM de NaCl .Chaque valeur représente la moyenne de 5 mesures indépendantes.\*\*\* les valeur sont significativement différente au seuil de 0,1% (p<0,001) t-test

### 3.4-Mesures de l'abondance des MSRs par électrophorèse SDS-PAGE

Les protéines Msr sont connues comme des enzymes qui réparent les méthionines oxydées. Elles jouent un rôle très important dans la réponse des plantes aux contraintes environnementales (Laugier et al.,2010).L'abondance des Msr plastidiales a été étudiée chez les deux populations d'Ah en utilisant des anticorps primaires dirigés contre elles. Pour la MsrB1 nous avons utilisé anticorps primaire d'*Arabidopsis thaliana* (I77LZ), il nous a permis de révéler la bande à 17KDa (figure 2) pour la MsrB2 ,anticorps primaire du peuplier (MC77), nous a permis de révéler la bande à 15KDa (figure A).L'anticorps anti MsrA4 révèle deux bandes (une forme oxyde et une forme

réduite) vers 25KDa chez *Atriplex halimus* comme chez *Arabidopsis thaliana*, (Viera Dos santos et al.,2005). Dans les conditions de stress hydrique, l'intensité des bandes ne varie pas chez les 2 populations. A 600Mm de NaCl une variation de la MsrB1 chez les 2 populations, une légère variation de la MsrA4 a été observé chez la population de Laghouat a 300Mm,en parallèle nous avons étudié l'activité des MSRs chez les deux populations.

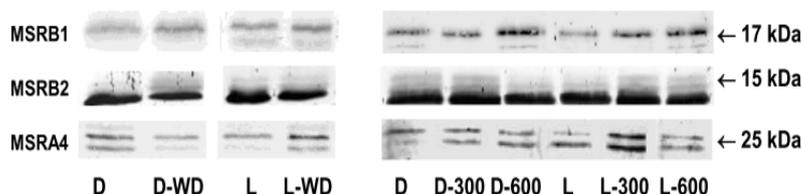
### 3.5-Mesures des activités enzymatiques

#### 3.5.1-Activité des MSRs par HPLC

L'activité des MSR des extraits de feuilles a été dosée en recherchant la réduction d'un substrat synthétique le

Dabsyl-Metso en présence du DTE (Laugier et al., 2010). Chez les plantules d'Atriplex, en condition témoin l'activité totale des MSR est de 50 pmoles Met mg prot<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>. (figure 3). Cette valeur est comparable aux valeurs trouvées chez *Arabidopsis thaliana* (Laugier et al., 2010). après un déficit hydrique et un stress salin aucune différence significative d'activité des MSR n'a été observé chez la population de Djelfa, cependant chez Laghouat, sous condition de déficit hydrique il y a une diminution

significative de cette activité, 50 pmoles Met mg prot<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> chez les témoins contre 32 pmoles Met mg prot<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> (figure 3A). Au contraire sous condition de forte salinité (300Mm de NaCl), les plantules issues de la population de Laghouat présente une forte activité des Msr (59 pour les stressées contre 44,5 pmoles Met mg prot<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> chez les témoins (p<0,01 t-test). (Figure 3B). Ces résultats montrent clairement une réponse différentielle des deux populations concernant leur activité des MSR.



**Figure 2** : Immunodetection sur membrane des protéines plastidiales, MsrB1, MsrB2, MsrA4 dans les extraits de feuilles des plantes témoins et plantes stressées feuilles des 2 populations d'Atriplex halimus des D, témoin djelfa, L, témoin Laghouat ;D-WD, stress hydrique Djelfa ;L-DW, stress hydrique Laghouat ;D-300, D-600mM de NaCl, plantes de Djelfa traitées à 300, 600mM de NaCl ;L-300, 600Mm, plantes de Laghouat traitées à 300, 600mM de NaCl. Des western blot similaires ont été obtenus sur 3 expériences indépendantes

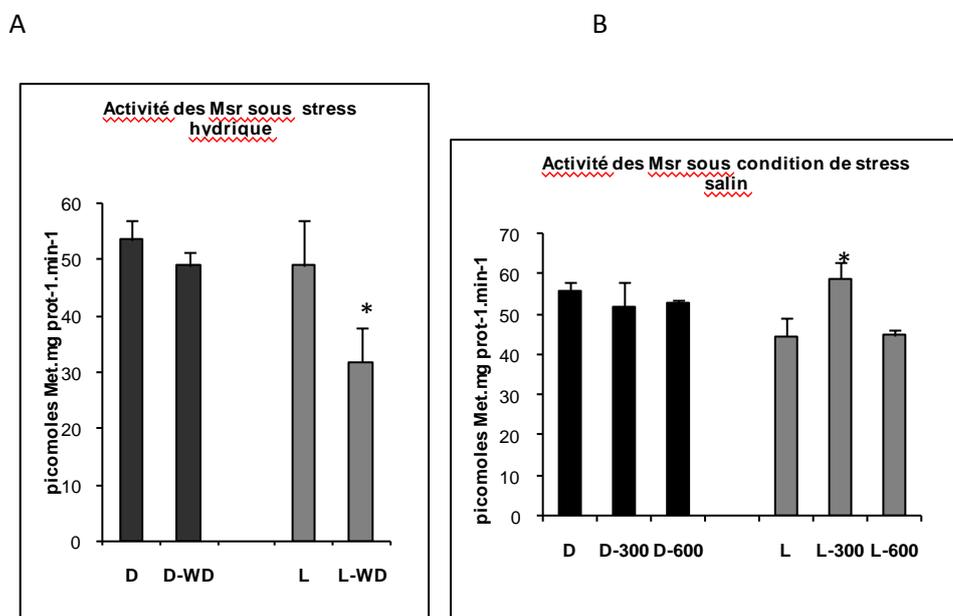
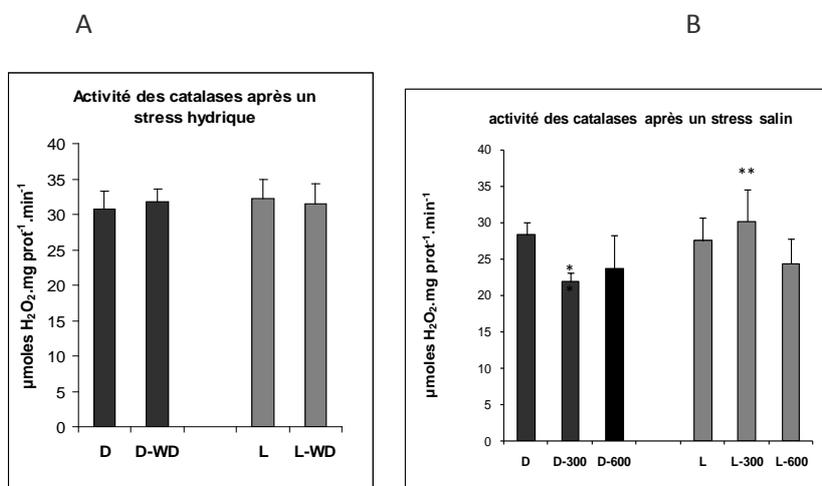


Figure 3 Effet du stress hydrique (A) et stress salin(B) sur les activités des Methionines sulfoxydes réductases (Msr) au niveau feuilles des 2 populations d’Atriplex halimus D, témoin dejlfa, L , témoin Laghouat ;D-WD, stress hydrique Djelfa ;L-DW , stress hydrique Laghouat ;D-300,D-600mM de NaCl, plantes de Djelfa traitées à 300,600mM de Nacl ;L 300,600Mm , plantes de Laghouat traitées à 300,600mM de Nacl .Chaque valeur représente la moyenne de 5 mesures indépendantes.\* les valeur sont significativement différentes au seuil de 5% (p<0,0 5) t-test.

### 3.5.2-Activité des Catalases

L’activité des catalases des extraits de feuilles a été mesurées par spectrophotométrie en mesurant la quantité de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> consommées à 240nm par les protéines solubles des extraits de plantes.

En conditions témoins et stress hydrique les 2 populations d’Atriplex présentent une même activité des catalases (28μmoles H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mg Prot<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>)(Figure4A ).



**Figure 4 :** Effets du stress hydrique (A) et salin(B) sur l'activité des catalases ( $\mu\text{moles H}_2\text{O}_2.\text{mg prot}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) au niveau des extraits de feuilles des deux populations d'*Atriplex halimus* :D,témoin djelfa, L , témoin Laghouat ;D-WD, stress hydrique Djelfa ;L-DW , stress hydrique Laghouat ;D-300,D-600mM de NaCl, plantes de Djelfa traitées à 300,600mM de NaCl ;L 300,600Mm , plantes de Laghouat traitées à 300,600mM de NaCl .Chaque valeur représente la moyenne de 5 mesures indépendantes.

\*valeur significativement différente au seuil de 5% ( $p < 0,05$ ) (t-test

\*\* valeur significativement différente au seuil de 1% ( $p < 0,01$ ) t-test

Après un traitement au NaCl 300 Mm, les plantules issues de la région de Djelfa montrent une réduction de leur activité catalase de 23% par rapport au témoin, par contre chez les plantules de Laghouat exposées à 300Mm de NaCl montrent une activité de la catalase significativement différente par rapport au témoin. Ces résultats montrent une réponse différentielle des deux populations concernant leur activité des catalases.(Figure 4B).

#### 4 -Conclusion

La tolérance au stress hydrique et salin a été étudiée sur deux populations d'*Atriplex halimus*, une en provenance de la région de Djelfa (étage bioclimatique semi-aride) et l'autre

population en provenance de la région de Laghouat (étage bioclimatique aride).Cependant aucune différence significative a été observée entre les deux populations quand elles sont soumises à un déficit hydrique ou un traitement avec du PEG 8000.

Le traitement par du NaCl induit chez la population de Laghouat une réponse différentielle. La concentration élevée en Na<sup>+</sup> chez les plantules de Laghouat en provenance d'une région aride. Cette accumulation des ions Na<sup>+</sup> est due à un maintien du potentiel osmotique bas et ainsi le Na<sup>+</sup>pourrait contribuer au maintien de l'ajustement osmotique, nos résultats concordent avec ceux de Benhassine et al., 2008.

Fatima BOUCHENAK, Pascal REY, Patricia HENRI, Fatima BENREBIHA

Les solutés organiques comme les sucres solubles, la proline, les ammonium quaternaire sont connus comme osmoregulateurs présents chez les halophytes (Bohnert et Jensen,1996) et *Atriplex halimus* (Ben hassine et al., 2008 ,. En accord avec ces chercheurs nos résultats indiquent que les deux populations accumulent ces solutés en conditions de stress hydrique et salin par rapport au témoin. La population de Laghouat accumule beaucoup plus de glycine betaine et proline en condition de stress salin pour son ajustement osmotique.

En ce qui concerne l'activité anti-oxydante, la participation des thiols réductase (MSRs) et des Catalases dans la réponse des halophytes sous condition de stress oxydant a été étudié. Les résultats obtenus indiquent que les deux populations accumulent ces protéines et présentent une activité des

MSr et des catalases notamment chez la population de Laghouat traitée à 300Mm de NaCl. Beaucoup de travaux ont montré que ces systèmes antioxydant participent à la tolérance des plantes (Laugier et al.,2010 ,Guo et al.,2009).

Les résultats présentés dans le cadre de cette étude suggèrent qu'une Réponse différentielle des deux populations d'*Atriplex halimus* est en fonction de leur habitat. La population de Laghouat est plus tolérante à la salinité.

A partir de nos résultats, nous supposons que les osmolytes et les systèmes antioxydants participent à la tolérance au stress salin chez cette population de Laghouat.

Ces travaux montrent la participation probable des réductases à thiols dans la réponse d'*Atriplex halimus* à une forte salinité.

## Références bibliographiques

- Aebi H. (1984) : Catalase in vitro. *Methods Enzymol* .**105**:121–6.
- Alscher RG, Donahue JL, Cramer CL. 1997.Reactive oxygen species and antioxidants: relationships in green cells. *Physiol Plant*.**100**:224–33.
- Apel K, Hirt H. (2004) : Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Ann Rev Plant Biol*.**55**:373–99.
- Bates LS, Waldren RP, Teare ID. (1973) : Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant & Soil*.**39**:205–7.
- Ben Hassine A, Ghanem MH, Bouzid S, Lutts S. (2008) : An inland and a coastal population of theMediterranean xero-halophyte species *Atriplex halimus* L. differ in their ability to accumulate proline and glycine betaine in response to salinity and water stress. *J Exp Bot*.**59**:1315- 20
- Bohnert HJ, Jensen RG. (1996) : Strategies for engineering water stress tolerance in plants. *Trends Biotech*.**14**:89–97.
- Coic Y, Lesaint C. (1971) : Comment assurer une bonne nutrition en eau et ions Minéraux en horticulture. *Horticulture française*, 8 : 11-4.

- Demiral T, Turkan I. (2005) : Comparative lipid peroxidation, antioxidant systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environ Exp Bot*; **53**:247–57.
- Flowers TJ, Galal HK, Lindell B. (2010) : Evolution of halophyte: Multiple origins of salt tolerance in land plants. *Funct Plant Biol*. **37**:604-12.
- Grieve CM, Grattan SR. (1983) : Rapid assay for determination of water soluble quaternary amino compounds. *Plant and Soil*, **70**,303-7.
- Guo X, Wu Y, Wang Y, Chen Y, Chu C. (2009) : OsMSRA4.1 and OsMSRB1., two rice plastidial methionine sulfoxide isoforms, are involved in abiotic stress responses. *Planta*, **230**:227-38
- Hernandez JA, Ferrer MA, Jimenez, A Ros-Barcelo, A Sevilla F. (2001) : Antioxidant systems and O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production with NaCl-induced necrotic lesions in minor veins. *Plant Physiol*, **127**,817–31
- Ksouri R, Megdiche W, Debez A, Falleh H, Grignon C, Abdelly C. (2007) : Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant Physiol Biochem*, **45**,244-9.
- Laugier E, Tarrago L, Vieira Dos Santos C, Eymery F, Havaux M, Rey P. (2010) : Arabidopsis thaliana plastidial methionine sulfoxide reductases B, MSRBs, account for most leaf peptide MSR activity and are essential for growth under environmental constraints through a role in the preservation of photosystem antennae. *Plant J*, **61**,271–82.
- Mahajan S, Tuleja N. (2005) : Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Arch Biochem Biophys*, **444**,139-58.
- Paridas AK, Das AB. (2005) : Salt tolerance and salinity effects on plants. *Ecotox Environ Safety*, **60**,324–49.
- Raymond MJ, Smirnov N. (2002) : Proline metabolism and transport in maize seedlings at low water potential. *Ann Bot*, **89**,813–23.
- Rhodes D, Hanson AD.(1993) : Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, **44**,357-84.  
20
- Richards LA. (1954):Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Dept. Agr.Handbook,
- Smirnov N.(1993) : The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytol* , **125**,27-58.
- Tattini M, Gucci R, Romani A, Baldi A, Everard JD.(1996) :Changes in non-structural carbohydrates in olive (*Olea europea*) leaves during root zone salinity stress. *Physiol Plant* , **98**,117–24.
- Vieira Dos Santos C, Cuiñé S, Rouhier N, Rey P. (2005) :The Arabidopsis plastidic methionine sulfoxide reductases B proteins: sequence and activity characteristics, comparison of the expression with plastidic methionine sulfoxide reductase A and induction by photooxidative stress. *Plant Physiol* **138**,909-22.

*Fatima BOUCHENAK, Pascal REY, Patricia HENRI, Fatima BENREBIHA*

- Weatherley P.E. (1970) : Some aspects of water relations of plants cell. *Advances in botanical research*, **3**,171-206
- Yemm EW, Willis J. (1954) : The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochem J* ,**57**,508–14.

## Comportement de différents sols emblavés de maïs fourrager sous l'effet de la salinité combiné aux effets du changement climatique: Approche bio-économique

Mlaouhi Saida<sup>1</sup>; Boujelben Abdelhamid<sup>2</sup>; Elloumi Mohamed<sup>1</sup> et Hchicha Mohamed<sup>3</sup>

1 Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie

2 Institut Supérieur Agronomique de Chott Meriem

3 Institut National de la Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts

في نطاق شامل للزراعة المستدامة والحفاظ على التربة من التملح بالأراضي المروية، اعتمدنا في هذا العمل مقاربة بيواقتصادية متمثلة في اقتران نموذج بيوفيزيائي مع نموذج اقتصادي لدراسة التأثيرات الناجمة عن التملح وتغير المناخ على التربة ومحصول الذرة العلفية المزروعة في الأراضي المروية المتواجدة في الوادي السفلي لمجردة. لهذا أجرينا جردا للمزارع المتواجدة في هذه المنطقة، وتم اختيار ستة مزارع تنتمي إلى 6 مجموعات مختلفة باستخدام أداة إحصائية تقوم على تحليل المكونات الأساسية. وتم بناء ستة نماذج بيوفيزيائية فردية لهذه المزارع وتم اقترانها بالنماذج الاقتصادية لكل منها. أظهرت الدراسة أن معدل ملوحة التربة لثلاث مزارع من بين هذه المزارع والمعنية بزراعة الذرة العلفية ستحقق زيادة متغيرة حسب المزارع وخصائص تربتها وحسب تغير المناخ، قد تصل في الأعماق إلى 4.5 m/dS، مما سيؤثر سلبا على محصول الذرة الذي سيحقق انخفاضا قد يصل إلى معدل 15 طن في الهكتار. لكن عند مضاعفة كمية مياه الري المستخدمة في البداية من قبل نوع من المزارع المتشابهة مع EXP11 ويزيادة نسبة 20٪ من كمية المياه المستخدمة من قبل المزارع المتشابهة مع Exp6 وEXP20 سيتم التخفيف من حدة هذه الملوحة. كما سيتم تعديل انخفاض محصول الذرة بالري التكميلي وتحقيق زيادة في الإنتاج قد يصل إلى معدل 19 طن في الهكتار، مما سيؤثر إيجابيا على مربي الفلاحين. كلمات المفتاح: الملوحة، وتغير المناخ، والاستدامة، نماذج بيواقتصادية والمحاكاة.

### Résumé

Dans un cadre global d'une agriculture durable et de préservation des sols irrigués contre la salinisation. On a réalisé un travail dans le quel on a adopté une approche bio économique, basée sur le couplage de modèles agro économiques, pour étudier le comportement des sols occupés par une culture de maïs fourrager dans un périmètre public irrigué situé dans la basse vallée de la Medjerda. Aussi on a analysé la réponse de la culture du maïs fourrager aux effets de la salinité conjugués aux effets du changement climatique et les impacts sur les marges brutes de cette culture. Pour ce faire, on a réalisé une enquête auprès des exploitations installées dans ce périmètre et on a choisi à l'aide d'un outil statistique basé sur une analyse en composante principale, six exploitations types appartenant à 6 groupes capitalisant le maximum d'éléments de ressemblance. On a construit six modèles biophysiques individuels relatifs à ces exploitations. Couplés avec des modèles économiques, ils ont fait ressortir que les moyennes de la salinité des trois sols emblavés par le maïs fourrager subiront une augmentation variable selon les exploitations et les profils du sol. Accentuée par le changement climatique, elle

pourra atteindre 4.5 dS/m en profondeur. Cette salinité sera atténuée en doublant la quantité d'eau appliquée initialement par l'exploitation type EXP11 et en augmentant de 20% les quantités d'eau appliquées par les exploitations types EXP6 et EXP20. Cependant les moyennes des rendements du maïs subiront des baisses qui peuvent atteindre 15 tonnes/ha. Ces baisses seront redressées par une irrigation complémentaire et l'augmentation des moyennes des rendements pourra atteindre 19 tonnes/ha. Les effets sur la marge brute seront positifs.

**Mots clés:** Salinité, changement climatique, durabilité, modélisation bio économie, simulation.

### **Summary**

In a global context of sustainable agriculture and irrigated soil conservation against salinization, we realized a work in which we have adopted a bio-economic approach, based on the coupling of biophysical and economic models. This work has been done to study the behavior of soils occupied by fodder maize in a public irrigated area, located in the lower valley of Medjerda. Also, we analyzed the effects of salinity combined with climate change on this culture and their impacts on her gross margin. So, we surveyed farms installed in this area and selected six types of farms owned to 6 groups capitalizing maximum of resemblance elements, using a statistical tool based on a principal component analysis. Furthermore, we built six individual biophysical models for these farms. Coupled with economic models, they have shown that the salinity average of 3 soils sown with fodder maize will accuse an increase variable as farms and soil profiles. Accentuated by climate change, it may reach 4.5 dS/m in depth. The average maize yield will decline and may reach 15 tons/ha. However, the soil salinity will be mitigated by doubling the water amount initially applied by farm type EXP11 and increasing by 20% the water amount initially applied by farms type Exp6 and EXP20. The average maize yield will be adjusted by additional irrigation and may reach 19 tons/ha and the effects on the maize gross margin will be positive.

**Keywords:** Salinity, climate change, sustainability, bio-economic modeling, simulation.

### **1. Introduction**

Pour satisfaire les besoins colossaux en nourriture (céréales et produits animaux) de la population, la production alimentaire devrait d'ici 2050 augmenter en moyenne de 70% (Collomb, 1999), voire de 100% pour les pays en développement. Les surfaces mondiales de terres cultivées quant à elles devraient augmenter de 43% à un rythme de 6,8 millions d'hectares par an (Dorin et Paillard,

2009). La progression de la production ne pourrait être obtenue que par le développement de l'irrigation. Pour la Tunisie, le développement des périmètres irrigués est une priorité. Mais, plus de 70 % des terres sont irriguées avec une eau de salinité supérieure à 1,5 g/l, ce qui a entraîné la dégradation des terres par la salinisation. 30% des terres irrigués sont affectés. Certains périmètres irrigués ont dû être totalement

abandonnés (CIHEAM, 2005). C'est donc une vraie menace pour les prochaines décennies. L'Etat Tunisien a beaucoup investi pour la réutilisation des eaux usées traitées (EUT). Cependant, sur un volume de 169 millions de m<sup>3</sup> collectés, seulement 35 millions de m<sup>3</sup>, ont été réutilisés pour l'irrigation contre un objectif de 100 millions de m<sup>3</sup> (Neubert et Ben Abdallah, 2003). Le périmètre public de Cebala situé dans la basse vallée de la Medjerda, a été aménagé pour intensifier la production des exploitations agricoles par la REUT. Cependant, le taux d'intensification n'a pas dépassé 48 % depuis 1995/96 (CRDA de l'Ariana, 2005). En outre, les EUT réutilisées pour l'irrigation ont souvent une charge en sel de 3 à 4 g/l. Il faut donc s'attendre à des pertes de revenus pour les agriculteurs en plus du risque d'un excès de salinisation des sols (Neubert et Ben Abdallah, 2003). Ce travail s'inscrit donc dans le cadre global de préservation de l'environnement (Vermersch, 2001) et de conduite d'une agriculture durable. Il vise donc à déterminer le seuil optimum technique et économique de la réutilisation des eaux usées traitées, qui à long terme, préserverait la fertilité du sol et éviterait sa salinisation et d'assurer des revenus plus ou moins stables. Pour cela, nous avons adopté un modèle biophysique, le "CropSyst" (Stöckle et al., 1994; Stöckle et al., 2003) qui après calibrage et validation, il a autorisé des simulations à long terme des rendements agricoles en fonction de la salinité du sol. Ces simulations ont permis d'étudier le comportement de différents sols et la réponse de la culture du maïs fourrager et l'impact du

changement climatique sur les rendements de cette culture et la salinité du sol. Couplé avec un modèle économique, il a permis d'analyser les impacts sur la marge brute de la culture du maïs pour chaque exploitation.

## **2. Matériels et méthodes**

### **2.1. Collecte des données et enquêtes**

Nous avons collecté des données pédologiques et climatiques du périmètre Cebala. Ces données ont concerné la température minimale et maximale, la pluviométrie, la vitesse du vent, l'humidité relative minimale et maximale ainsi que la radiation solaire de 26 années de 1983 à 2008, le degré de salinité et la texture du sol, la qualité de l'eau utilisée. D'autres informations collectées ont concerné l'historique des exploitations, leurs identifications, leurs systèmes de production et d'irrigation, les cultures installées, la taille des troupeaux bovin et/ou ovins s'il y a lieu.

### **2.2. Choix des exploitations types**

Les exploitations enquêtées sont au nombre de 83 et de taille allant de 1 à 170 ha. Elles présentent toutes la caractéristique d'être irriguées avec des eaux usées traitées. En se basant sur certains critères de discrimination retenus des exploitations enquêtées et à l'aide d'un outil statistique permettant une analyse en composante principale "ACP" (Philippeau, 1986), nous avons pu reproduire une image composite (Perrot et al, 1993) que l'on essaie de décrire en termes de pôles d'agrégation aussi nettement différenciés que possible. Cette analyse a été utilisée pour identifier des classes d'agriculteurs selon des axes de

tendance (Hanafi et al., 2007). Elle nous a permis d'isoler 6 groupes distincts d'exploitations, capitalisant le maximum d'éléments de ressemblance et de choisir 6 exploitations (*EXP 6, EXP11, EXP20, EXP26, EXP48 et EXP64*). Ce choix a été renforcé par le

critère "type de sol" auquel appartient chaque exploitation type. Les exploitations retenues pour cette étude dotées de leurs caractéristiques, ainsi que les quantités d'eau appliquées initialement pour irriguer le blé dur sont regroupées dans le tableau 1.

**Tableau 1:** Caractéristiques des exploitations types retenues

Exploitations <sup>1</sup>	EXP6	EXP11	EXP20	EXP26	EXP48	EXP64
-Type de sol	SO22	SO26	SO11	SO15	SO35	SO19
- Texture	Limon/sable	argile/ Limon	Sableux	Sable/ argile	Limon/ argile	sable / Limon
- Salinité du sol (dS/m) <sup>2</sup>	0.7 à 1.2	0.1 à 17.6	0.4 à 0.7	0.7 à 9	0.4 à 1.3	0.2 à 8.4
-Quantités d'eau (m <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>	6000	7000	5000			

1: Exploitation type

2: Salinité initiale de chaque exploitation type variant dans les profils

3: Quantités d'eau d'irrigations appliquées par chaque exploitation pour irriguer le maïs fourrager

En association avec d'autres cultures, le maïs fourrager, utilisé pour l'alimentation des bovins laitiers, est pratiqué par trois exploitations types (*EXP6, EXP11, EXP20*) sur six. De ce fait, le travail de modélisation a concerné la culture du maïs fourrager et on a construit un modèle de culture de base par exploitation type afin d'établir les simulations à long terme.

### 2.3. Utilisation du modèle agronomique

Pour nos simulations nous avons choisi "CropSyst" qui est le fruit des recherches continues du département de génie rural de l'Université de l'Etat de Washington et qui a été employé pour l'évaluation des différents systèmes de production agricole. Il est capable de simuler plusieurs cultures, pendant plusieurs années consécutives et permet d'établir la relation entre inputs-outputs en ce qui concerne la production végétale, pour estimer les résultats de diverses techniques culturales, pour

mesurer la dégradation des ressources naturelles, notamment les ressources en eau et en sol, et l'évaluation de l'impact de différentes politiques agricoles sur les résultats techniques. Il a été utilisé et validé pour les régions semi-arides, notamment la basse vallée de la Medjerda (Mlaouhi, 2002; Belhouchette, 2004 ; Abbes 2005, Mlaouhi et al., 2012, Mlaouhi et al., 2013).

En effet, nous avons introduit les données relatives à la localisation, au climat de la région, à la granulométrie et la salinité de départ des trois types de sols relatifs aux exploitations cultivant le maïs fourrager et aux paramètres physiologiques de la culture, ainsi que la description du système d'assolement et les quantités d'eau d'irrigation et d'engrais appliquées par les agriculteurs. Ces données sont nécessaires pour faire interagir entre eux, les modules intégrés dans "CropSyst" (Module "localisation et

climat", Module "sol", Module "salinité", Module "culture").

### 2.3.1. Principe de base du fonctionnement du modèle agronomique

En général, la croissance de la culture passe par plusieurs phases successives de développement constituant un cycle dépendant des facteurs génétiques, édaphiques et environnementaux. Pendant chacune de ces phases les facteurs limitant (déficit hydrique, salinité, nutrition azotée etc.) interviennent en tant que fonctions réductrices selon la loi du minimum

$$Y_i = \min [Y^*, (\beta_1 + \beta_2 E_i + u_{Ei}), (\beta_3 + \beta_4 N_i + u_{Ni})]$$

Cette fonction implique que la plante répond d'une manière linéaire uniquement au facteur le plus limitant. Après un certain niveau d'apport d'eau ( $E^*$ ) et d'azote ( $N^*$ ), la culture ne répond plus à des apports supplémentaires et le rendement

établie par Justus Von Liebig en 1840. Cette loi est traduite par la non-substituabilité entre les inputs agricoles (eau, salinité, doses azotée etc.) quelque soit les doses appliquées (Ackello-Ogutu et al, 1985; Frank et al, 1990; Berck et Helfand, 1990; Paris, 1992; Berck et al, 2000). Partant de l'hypothèse de non substituabilité entre les inputs, la fonction de production de Von Liebig, représentée par exemple pour l'eau (E) et l'azote (N),  $\beta$  et  $U$  des constantes à déterminer, prend la forme suivante:

maximal ( $Y^*$ ) est atteint (Belhouchette, 2004 et Abbes, 2005). Plus tard, certains agronomes, croyant en un certain niveau de substituabilité entre les inputs à des faibles doses d'application, ont développé d'autres formes fonctionnelles telles que les:

- Von Liebig non-linéaire:  $Y_i = \min [Y^*(1 - k_E e^{-\beta E_i}), Y^*(1 - k_N e^{-\beta N_i})] + u_i$
- Mitscherlich-Baule:  $Y_i = Y^*(1 - k_E e^{-\beta E_i}) \times (1 - k_N e^{-\beta N_i}) + u_i$

Les fonctions de type «Liebig» supposent que nous connaissons déjà la forme mathématique de la fonction (quadratique, logarithmique, exponentielle...). Dans la réalité, au-delà de deux facteurs, il est très difficile de trouver la forme la plus adéquate de la fonction de réponse. Dans ce travail nous avons besoin de fonctions ayant des formes encore plus complexes que celles mentionnées plus-haut. L'approche économétrique, issues de la convergence de l'inférence statistique et de la théorie économique standard, présente des limites pour traiter les

rapports complexes qu'entretient l'agriculture avec l'environnement naturel d'une part et le milieu économique d'autre part (Boussard, 1987; Flichman, 1997). Ces limites nous ont conduits à adopter une autre approche plus originale, utilisant des fonctions de production d'ingénieur obtenues par des simulations à travers le modèle biophysique ou agronomique "Cropsyst". Pour cette raison, Il est donc utilisé pour déterminer la forme la plus adéquate de la fonction de réponse de la culture du maïs fourrager tenant

compte de ses conditions environnantes.

#### **2.4. Génération de données climatiques avec et sans changement climatique**

A partir des données réelles relatives à la localisation du périmètre et au climat pour une période de 26 années de 1983 à 2008, nous avons généré à l'aide d'un sous programme "ClimGen" dans "Cropsyst", des données climatiques pour une trentaine d'années (2011 à 2040). De même, partant du fait que le changement climatique, conjugué à d'autres facteurs environnants des cultures, pourrait modifier dans le futur les conditions de culture du maïs fourrager, on a généré, des données climatiques pour la même période en adoptant deux scénarios respectifs d'augmentation de la température de 1 et 2 degrés Celsius.

#### **2.5. Simulation à long terme**

Suite aux travaux d'enquêtes et de collecte des données relatives à la culture de maïs fourrager et les conditions environnantes des exploitations, nous avons construit,

dans une première étape, un modèle de culture pour chaque exploitation type. Une fois calibré ce modèle a été utilisé pour les simulations (Anderson, 1968 et Csaki, 1985) en gardant les mêmes techniques culturales adoptées par les agriculteurs et en utilisant les données climatiques générées de 2011 à 2040 avec et sans changement climatique. On a étudié le comportement de différents sols et la réponse de la culture du maïs fourrager à long terme et l'impact du changement climatique sur les rendements de cette culture et la salinité du sol. En deuxième lieu nous avons adopté quatre scénarios d'irrigation qui consistent à augmenter les doses d'irrigations initiales respectivement de 20%, 40%, 60% et 100%, pour déterminer les effets sur la salinité du sol et le rendement de la culture. Les scénarios adoptés pour cette étude sont détaillés comme suit :

SC1 = Situation initiale (quantités d'eau initialement appliquées par chaque exploitation)

SC2 = Situation initiale + augmentation de la température de 1 degré C°

SC3 = Situation initiale + augmentation de la température de 2 degré C°

SC4 = Situation initiale + augmentation de l'irrigation de 20%

SC5 = Situation initiale + augmentation de l'irrigation de 40%

SC6 = Situation initiale + augmentation de l'irrigation de 60%

SC7 = Situation initiale + augmentation de l'irrigation de 100%

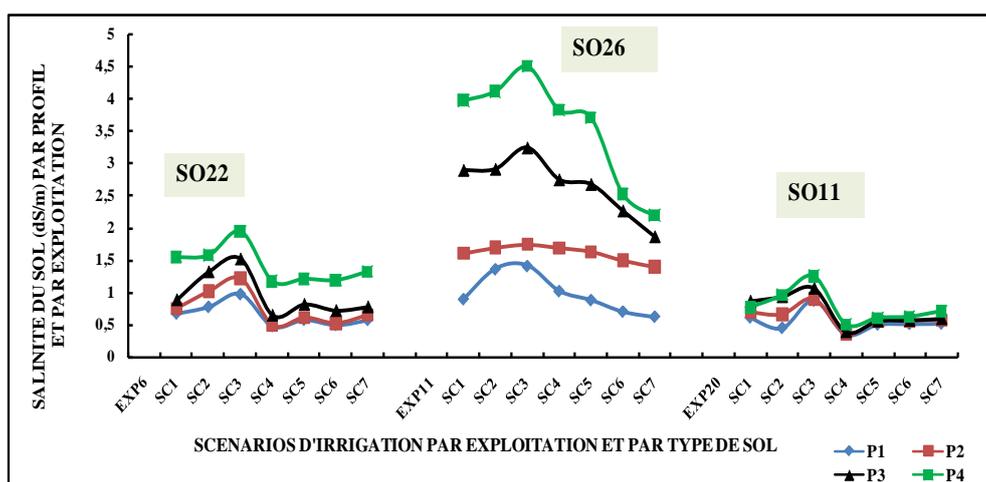
## 2.6. Couplage des modèles

On a établis des modèles économiques par exploitation basés sur la programmation mathématique et une écriture algébrique spécifique. Calibrés et validés, ils ont été alimentés par les coefficients techniques issus des modèles agronomiques et d'autres facteurs de productions afférents à chaque exploitation. Par la suite on a établis des simulations pour étudier les effets de la salinité conjugués au changement climatique ainsi que les

effets des scénarios d'irrigation sur la marge brute de la culture du maïs fourrager.

## 3. Résultats

La figure 1 représente les résultats relatifs au comportement des sols de trois exploitations type et l'évolution des moyennes de la salinité du sol par profil en fonction du changement climatique et des scénarios d'irrigation, durant trente années (2011-2040).



**Figure 1 :** Moyenne de la salinité du sol par profil par scénario d'irrigation et par exploitation

Les résultats relatifs aux moyennes des rendements de la culture du maïs fourrager de trois exploitations types en fonction de la salinité et du changement

climatique, ainsi que leurs évolutions en fonction des scénarios d'irrigation durant la même période sont représentés par la figure 2.

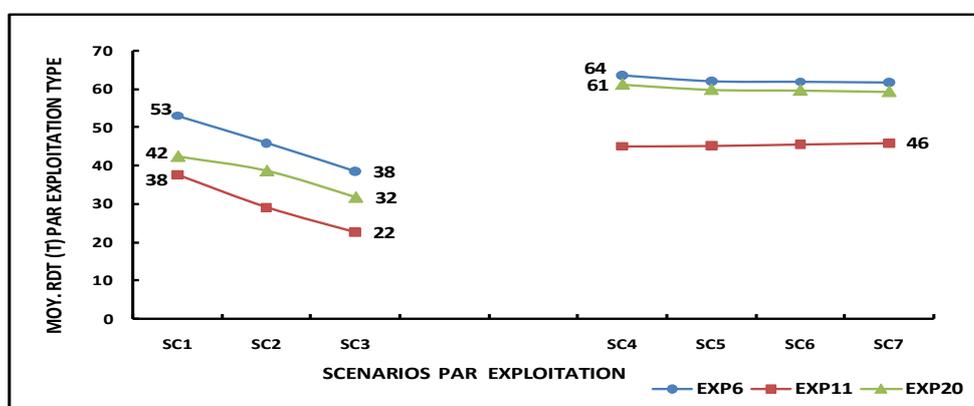


Figure 2 : Moyenne des rendements du maïs fourrager par scénario d'irrigation et par exploitation

Les résultats relatifs aux moyennes de la marge brute de la culture du maïs fourrager de trois exploitations types en fonction de la salinité et du changement

climatique, ainsi que leurs évolutions en fonction des scénarios d'irrigation durant la même période sont représentés par la figure 3.

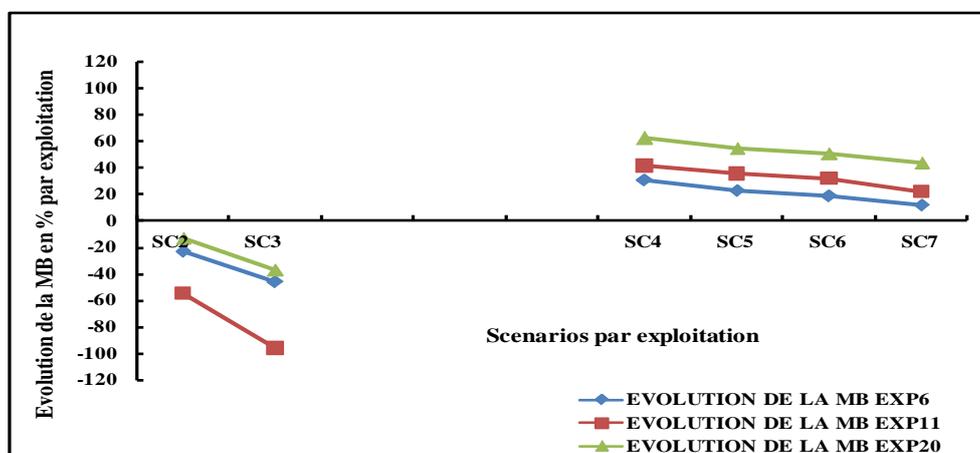


Figure 3 : Evolution des moyennes de la marge brute de maïs par exploitation et par scénario

#### 4. Discussions

Les moyennes de la salinité des trois sols emblavés par le maïs fourrager subiront une augmentation variable selon les exploitations et les profils du sol (fig. 1). Cette augmentation est

accentuée par le changement climatique et pourra atteindre 4.5 dS/m en profondeur. La salinité sera atténuée en doublant la quantité d'eau appliquée initialement par l'exploitation type EXP11 et en augmentant de 20% les

quantités d'eau appliquées initialement par les exploitations types EXP6 et EXP20. Cependant, les moyennes des rendements du maïs subiront des baisses (fig. 2) qui peuvent atteindre 15 tonnes/ha et les effets sur les marges brutes seront négatifs. Pour certaines exploitations les marges brutes pourront même s'annuler. Les diminutions des moyennes de ces marges seront situées entre 13 et 96 % selon les exploitations (fig. 3).

Avec une irrigation supplémentaire le sel migre en profondeur au-delà du profil P4 sous l'effet de l'irrigation par transport convectif (Lahlou et al, 2000) par l'eau qui percole. On assiste à une réduction de la moyenne de la salinité du sol se situant entre 0.47dS/m à 2.2 dS/m selon les profils et les sols. Les moyennes des rendements seront redressées et l'augmentation de ces moyennes pourra atteindre 19 tonnes/ha. Les quantités d'eau supplémentaires feront évoluer positivement les moyennes des marges brutes entre 12 et 62%. Les variations des moyennes des rendements du maïs, de la salinité du sol et des marges brutes sont liées au comportement de chaque sol en fonction

de sa structure (Badraoui et al, 1998), des conditions environnantes et des volumes d'eau initiaux appliqués (tab. 1) par chaque exploitation.

## 5. Conclusion

Les résultats obtenus ont montré que la salinité des sols va tendre à la hausse, si on ne prend de mesure préventive. Inversement à la salinité, les rendements du maïs fourrager vont subir des baisses avec ou sans changement climatique. Les nouveaux itinéraires techniques adoptés vont réduire le niveau de la salinité du sol et amélioreront les rendements. L'exploitation EXP11, devra donc doubler la quantité d'eau appliquée initialement. Pour les exploitations EXP6 et EXP20, les quantités d'eau appliquées initialement seront augmentées de 20%. En effet, des doses d'eau supplémentaires permettent une meilleure prise en compte de l'environnement et réduisent les impacts de la salinité sur le milieu naturel et valorisent mieux les eaux usées traitées par une amélioration des marges brutes de la culture du maïs fourrager.

## Références bibliographiques

- Abbes K. (2005) : Analyse de la relation agriculture-environnement: Une approche bio-économique: Cas de la salinisation des sols et de la pollution par les nitrates au nord tunisien: Thèse de Doctorat en Sciences Economiques – Université de Montpellier I, 306 p.
- Ackello Ogutu C., Paris Q., and Williams W.A. (1985) : Testing a von Liebig Crop Response Function against Polynomial Specifications, American Journal of Agricultural Economics, 67(4), pp. 873-880.
- Anderson R.L. (1968) : A simulation program to establish optimum crop pattern on irrigated farms based on pre-season estimates of water supply. American journal of Agricultural Economics, 50:1586-1590.

- Badraoui M. Soudi B. et Farhat A. (1998) : Valorisation de la qualité des sols: Une base pour évaluer la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc. *Revue étude et gestion des sols* 5,4 1998. 40-44.
- Belhouchette H. (2004) : Evaluation de la durabilité de successions culturales à l'échelle d'un périmètre irrigué en Tunisie: Utilisation conjointe d'un modèle de culture CropSyst, d'un SIG et d'un modèle bio économique, Thèse de doctorat en science du sol, ENSAM-Montpellier, 155 p.
- Berck P., Geoghegan J., and Stohs S. (2000) : A Strong Test of the von Liebig Hypothesis, *American Journal of Agricultural Economics*, 82 (4), pp. 948-955.
- Berck P., Helfand G. (1990) : Reconciling the von Liebig and Differentiable Crop Production Functions, *American Journal of Agricultural Economics*, 72 (4), pp. 985-996.
- Boussard J.M. (1987) : *Economie de l'agriculture*, Economica, Paris, 320p.
- CIHEAM, 2005. Rapport sur le Développement rural, développement durable: quelle gestion des ressources?
- Collomb P. (1999) Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050. *Economica*, FAO, Rome 198 pp.
- CRDA Ariana (2005) : Rapport d'étude de diagnostic et de réhabilitation du périmètre de Cebala Borj Touil: Phase1.
- Csaki C. (1985) : Simulation and systems analysis in agricultural. *Developments in agricultural economics* n° 2, Elsevier.
- Dorin B, Paillard S. (2009) : Agriculture et alimentation du monde en 2050 pour un développement durable. *Agrimonde INRA-CIRAD* 2ème Ed. 265p
- Flichman G. (1997) : Bio-economic models integrating agronomic, environmental and economic issues with agricultural use of water, *CIHEAM-IAMM, Options Méditerranéennes, Sér. A/n°31*, pp. 327-336.
- Frank M.D., Beattie B.R., and Embleton M.E., (1990) : A Comparison of Alternative Crop Response Models, *American Journal of Agricultural Economics*, 72 (4), pp. 597-603.
- Hanafi S., Zaïri A., Ruelle P., Le Grusse P., Ajmi T. (2007) : Typologie des exploitations agricoles: un point de départ pour comprendre les performances des systèmes irrigués, Actes du troisième atelier régional du projet Sirma.
- Lahlou M., Badraoui M. et Soudi B. (2000) : Modélisation de l'évolution de la salinité et de l'alcalinité dans les sols irrigués. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat, 2-3.
- Mlaouhi S. (2002) : Contrôle de la salinité pour la préservation de la fertilité du sol dans un périmètre irrigué dans la basse vallée de la Medjerda, Thèse de Master à l'IAM de Montpellier, 124 p.
- Mlaouhi S., Boujelben A., Elloumi M. et Hchicha M., (2010) : Simulations à long terme avec un modèle biophysique des rendements en fonction de la salinité du sol dans la basse vallée de la Medjerda, parus dans les *Annales de l'INRGRF* (2010), 14 (Numéro spécial), 135-144 ISSN 1737-0515.
- Mlaouhi S., Boujelben A., Elloumi M. et Hchicha M., (2012) : Modélisation biophysique des cultures dans un périmètre irrigué par les eaux usées traitées

- de la basse vallée de la Medjerda, parus dans la Revue des Régions Arides n° 29 53/2012° PP: 63-75.
- Neubert S. et Benabdallah S. (2003) : Etudes et rapports d'expertise "La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie".
  - Paris Q. (1992) : The von Liebig Hypothesis, *American Journal of Agricultural Economics*, 74 (4), pp. 1019-1028.
  - Perrot C., Landais E. (1993) : Comment modéliser la diversité des exploitations agricoles? In *Les Cahiers de la Recherche Développement*, 33: 24-40.
  - Philippeau G. (1986) : Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ?
  - Stöckle C.O., Martin S.A. and Campbell G.S. (1994) : CropSyst, a cropping systems simulation model: water/nitrogen budgets and crop yield. *Agric. Syst*, 46. 335-359.
  - Stöckle C., Donatelli M., Nelson R., (2003) : CropSyst, a cropping systems model. *Europ. J. Agronomy*, 18: 289-307.
  - Vermersch D.( 2001) : Agriculture durable et nouvelles technologies: La fin et les moyens? 1er Symposium de l'Association Belge d'Economie Rurale, Bruxelles.



## Interaction entre performances de l'irrigation par aspersion et réponse à l'eau d'une culture de pomme de terre

Yacoubi Samir <sup>(1)</sup>, Slatni Adel <sup>(1)</sup>, Oueslati Taoufik <sup>(2)</sup>, Zayani Khémaïes <sup>(3)</sup>

(1) Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts,  
BP N°10 – Ariana 2080, Tunis

(2) Centre Technique de la Pomme de Terre et de l'Artichaut, Saida - Manouba

(3) INAT/ ISSTE Borj Cédria, Tunisie

ملخص:

يتعلق هذا العمل بدراسة حول التفاعل بين أداء الري بالرش واستجابة محصول البطاطا الفصلي لكميات مياه الري. وقد اعتمدت هذه الدراسة المنجزة بمحطة التجارب بشرفش في الحوض السفلي لمجردة على تجارب حقلية لري البطاطا الفصلي بضغط تشغيل 3 بار وتباعد بين المرشات بـ 18 م x 12 م. أظهرت النتائج الحاصلة توزيعا جيدا للمياه حيث بلغ معدل معامل كريستيانسن لانتظام توزيع المياه 79 % و 86 % بالنسبة لانتظام توزيع المياه الموسمي. كما بينت النتائج مدى أهمية تحديد العلاقة بين معامل كريسيانسس CU ومعامل العجز المائي CDH في إدارة الري بالرش تحت الظروف المائية المحدودة. من ناحية أخرى أظهرت نتائج تقييم الري بالاعتماد على الموازنة المائية أن عمليات الري مكنت البتة من النمو في وضعية مائية حسنة كما يدل على ذلك قيمة التبخر التنحي النسبي (ET<sub>c</sub>/ETM) والمقدر بـ 94 % . كما تشير النتائج الحاصلة أن استهلاك البتة من المياه كان خاضعا لكميات مياه الري والأمطار المسجلة على امتداد الموسم الزراعي .

الكلمات المفتاحية : الري بالرش ، انتظام توزيع المياه ، معامل العجز المائي ، الموازنة المائية ، البطاطا

### Résumé

Le présent travail concerne une étude de l'interaction entre les performances de l'irrigation par aspersion et la réponse à l'eau de la culture de pomme de terre de saison. L'essai a été mené à la station expérimentale de Cherfech dans la basse vallée de la Medjerda sur une culture de pomme de terre de saison irriguée sous une pression de 3 bars et un écartement de 18 m x 12 m. Dans les conditions opératoires et climatique de l'expérimentation, les résultats obtenus montrent une bonne uniformité de distribution de l'eau avec un coefficient d'uniformité de Christiansen CU moyen de 79% et un CU saisonnier de 86%. Les résultats ont permis aussi de mettre en évidence l'intérêt de la caractérisation de la relation entre CU et le coefficient de déficit hydrique (CDH) quant à la gestion de l'irrigation par aspersion en conditions de ressources en eau limitées. En ce qui concerne la réponse de la culture vis-à-vis de l'eau, les résultats d'évaluation de l'irrigation par le bilan hydrique ont montré que la culture a été conduite en bonnes conditions hydriques avec une évapotranspiration relative (ET<sub>c</sub>/ETM) de 94%. La consommation en eau de la culture a été donc tributaire de l'apport d'eau d'irrigation et de la pluie sur l'ensemble du cycle cultural.

**Mots clés :** Irrigation par aspersion / Uniformité de distribution / Coefficient de déficit hydrique / Bilan hydrique / Pomme de terre.

### Summary

This work is devoted to study the interaction between sprinkler irrigation performance and potato crop yield response to water for the conditions of Tunisia. Fields trials were performed at the experimental station of Cherfech under a sprinkler spacing of 18 m x 12 m and nozzle operating pressure of 3 bars. Under the operating and climatic experimental conditions, results of performance evaluations indicate that distribution uniformity was acceptable (average Christiansen coefficient of uniformity CU of 79% and seasonal CU of 86%). Results showed that the relationship between CU and the water deficit coefficient CDH represents a useful tool for improving sprinkler irrigation management under limited water resources. Based on the soil water balance evaluation, results showed a relative evapotranspiration ratio of 94% indicating that the potato crop was under optimal available water conditions. Also, crop evapotranspiration was dependent on irrigation applied water and season rainfall.

**Key words:** Sprinkler irrigation / Distribution uniformity / Water deficit coefficient / Soil water balance / Potato.

### 1-Introduction

En Tunisie, le contexte de l'agriculture irriguée se caractérise par la rareté des ressources hydriques conjuguée à une concurrence accrue de la demande en eau de la part des autres secteurs (eau potable, industrie, tourisme). Dans ce contexte, l'amélioration des performances des systèmes d'irrigation représente un des objectifs primordiaux en vue de limiter les pertes d'eau de mieux valoriser l'eau d'irrigation tant sur le plan agronomique qu'économique. C'est le cas particulier de l'irrigation par aspersion qui concerne environ 32% des surfaces irriguées en Tunisie (DGGREE, 2012) et qui contribue d'une manière importante aux activités socio-économiques de plusieurs régions du pays. En aspersion, la maximisation de l'uniformité de distribution de l'eau et la gestion adéquate des irrigations sont les conditions nécessaires en vue d'optimiser l'efficacité hydraulique et agro-économique. Selon Burt et al. (1997), les facteurs qui influencent l'uniformité de distribution de l'eau en

aspersion se rapportent à la variation de pression, à la disposition des asperseurs (écartements), aux caractéristiques techniques des asperseurs et aux conditions climatiques. Playan et Mateos (2006) indiquent que l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau à la parcelle implique le choix approprié du système d'irrigation en fonction de la disponibilité de l'eau, des caractéristiques pédoclimatiques et agronomiques, des conditions socio-économiques et des contraintes imposées par le système de distribution d'eau.

L'écartement entre les asperseurs est un facteur important qui détermine la pluviométrie d'arrosage et influe sur l'uniformité de distribution de l'eau. Tarjuelo et al. (1999) indiquent que la réduction de l'écartement améliore l'uniformité d'arrosage et réduit l'effet néfaste du vent sur la distribution de l'eau. En conditions ventées, Clement et Galand (1979) recommandent de remplacer la maille carrée par une maille rectangulaire ou triangulaire convenablement orientée de sorte que

l'écartement le plus long soit parallèle à la direction dominante du vent. D'autres auteurs indiquent qu'il existe des situations où les plus grandes valeurs de CU sont obtenues avec des dispositifs pour lesquels le vent souffle dans la direction de l'écartement le plus faible (Vories et von Bernuth, 1986; Tarjuelo et al., 1992). Ceci dépend en fait de la forme de la courbe de distribution pluviométrique de l'asperseur utilisé.

Dans les conditions locales de pratique de l'aspersion, des essais menés par Yacoubi et al. (2005) sur une culture de pomme de terre de saison dans la basse vallée de la Medjerda ont montré que l'écartement 12 m x 12 m et la pression 3 bars génèrent une bonne répartition d'eau à la surface du sol. Ces auteurs indiquent que la valeur moyenne du coefficient d'uniformité de Christiansen sur l'ensemble de la saison d'irrigation est de CU 86 %. Toutefois, il convient de signaler que la tendance générale à l'amélioration de l'uniformité par le rapprochement des asperseurs est obtenue au prix d'une augmentation du coût du système d'irrigation. Aussi, les travaux de Montero et al., (2004) sur les systèmes d'aspersion en couverture intégrale ont montré que l'écartement entre asperseurs est le facteur qui influence le plus le coût d'application de l'eau étant entendu que la réduction du coût de l'équipement exige l'adoption des écartements plus grands.

Le présent travail se veut une étude de l'interaction entre les performances de l'irrigation par aspersion et la réponse à l'eau d'une culture de pomme de terre de saison. Cette étude s'appuie sur une expérimentation réalisée sur une culture de pomme de terre de saison en vue de

(i) caractériser les performances de l'irrigation par aspersion sous une pression de fonctionnement de 3 bars et un écartement de 18 m x 12 m et (ii) évaluer l'effet des conditions opératoires et climatiques étudiées sur la réponse à l'eau de la culture.

## **2-Matériels et méthodes**

### **2.1. Site expérimental**

L'essai expérimental a été réalisé à la station expérimentale Cherfech de l'INRGREF sise à Sidi Thabet dans le Gouvernorat de l'Ariana (37° N, 10.5° E, altitude 328 m). Le climat de la zone d'étude est de type méditerranéen semi-aride à hiver tempéré avec un été chaud et sec. La pluviométrie moyenne est de l'ordre de 440 mm/an. L'évapotranspiration de référence moyenne calculée selon la méthode de Penman-Monteith (Allen et al. 1998) est de 1112 mm/an. Le sol de la parcelle d'essai est de texture limono-argileuse. Les humidités volumiques caractéristiques mesurées au laboratoire de l'INRGREF sont de 42 % à la capacité au champ et 26 % au point de flétrissement permanent, soit une réserve utile de 160 mm/m.

### **2.2- Protocole expérimental**

L'essai a été conduit sur une parcelle de pomme de terre de saison ayant une superficie de 0.3 ha et équipée avec un système d'aspersion classique en couverture intégrale avec un écartement de 18 m x 12 m (voir figure 1). L'eau d'irrigation, de salinité moyenne de 2 g/l, provenant d'un canal à ciel ouvert est stockée dans un bassin de reprise. L'eau est mise sous pression par une électropompe à axe horizontal. Durant la saison d'irrigation, la pression de fonctionnement des asperseurs a été maintenue à environ 3 bars. Les asper-

seurs utilisées, sont équipés par une buse de 4.4 mm de diamètre située à une hauteur de 1m par rapport à la surface du sol. L'angle de la trajectoire des asperseurs est de 30°. La loi débit -

pression de l'asperseur d'essai est :  $q = 0.748 P^{0.941}$ , où  $q$  ( $m^3/h$ ) et  $P$  (bars) désignent respectivement le débit et la pression de fonctionnement de l'asperseur d'essai.

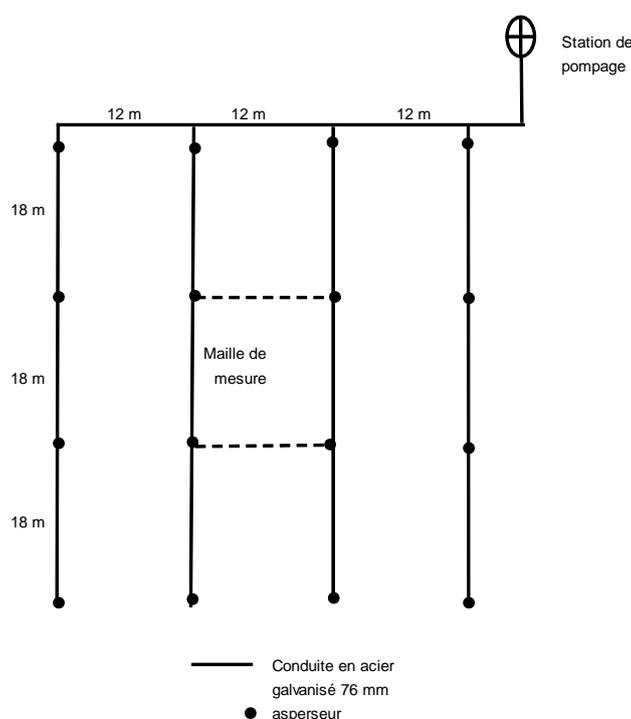


Figure 1: Schéma de la parcelle d'essai

La configuration géométrique des asperseurs a été choisie de manière à avoir l'écartement le plus faible (12 m entre les rampes) perpendiculaire à la direction dominante du vent. L'écartement entre les asperseurs sur la rampe est de 18 m. La maille de 18 m x 12 m située au milieu de la parcelle a été retenue pour le suivi de l'essai (figure 1). La culture de pomme de terre de saison (variété Arinda) a été plantée le 15 février 2008 à des écartements de 0.3 m entre les plants et 0.75 m entre les lignes. La culture a reçu des apports appropriés en produits fertilisants,

herbicides et pesticides sur l'ensemble du cycle cultural. Les paramètres climatiques ont été mesurés et enregistrés par une station climatique installée à 2 m au dessus de la surface du sol et située à une centaine de mètres par rapport à la limite de la parcelle d'essai. Lors de l'essai, les aspects suivants ont été suivis et étudiés :

### 2.3-Uniformité de distribution

Les performances de l'irrigation ont été évaluées à l'échelle de la maille d'étude de 18 m x 12 m conformément à la méthodologie décrite par Merriam et Keller (1978) et aux prescriptions de la

norme ISO 7749/1 (1990). Il est à signaler que les essais d'évaluation des performances de l'irrigation, au nombre de neuf, ont été opérés à partir de la fin du stade de développement de la culture jusqu'à la fin du cycle de la culture. A cet effet, des pluviomètres montés sur des supports en plastique ont été installés à l'intérieur de la maille

suivant une grille de 3 m x 3 m tel qu'indiqué à la figure 2. La hauteur des pluviomètres par rapport au sol est de 0.5 m. Après chaque évaluation, les hauteurs d'eau collectées dans les pluviomètres sont utilisées pour calculer le coefficient d'uniformité de Christiansen (1942) et de la dose d'irrigation.

$$CU = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^k |h_i - h_m|}{k h_m} \right)$$

Où  $h_i$ ,  $h_m$  et  $k$  désignent respectivement, la hauteur d'eau appliquée (mm) sur la  $i^{\text{ème}}$  unité élémentaire de la surface arrosée, la hauteur d'eau moyenne

(mm) appliquée sur la surface arrosée et le nombre d'unités de surfaces identiques de 3 m x 3 m et équipées de pluviomètres ( $k = 24$ ).

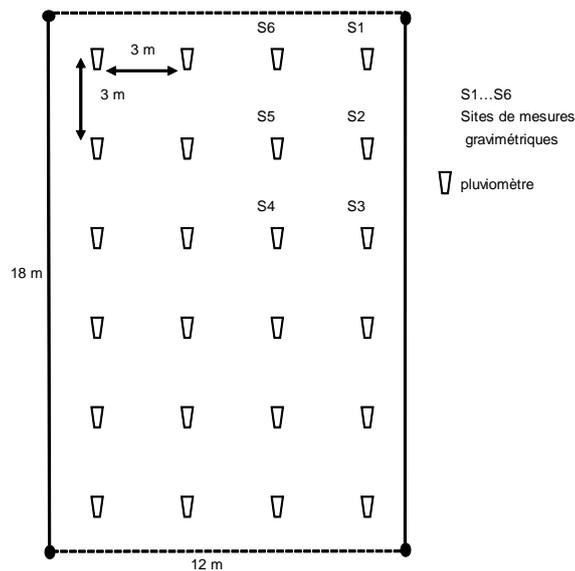


Figure 2: Dispositif expérimental d'implantation des pluviomètres pour l'évaluation des performances de l'irrigation

#### 2.4- Le coefficient du déficit hydrique

Le coefficient du déficit hydrique (CDH en %) a été calculé pour chaque :

irrigation en utilisant la formule préconisée par Losada et *al.* (1990) et Dechmi et *al.* (2003) :

$$\begin{cases} CDH = \frac{\sum CDH_i}{j} \\ CDH_i = 100 \frac{h_d - h_i}{h_d}; h_i < h_d \end{cases}$$

où  $j$  est le nombre de placettes de 3 m x 3 m au niveau desquelles les hauteurs d'eau  $h_i$  collectées dans les pluviomètres sont inférieures à la hauteur d'eau distribuée par les asperseur  $h_d$ .

$$h_d = 1000 \frac{q_a t_a}{E_{as} E_r}$$

où  $q_a$ ,  $t_a$ ,  $E_{as}$  et  $E_r$  désignent respectivement le débit de l'asperseur ( $m^3/h$ ), le temps de l'essai (heures), l'écartement entre les asperseurs sur la rampe (18 m) et l'écartement entre les rampes (12 m).

### 2.5-Evaluation du bilan hydrique

Pour l'ensemble de la parcelle, l'irrigation est déclenchée dès l'épuisement de 50% de la réserve utile. Le coefficient de tarissement  $p = 0.5$  a été choisi en suivant la méthodologie développée par Allen et al. (1998). La conduite de l'irrigation a été effectuée sur la base d'un suivi du bilan hydrique sur le quart de la superficie de la maille soit sur six placettes (S1 à S6) de 3 m x 3 m (voir figure 2). Ainsi choisis, ces placettes représentent diverses situations de distribution d'eau et sont donc supposés être représentatifs de l'ensemble de la maille étudiée. Le stock d'eau dans le sol (à une profondeur de 1 m) a été apprécié au niveau des six placettes par la méthode gravimétrique. La consommation en eau de la culture est calculée en se basant sur l'équation du bilan hydrique :  $S_f = S_i + P_e + I - ET_c - D$  où  $S_i$ ,  $S_f$ ,  $ET_c$ ,  $I$ ,  $P_e$  et  $D$  désignent respectivement le stock d'eau initial au niveau de la zone racinaire, le stock d'eau final, l'évapotranspiration de la culture, la hauteur d'eau d'irrigation sur la saison d'irrigation, la pluie efficace

et les pertes d'eau par drainage. Tous les termes du bilan hydrique sont exprimés en mm.

L'évapotranspiration maximale de la culture  $ETM$  est calculée par :  $ETM = Kc \times ET_0$  où  $Kc$  est le coefficient cultural et  $ET_0$  l'évapotranspiration de référence.  $ET_0$  a été calculée par le programme EVAPOT suivant la méthode de FAO-Penman-Monteith.

Aussi, le programme KCISA développé par Rodrigues et al. (2000) a été utilisé pour le calcul du coefficient cultural en fonction du stade de développement végétatif par la méthode d'Allen et al. (1998). La variation en fonction du temps de la profondeur d'enracinement ( $Z_r$ ) et de la fraction de tarissement d'eau ( $p$ ) sont aussi évaluées par le programme KCISA.

## 3-Résultats et discussions

### 3.1. Evaluation des performances de l'irrigation

#### 3.1.1. Uniformité de distribution de l'eau

Le tableau 1 illustre les résultats d'évaluation de l'uniformité de distribution de l'eau. Les coefficients d'uniformité de Christiansen obtenus correspondent à une pression de fonctionnement de 3 bars et des vitesses du vent comprise entre 1.1 et 3 m/s.

Tableau 1 : Résultats d'évaluation de l'uniformité d'arrosage

Date	Irrigation (mm)	CU (%)
24/04	25	74.3
02/05	26	76.2
07/05	30	77.8
16/05	22	81.9
22/05	24.5	83.9
30/05	28	84.4
04/06	28.5	76.8
11/06	25	89.3
18/06	22	66.6

Sur l'ensemble de la saison d'irrigation, la valeur moyenne de CU est de 79 %. En se référant au seuil de distribution d'eau moyenne (CU de 75%) établi par Keller et Bliesner (1990), on peut dire que la répartition d'eau à la surface du sol a été acceptable. Bien que les conditions de vents enregistrées correspondent à des vents faibles à moyens, la bonne uniformité de distribution obtenue confirme l'intérêt de réduire les écartements perpendiculairement à la direction du vent dominant. Il convient aussi de noter l'importance d'adopter une pression de fonctionnement suffisante (3 bars dans notre cas) pour permettre un bon recouvrement entre les asperseurs. En comparaison avec les résultats de Yacoubi et al. (2005) en matière d'évaluation de l'uniformité d'arrosage sous une pression de 3.2 bars et un écartement de 12 m x 12 m (maille carrée), la bonne répartition d'eau en 18 m x 12 m dénote l'intérêt de disposer les asperseurs en une maille rectangulaire aussi bien sur le plan économique ou encore sur le plan main d'œuvre (réduction du nombre de déplacement des asperseurs en couverture partielle mobile ou semi-mobile). En utilisant les hauteurs d'eau cumulées sur l'ensemble de la saison d'irrigation,

la valeur de CU saisonnière est de 86 %. A ce propos, Keller et Bliesner (1990) soulignent que la variation de la vitesse du vent ainsi que sa direction améliore la distribution de l'eau à l'échelle de la saison d'irrigation. Nos résultats corroborent ceux de Sanden et al. (2000) quant à l'amélioration de l'uniformité de distribution par la succession des arrosages sur l'ensemble de la saison d'irrigation.

### 3.1.2. Coefficient du déficit hydrique

La figure 3 illustre la relation entre le coefficient de déficit hydrique moyen CDH et CU. Cette figure montre que la détérioration de l'uniformité d'arrosage, exprimée en termes de diminution de CU, engendre une augmentation significative du coefficient de déficit hydrique. Des résultats similaires ont été rapportés par Dechmi et al. (2003) en ce qui concerne l'étude de l'évaluation de l'effet du vent sur la distribution de l'eau et le rendement d'une culture de maïs irriguée en aspersion.

La relation linéaire établie entre CU et CDH présume l'existence d'un déficit hydrique même en bonnes conditions de répartition d'eau à la surface du sol. A titre indicatif, CDH serait de l'ordre de 29% pour une valeur de CU de 80%.

Cela signifie qu'un apport d'eau supplémentaire serait nécessaire si toutefois l'objectif serait la maximisation du rendement de la culture. Ce dernier résultat montre que la caractérisation de l'uniformité d'arrosage, en se basant uniquement sur le coefficient CU, ne permet pas d'apprécier convenablement la distribution de l'eau en irrigation par aspersion dans la mesure

où une valeur donnée de CU ne fournit pas une indication sur le déficit hydrique qui existe au niveau de la parcelle irriguée. Pour les cultures sensibles au stress hydrique, la relation CU-CDH constitue un outil simple et intéressant pouvant contribuer à l'amélioration de la gestion de l'irrigation par aspersion en conditions de ressources hydriques limitées.

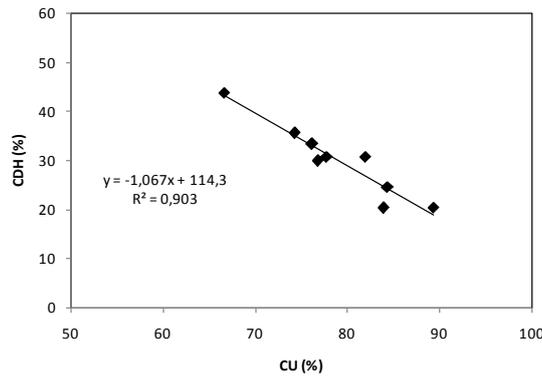


Figure 3: Relation entre le coefficient de déficit hydrique et l'uniformité d'arrosage

### 3.2-Evaluation de la conduite d'irrigation

La figure 4 présente l'évolution de l'évapotranspiration maximale de la culture ainsi que l'apport d'eau (I + P<sub>e</sub>) cumulés sur l'ensemble de la saison de la culture. Cette figure montre que

jusqu'au 110 jour après la plantation, la culture a été conduite dans des bonnes conditions d'alimentation en eau. Vers la fin du cycle, soit à partir de la sénescence foliaire, l'apport d'eau d'irrigation a été déficitaire par rapport à l'ETM.

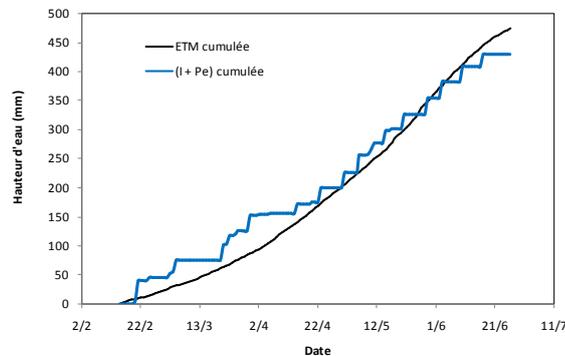


Figure 4: Evolution de l'ETM et de l'apport d'eau (I + P<sub>e</sub>) cumulés le long du cycle cultural

Le tableau 2 présente les résultats de l'évaluation des paramètres culturaux par le programme KCISA. L'ensemble de ces paramètres ont été utilisées pour le calcul du bilan hydrique et la détermination de la consommation en eau de la culture.

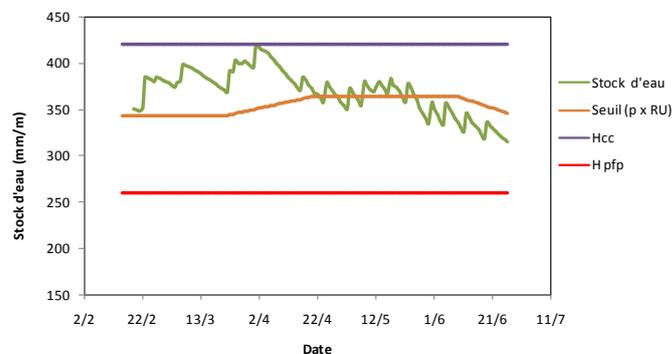
**Tableau 2 : Paramètres culturaux de la pomme de terre de saison**

Période	Stades de développement de la culture			
	Initial	Développement	Mi-saison	Final
	15/02 au 21/03	21/03 au 20/04	20/04 au 09/06	09/06/ 26/06
Durée (jours)	35	30	50	17
Kc	0.91	0.91 – 1.12	1.12	0.4
p	0.48	0.48 – 0.35	0.35	0.35-0.46
Z (m)	0.2 – 0.36	0.36 – 0.5	0.5	0.5

Kc : coeficient cultural, p : fraction de tarissement, Zr : profondeur d'enracinement (m).

Pour la maille étudiée, les hauteurs d'eau nettes appliquées durant le cycle cultural ont été de l'ordre de 312 mm alors que les précipitations enregistrées étaient de l'ordre de 117 mm. L'évaluation du bilan hydrique sur l'ensemble du cycle cultural a montré que la contribution de la nappe à l'approvisionnement en eau de la culture était nulle, on peut donc affirmer que la consommation en eau et le rendement de la culture ont été tributaires de l'irrigation et de la pluie effective. La figure 5 illustre l'évolution du stock

d'eau dans le sol au niveau de la maille d'étude. On remarque que la culture a été maintenue dans des bonnes conditions d'alimentation en eau à partir de la plantation jusqu'à la fin du mois de mai (soit environ 13 jours avant le début de la sénescence foliaire). Par la suite, la figure 5 montre que la culture a été en conditions hydriques déficitaires avec un stock d'eau dans le sol inférieur au seuil optimal d'irrigation qui correspond au rendement optimum.



**Figure 5 :** Evolution du stock d'eau dans le sol au niveau de la maille d'étude 18 m x 12 m

### 3.3-Réponse de la culture vis-à-vis de l'eau

En se basant sur le bilan hydrique, on peut établir les résultats du tableau 4. Ce tableau indique que la consommation en eau de la culture ( $ET_c$ ) a été de 445 mm sur l'ensemble du cycle cultural, soit un déficit de consommation de l'ordre de 6 % par rapport à l'ETM. La valeur de l'évapotrans-

piration relative ( $ET_c/ETM$ ) montre que la culture a été conduite dans des bonnes conditions d'alimentation en eau. Quant à la productivité de l'eau (rendement réel de la culture rapporté à l'apport d'eau ( $I + P_c$ ) cumulé), les résultats indiquent une valeur d'efficacité d'utilisation de l'eau de  $9.7 \text{ kg m}^{-3}$ .

**Tableau 3:** Réponse de la pomme de terre vis-à-vis de l'eau

Irrigation (mm)	Pluie (mm)	$ET_c$ (mm)	$ET_c/ETM$ (%)	Rendement réel ( $T \text{ ha}^{-1}$ )	Productivité ( $\text{kg m}^{-3}$ )
312	117	445	94	41.7	9.7

### 4-Conclusion

L'approche utilisée dans ce travail pour l'étude de l'interaction entre les performances de l'irrigation par aspersion et la réponse à l'eau de la culture est fondée sur un essai expérimental de suivi et d'évaluation de l'irrigation sur une culture de pomme de terre de saison irriguée avec un écartement de  $18 \text{ m} \times 12 \text{ m}$  sous une pression de 3 bars. Les résultats d'évaluation de la distribution de l'eau dénotent une uniformité d'arrosage acceptable avec un CU moyen de 79% et un CU saisonnier de 86%. Cette bonne répartition d'eau est attribuable à une disposition géométrique adéquate des asperseurs par rapport à la direction dominante du vent et aussi à la pression de fonctionnement suffisante et stable sur la saison d'irrigation. Les résultats ont permis de mettre en évidence

l'intérêt de coupler le coefficient d'uniformité d'arrosage avec le coefficient de déficit hydrique en vue d'améliorer la gestion de l'irrigation en conditions de ressources en eau limitées. Quant à la réponse de la culture vis-à-vis de l'eau, les résultats de suivi et d'évaluation du bilan hydrique ont montré que la culture a été conduite en bonne conditions d'alimentation en eau avec un rapport  $ET_c/ETM$  de 94%. Aussi, la consommation en eau de la culture et le rendement obtenu ont été tributaires de l'apport d'eau. Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail constituent une contribution à l'acquisition de références techniques sur les performances de l'irrigation par aspersion en vue d'améliorer la gestion de l'irrigation en fonction des conditions opératoires et climatiques.

### Références bibliographiques

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. (1998) : Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, *FAO Irrigation and Drainage paper 56, Rome, Italy.*

- Burt, C.M., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Solomon, K.H., Bliesner R.D., Hardy, L.A., Howell, T.A., Eisenhauer, D.E. (1997) : Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE* **123(6)**: 423-442.
- Christiansen J.E. (1942) : Irrigation by sprinkling. Bulletin 670, California Agricultural Experimental Station, University of California, Berkley, California, USA.
- Clement, R. et Galand, A. (1979) : Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression. *Editions Eyrolle, Paris*.
- Dechmi F., Playán E., Cavero J., Faci J.M., Martínez-Cob A. (2003) : Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth yield of maize. *Irrigation Science*, Vol. **22**: 67-77.
- Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux, Ministère de l'Agriculture, Tunisie., DG/GRRE. (2012) : Suivi des réalisations en économie d'eau d'irrigation.
- ISO 7749/2. (1990) : Norme internationale. Matériel d'irrigation- Asperseurs rotatifs. Partie 2: Uniformité de la distribution et méthodes d'essai.
- Keller J., Bliesner R.D. (1990). Sprinkler and trickle irrigation, Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Losada, A., Juana, L., Roldan, J. (1990) : Operation diagrams for irrigation management. *Agric. Water Manage.*, **18** : 289-300.
- Merriam, J.L., Keller, J. (1978) : Farm irrigation system evaluation: a guide for management, Utah State University, Logan, Utah.
- Montero J., Martínez, R.S., Tarjuelo J.M. (2004) : Analysis of water application cost with permanent set sprinkler irrigation systems. *Irrigation Science*, **23**: 103–110
- Playán E., Mateos L. (2006) : Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*, **80**, 100-116.
- Rodrigues, P.N., Pereira, L.S., Machado, T. (2000) : KCISA: A program to compute the time averaged crop coefficients. Application to field grown vegetable crops. In M.I. Ferreira and H. G. Jones (Eds.) Proceedings of the Third International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. *ISHS, Acta Horticulturae Nr. 537, Leuven, Vol. I*: 535-542.
- Sanden B.L., Wu L., Mitchell J.P., Allaire-Leung S.E. (2000) : Sprinkler lateral spacing impacts on field distribution uniformity of precipitation and carrot yield. ASAE, Proceeding of the 4<sup>th</sup> Decennial Symposium, Phoenix, Arizona.
- Tarjuelo, J.M., Valiente, M., and Lozoya, J. (1992) : Working conditions of sprinkler to optimize application of water. *J. Irrig. Drain. Eng.*, **118(6)**: 895–913.
- Tarjuelo J.M., Montero J., Honroubia F.T., Ortiz J.N., Ortega J.F. (1999) : Analysis of uniformity of sprinkler irrigation in semi-arid area. *Agricultural Water Management*, **2(40)** : 315-331.

*Samir YACOUBI, Adel SLATNI, Taoufik OUESLATI & Khémaies ZAYANI*

- Vories, E., Von Bernuth R.D. (1986). Single nozzle sprinkler performance in wind. Transactions of the ASAE 29(5): 1325-1333.
- Yacoubi, S., Zairi, A., Oueslati, T., Slatni, A., Amami, H., Ajmi, T., Ben Nouna, B. (2005) : Influences mutuelles des performances de l'irrigation par aspersion et du pilotage de l'irrigation- Impact sur le rendement de la pomme de terre. Actes du Séminaire Euro - Méditerranéen « Modernisation de l'Agriculture Irriguée » Tome1, Projet INCO-WADEMED, Rabat, Maroc, du 19 au 23 avril 2004, pp: 136-149.

**Etude comparative de la valeur nutritionnelle des deux cultivars de figuier (*Ficus carica* L.) de la région aride tunisienne après séchage**

Khadhraoui Marwa, Lachiheb Belgacem, Chaira Nizar et Ferchichi Ali  
Laboratoire d'Aridoculture et Cultures Oasiennes - Institut des Régions Arides  
(IRA) de Médenine

Email : [Marwita.k@gmail.com](mailto:Marwita.k@gmail.com)/ [khadhraoui.marwa88@gmail.com](mailto:khadhraoui.marwa88@gmail.com)

**ملخص :**

يهدف هذا العمل في إطار تقييم أنواع الفاكهة في المناطق القاحلة. وقد أجريت الدراسة على نوعين من التين الجاف مزروعة في الجنوب التونسي (*Ficus carica* L.). اهتمت الدراسة بصنفي ماقولي وحموري وأجريت التحاليل على الإمكانات الغذائية لهذين الصنفين. تشمل التدابير المواد النشطة بيولوجيا مثل البوليفينول والفلافونويد، والمواد الغذائية مثل السكريات... تم تحديد مجموع محتويات البوليفينول من خلال طريقة Folin ciocalteu التي أظهرت أن أنواعا مختلفة من التين تعتبر غنية نسبيا في إجمالي البوليفينول، مرتبة كما يلي 375.35 ملغ / 100 غ و 400.89 ملغ / 100 غ مادة جافة على التوالي لـ ماقولي وحموري. وقع قياس الكمية من إجمالي فلافونيدات من خلال طريقة ثلاثي كلوريد الألومنيوم، وتتراوح المقادير بين 139.72 غ / 100 غ مادة جافة (صنف الحموري) و 85.85 غ / 100 غ مادة جافة (صنف ماقولي). يعتبر كلا الصنفين جد حيويين نظرا لثرائها من السكر. تم الكشف عن مجموع محتوى السكر عن طريق HPLC. أظهرت النتائج أن السكريات الكلية تتمثل فقط من سكر الفواكه والجلوكوز. تختلف مستويات خفض السكريات من 28.24 غ / 100 غ (صنف ماقولي) إلى 31.22 غ / 100 غ (صنف الحموري).

**Résumé :**

Ce présent travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des espèces fruitières des régions arides. L'étude est réalisée sur deux variétés de fruits séchés de figuier cultivées au Sud tunisien (*Ficus carica* L.) : Hamouri (HAM) et Magouli (MAG). Des analyses sur le potentiel nutritionnel ont été réalisées sur ces deux variétés. Les mesures portent sur les substances bioactives telles que les polyphénols et les flavonoïdes, et les substances nutritives telles que les sucres... Les teneurs en polyphénols totaux ont été déterminées par la méthode de Folin Ciocalteu qui a révélé que les différentes variétés de figues sèches analysées sont relativement riches en polyphénols totaux. Les teneurs sont de l'ordre de 375.37 mgEAG/100g et 400.89 mg EAG/100g de matière sèche respectivement pour Magouli et Hamouri. La mesure de la quantité des flavonoïdes totaux est réalisée par la méthode au trichlorure d'aluminium. Les valeurs oscillent entre 139.72 g / 100g MS (Hamouri) et 85.85g/100g MS (Magouli). Ces deux cultivars sont aussi très énergétiques par référence à leur richesse en sucres réducteurs. Les teneurs en sucres totaux ont été détectées par HPLC. L'ensemble des résultats obtenus montre que les sucres totaux sont représentés seulement

Marwa KHADHRAOUI, Belgacem LACHIHEB, Nizar CHAIRA & Ali FERCHICHI

par les sucres réducteurs, fructose et glucose. Les teneurs en sucres réducteurs varient de 28.24g/100g (Magouli) à 31.22g /100g (Hammouri).

Mots clés : *Ficus carica* L., Sud tunisien, variétés, polyphénols, substances bioactives, substances nutritives, Potentiel nutritionnel, sucres réducteurs, HPLC.

### Summary:

The present work is part of the valuation of fruit species in the arid region. The study was conducted on two varieties of dry fruits dried grown in southern Tunisia (*Ficus carica* L.) whose designations are: Hamouri (HAM) and Magouli (MAG). Analyses of the nutritional potential were performed on these two varieties, measures include bioactive substances such as polyphenols and flavonoids, and nutrients such as sugars ... total polyphenol contents were determined by the method of Folin Ciocalteu which revealed that the different varieties of figs analyzed are relatively rich in total polyphenols, the contents of the order of 375.37 mgEAG / 100g and EAG 400.89 mg / 100g dry matter, respectively Magouli and Hamouri. The quantitative estimation of total flavonoids is achieved by the method of aluminum trichloride, the values range between 139.72 g / 100g MS (cultivar Hamouri) and 85.85g / 100g MS (cultivar Magouli). Both cultivars are also very energy by reference to their wealth by reducing sugar. The total sugar content were detected by HPLC. The overall results showed that total sugars are represented only by reducing sugars, fructose and glucose. the levels of reducing sugars vary from 28.24g / 100g (cultivar Magouli) to 31.22g / 100g (cultivar Hammouri).

**Keywords:** *Ficus carica* L., southern Tunisia, varieties, polyphenols, bioactive substances, nutrients, nutritional potential, reducing sugars, HPLC.

### 1-Introduction

Le figuier (*Ficus carica* L.) est l'un des plus anciens arbres fruitiers connu dans le monde. La Méditerranée, a été le plus important centre de figuier cultivé depuis des temps immémoriaux.

En Tunisie, le figuier est très répandu et sa culture s'étend dans les régions froides et humides comme dans les régions chaudes et sèches. La culture de

cette espèce occupe une superficie de 17000 ha pour l'année 2007 (FAOSTAT, 2007) correspondant à une production de 22000 tonnes/an.

Le figuier a pendant longtemps constitué une source de subsistance. En plus de sa capacité d'adaptation, il est très productif et dispose de différents intérêts thérapeutiques.

La recherche sur les substances naturelles de cette espèce comme d'autres, est un thème porteur depuis quelques années et les laboratoires pharmaceutiques sont toujours prêts à l'élaboration de nouveaux composés actifs, à l'identification, à la caractérisation des molécules naturelles et à la mise au point des médicaments qui ont pour origine des substances naturelles et de s'inspirer de leurs structures moléculaires pour imaginer de nouveaux médicaments.

## **2-Matériel et méthodes**

### **2.1. Matériel végétal**

L'étude est réalisée sur deux variétés de figuiers représentant deux dénominations distinctes Magouli et Hamouri provenant de la collection de l'Institut des régions Arides Medenine (IRA) (récolte de l'année 2008). Après séchage des figues à l'air libre, l'échantillon est broyé finement avec un mortier et conservé au frais dans un récipient fermé hermétiquement jusqu'au jour d'analyse.

### **2.2. Extraction des polyphénols**

Pour extraire les polyphénols de figue sèche par macération, 50 ml de méthanol sont ajoutés à 20 g de figuier. Après le broyage manuel suivi d'une filtration à l'aide d'un papier filtre, les filtrats sont centrifugés pendant 15 min à 2000t/min à température ambiante. Les surnageants sont récupérés, et immédiatement stockés à -20 ° C. Chaque extrait est conservé dans un

tube conique sombre, à -20°C, jusqu'à l'analyse.

### **2.3. Dosage des polyphénols totaux**

Dans ce travail, la teneur en polyphénols totaux des extraits a été déterminée par le réactif de Folin-Ciocalteu suivant le protocole décrit par Hayouni et *al.* (2006) avec quelques modifications.

Le dosage est réalisé selon la technique décrite par Chaira et *al.* (2009). A une fraction de l'extrait méthanolique (40 µl) dilué 1/50 dans le méthanol 80% et 1,8 ml réactif de Folin dilué 1/10 dans l'eau distillée. Le mélange est bien agité par vortex, laissé agir pendant 5min puis ajouter 1,2 ml de solution à 7,5 % de carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Après une bonne agitation, le mélange est incubé pendant 1 h à température ambiante et à l'obscurité. Ensuite, l'absorbance des différentes solutions est déterminée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV/VIS. Afin de quantifier les polyphénols totaux, une gamme étalon à base de l'Acide gallique est préparée parallèlement dans les mêmes conditions.

### **2.4. Quantification des flavonoïdes totaux par spectrophotométrie**

Les flavonoïdes contenus dans les extraits méthanoliques du figuier sèche sont estimés par la méthode de chlorure d'aluminium (AlCl<sub>3</sub>) et déterminés par spectrophotomètre.

Le dosage des flavonoïdes a été effectué suivant la méthode décrite par Chaira et *al.*, (2009).

1ml d'une solution méthanolique d' $\text{AlCl}_3$  (2%) est rajouté à 1ml de l'extrait de la plante ; après 10 minutes d'incubation à une température ambiante, l'absorbance du mélange est lue à 430 nm, la quercétine est utilisée comme un standard, la quantité des flavonoïdes est estimée en mg EQ/g d'extrait sec de la plante.

Dans ce travail, différentes concentrations de quercétine sont préparées pour servir à tracer la courbe d'étalonnage.

### 2.5. Détermination de la teneur en sucres

Les sucres réducteurs (fructose, glucose) solubles de fruits du figuier étudiés ont été extraits par 50 ml d'un mélange eau-éthanol (20:80) à partir d'un échantillon de 6g. Le mélange a été chauffé dans une chauffe ballon lié à un reflux pendant 1 heure et 30 minutes. L'extracteur est une pièce de verrerie permettant d'effectuer une extraction solide-liquide avec une grande efficacité. L'appareil porte le nom de son inventeur : Franz von Soxhlet.

$$\text{Cech (g/l)} = \text{Ceta} \times (\text{Aech} / \text{Aeta}) \times (\text{V/M})$$

**Avec :** Cech : concentration dans l'échantillon;

Ceta : concentration dans la solution étalon ;

Aech: aire du pic dans la solution d'échantillon;

Aeta : aire du pic dans la solution de étalon;

M : prise d'essai en g;

V : volume dans lequel est diluée la prise d'essai en ml.

## 3-Résultats et discussion

### 3.1. Teneur en polyphénols

En utilisant l'équation de la courbe de tendance linéaire de DO en fonction de la concentration correspondante de la

Les solutions obtenues sont évaporées à l'aide d'un évaporateur rotatif sous vide afin d'extraire le solvant. Les échantillons ont été par la suite ajustés à 50 ml par de l'eau ultra pure et filtrés en utilisant du papier filtre. Une centrifugation pendant 10 minutes à 10000 rpm suivi d'une deuxième filtration par un filtre de 0.45 $\mu\text{m}$  (pour le surnagent) ont été effectués. Un volume de 20 $\mu\text{l}$  de l'extrait final (chaque échantillon à part) a été injecté dans le système HPLC par un passeur automatique (Chaira *et al.* 2009).

La quantification des composés est faite par comparaison avec les standards (glucose, fructose et saccharose) (méthode de l'étalon externe). La surface des pics est déterminée par le logiciel Euro chrome 2000. Les résultats ont été exprimés en mg/100g MS.

Les concentrations sont calculées par la formule suivante :

courbe standard, on calcule pour chaque échantillon son équivalent en acide gallique.

Les résultats sont exprimés en mg d'acide gallique par 100 g de matière

sèche (mg EAG/100 g MS) a partir de la formule précédente : **mg EAG/g extrait = P x (V/m)** On peut résumer les résultats dans le tableau 1 :

**Tableau 1.** Quantités des polyphénols dans les deux cultivars de figues séchées exprimées en mg équivalent acide gallique/100g.

Echantillon	DO moyenne	P moyennes en mg/l	Teneur de polyphénols en mgEAG/100 g MS
Magouli	0,1413	150,14±2,64	375,3
Hammouri	0,1506	160,35±2,75	400,8

Les polyphénols regroupent un vaste ensemble de substances chimiques comprenant au moins un noyau aromatique, et un ou plusieurs groupes hydroxyles, en plus d'autres constituants. Ils peuvent aller de molécules simples, comme les acides phénoliques, à des composés hautement polymérisés, de plus de 30000 Dalton, comme les tannins (Sarni et Cheynier 2006).

Comme la majorité des composés secondaires, les polyphénols sont produits par les plantes afin d'accomplir des fonctions précises, les plus notoires étant :

- défense contre les pathogènes ; principalement les moisissures et les bactéries phytopathogènes ; attraction des pollinisateurs ; protections contre les rayonnements UV ; molécules qui donnent des arômes et parfums aux plantes. Ce qui sert principalement à repousser les herbivores. Exemple : les polyphénols des pélargoniums ;chez l'homme, ces molécules traces jouent un rôle important en agissant directement sur la qualité nutritionnelle des fruits et

légumes et leur impact sur la santé des consommateurs (effet anti-oxydant, effet protecteur contre l'apparition de certains cancers etc.) (Macheix *et al.*, 2005).

Un certain nombre d'études ont montré que la présence de composés phénoliques dans les aliments, en particulier dans les fruits, peuvent être particulièrement importants pour les consommateurs, en raison de leurs propriétés bénéfiques pour la santé. En plus des effets antioxydants, ces composés possèdent un large éventail de propriétés et peuvent également avoir un effet bénéfique dans la prévention du développement des maladies comme le cancer, les maladies cardio-vasculaires et le diabète (Lattanzio, 2003).

La teneur en polyphénols totaux des fruits des figuiers étudiés était de l'ordre de 375,3mgEAG/100g MS pour le cultivar MAG et 400,8 mgEAG/100g MS pour le cultivar HAM.

Le dosage des polyphénols totaux (acide gallique équivalent) permet de montrer que les figues sont très riches en composés phénoliques. La richesse

en ces composés peut être attribuée aux facteurs génétiques (critère variétal) comme l'ont indiqué Charles et Benbrook (2005).

Par ailleurs, les polyphénols ont un pouvoir antioxydant et des vertus biologiques. Ils interviennent dans la prévention des maladies dégénératives, cardiovasculaires et cancéreuses. Les apports journaliers en antioxydant non-nutriments sont de l'ordre de 100 à 1000 mg (Amellal- Chibane, 2008).

La moyenne la plus importante a été enregistrée sur les figues de couleur foncée (HAM). Il en ressort, que la localisation des polyphénols est essentiellement dans les peaux et participent à la détermination de la couleur des fruits (Amellal- Chibane, 2008).

En cas de séchage, les teneurs en polyphénols totaux semblent inférieures à celles notées par Vinson (1999) qui a précisé que les figuiers peuvent renfermer 1090 à 1110 mg de polyphénols totaux par 100g de fruits, en fait, l'entreposage (stockage) peut également influencer sur le contenu des polyphénols qui sont facilement oxydés. Les réactions d'oxydation conduisent à la formation de substances plus ou moins polymérisées qui conduisent à des changements dans la qualité des aliments, en particulier dans la couleur et les caractéristiques organoleptiques. Notant comme exemple, les résultats de stockage de la farine de blé marquent une perte d'acides phénoliques. Après 6 mois de

stockage, les farines contenant les mêmes acides phénoliques, en termes qualitatifs, mais leurs concentrations sont moins de 70% (Manach *et al.*, 2004), mais au même temps ces teneurs paraissent supérieures à celle noté pour la figue fraîche qui est de l'ordre de 92,5 mg/100g (Bostan *et al.*, 1998), cela serait attribuable, à la formation de nouveaux composés durant le séchage.

La composition phénolique peut être influencée par différentes conditions stressantes tels que la sécheresse, la pollution, les attaques des pathogènes etc. Nozolillo (1990) a affirmé que les changements climatiques telles que l'élévation ou la diminution de la température favorisent la production des composés phénoliques, cependant Jessica Scalzo (2005) a indiqué que le contenu phénolique est influencé par le génotype des plantes.

En effet, les conditions de stress hydrique relativement inhérentes au Sud Tunisien (faible pluviométrie) peuvent induire la richesse en ces composés. En fait, une insuffisance de l'apport hydrique chez le végétal tend à générer une situation de stress qui induit la production des phénols.

Les figues séchées possèdent une bonne capacité antioxydante, mais elle est moins élevée que celle d'autres fruits séchés comme les abricots, les pruneaux et les raisins (Pellegrini *et al.*, 2006).

### 3.2. Teneur en flavonoïdes

L'organisme humain ne synthétise pas de flavonoïdes mais, de manière générale, celles-ci sont largement rencontrées dans le règne végétal. Nous retrouvons les flavonoïdes dans notre alimentation quotidienne (Manach, et al., 2004). Les fruits (orange, raisin, etc.), les légumes (oignon, laitue, etc.), mais également les graines (fève, cacao) ou encore les racines des plantes sont, pour l'homme, des sources importantes de flavonoïdes. La figue sèche est également connue par sa richesse en flavonoïdes.

En utilisant l'équation de la courbe de tendance linéaire, où y représente la DO et x représente la concentration, correspondante de la courbe standard, on calcule pour chaque échantillon son équivalent (x) en quercétine en remplaçant y par la valeur de DO.

Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent en quercétine par g de matière sèche (mg EQ/ g MS) à partir de la formule précédente : **mg EQ/g extrait = P x (V/m)**

On peut résumer nos résultats dans le tableau 2.

Tableau 2 : Quantités des flavonoïdes dans les deux cultivars de figes séchées exprimées en mg équivalent quercétine/100g.

Echantillon	DO moyenne	P moyennes mg/l	mgEQ/100g MS
<b>Hamouri</b>	0,353	5,589 ±1,01	139,72
<b>Magouli</b>	0,217	3,434 ±0,18	85,85

Le dosage des flavonoïdes (quercétine équivalent) permet de montrer que les figes sont très riches en ces composants. La teneur en flavonoïdes est plus importante chez le cultivar HAM de couleur brun que le cultivar MAG de couleur jaune-vert. Elle est, respectivement, de l'ordre de 139,72 mgEQ/100 g et 85,85 mgEQ/100g de matière sèche.

En fait, Les flavonoïdes sont des pigments responsables de la coloration des fleurs, des fruits et des feuilles et sont susceptibles d'assurer la protection des tissus contre les effets nocifs du rayonnement UV. Les pigments responsables de la coloration des fleurs

représentent des signaux visuels qui attirent des animaux pollinisateurs (Brouillard et al., 1997).

La teneur en flavonoïdes des aliments végétaux est fortement influencée par des facteurs tels que la variation du type de croissance, la saison, le climat, le degré de maturité etc. (Lugasi et al., 2003).

Les flavonoïdes montrent plusieurs effets biologiques tels que des effets antiulcéreux, anti-inflammatoires anti-hépatotoxique, antiallergique, antiviraux et certains fournissent une protection contre les maladies cardiovasculaires et peuvent aussi inhiber la croissance de diverses variétés de

lignées de cellules cancéreuses (Narayana *et al.*, 2001). Ce sont des antioxydants efficaces, ayant la capacité de piéger les radicaux libres.

### 3.3. Teneur en glucide

La technique HPLC appliquée pour la détection des composés et la quantification de la concentration des

sucres (tableau 3) dans les extraits de figuier a prouvé l'existence essentiellement des sucres réducteurs (glucose et fructose) pour les cultivars étudiés. Ces valeurs sont extraites à partir des chromatogrammes illustrés dans la figure 1.

Tableau 3. Valeurs moyennes des sucres exprimés en g/100g de matière sèche

Variétés	Fructose	Glucose	Sucres totaux
Magouli	14,64	13,60	28,24
Hamouri	15,60	15,62	31,22

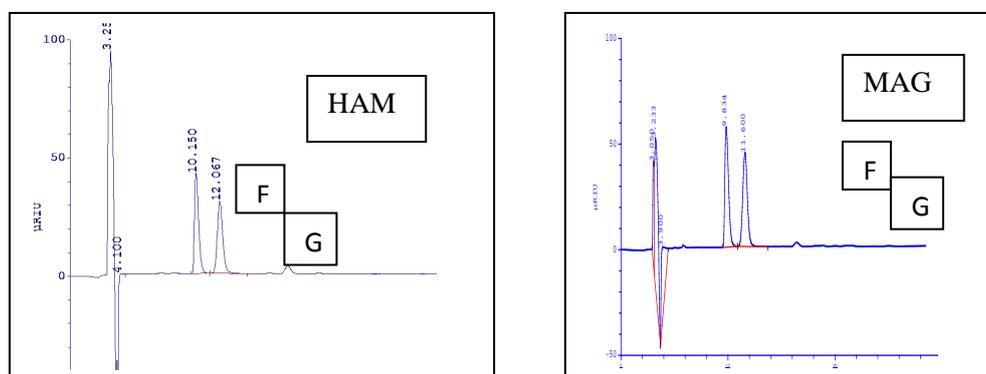


Figure 1. Chromatogrammes des sucres solubles chez cultivar HAM et MAG

(F : fructose, G : glucose)

Les analyses des sucres par HPLC ont montré l'absence du saccharose dans les deux extraits : seuls les sucres réducteurs sont signalés présents. En effet, les teneurs en sucres totaux sont différents, elles varient de 31,22 g/100g chez la variété Hamouri à 28,24g/100g MS chez la variété Magouli.

Les concentrations les plus faibles en fructose et glucose sont observées chez la variété Magouli avec des teneurs égales respectivement 14,64g/100g et 13,60g/100g (MS) et les plus fortes sont trouvés chez le cultivar Hamouri avec des teneurs en fructose et glucose

respectivement 15,60 g/100 g et 15,62 g/100 g (MS).

Cette différence est due essentiellement à la variabilité génétique des différents cultivars. Les cultivars étudiés présentent tous des teneurs en glucose plus importantes que celles en fructose.

S'agissant de glucides, le fructose (~ 43%) et le glucose (~ 56%) sont les sucres dominants dans toutes les variétés des figues analysées (Çalisikan et Polat, 2011). Cependant, le saccharose se trouve à un taux très bas.

Le saccharose et le maltose sont indétectables, ceci est due en fait à la faible concentration de ces deux sucres dans la figue, ne dépassant pas 1 %.

La méthode d'extraction utilisée dans ce travail ne permet pas de détecter le saccharose quand il existe en traces.

En fait, la concentration en sucres solubles des jus détermine le potentiel alcoolique et intervient dans l'équilibre des saveurs (Guyot et Drilleau, 1998). Donc La teneur en sucres des fruits est un facteur très important pour la table de composition chimique qui permet de fournir une idée sur l'authenticité des jus de fruits, ainsi le contenu en sucres totaux est très corrélé avec le goût de ces jus, basé sur l'évaluation sensorielle. Le cultivar HAM pour-rait être mieux valorisé.

En comparant nos valeurs avec celles de figes fraîches (18g/100g) selon Vidaud et *al.*, (1999) et Bostan et *al.*, (1998), on trouve qu'ils sont plus important puisque le processus de séchage assure la déshydratation de fruits donc la diminution de la quantité d'eau alors l'augmentation de la concentration en sucre de fruit séché.

Selon Pilando et Woolstad (1992), les figes sont riches en glucose et fructose. Les glucides constituent le groupe le plus important des substances organiques entrant dans la composition chimique des végétaux. Cette teneur en glucides (le glucose et le fructose sont les principaux sucres du fruit) varie entre les cultivars en fonction de divers

facteurs : luminosité, température, irrigation et engrais.

#### 4-Conclusion

Le figuier a pendant longtemps constitué une source de subsistance de la population dans le Sud tunisien. En plus de sa capacité d'adaptation, il est très productif et dispose de différents intérêts thérapeutiques.

L'objectif de ce travail était de mieux caractériser les molécules bioactives et nutritionnelles de deux cultivars locaux de figuiers

A la lumière des résultats, il ressort que les deux cultivars Hamouri et Magouli, étudiés, disposent d'un énorme potentiel et constituent un patrimoine important qui mérite d'être valorisé.

La détermination des teneurs en polyphénols totaux ont montré la richesse des figes du Sud tunisien en cet élément. En effet, une supériorité des teneurs en poly-phénols totaux a été observée chez le cultivar Hamouri qui est de l'ordre de 400.8 mg/100g MS. Les conditions de stress hydrique relativement inhérentes au Sud Tunisien peuvent être à l'origine de cette richesse.

La teneur en flavonoïdes est plus importante chez le cultivar HAM de couleur brun que le cultivar MAG de couleur jaune-vert. Elle est, respectivement, de l'ordre de 139.72 mg et 85.85 mg/100g de matière sèche.

Outre les composés phénoliques, les analyses des sucres par HPLC ont montré l'absence du saccharose dans

Marwa KHADHRAOUI, Belgacem LACHIHEB, Nizar CHAIRA & Ali FERCHICHI

les deux extraits : seuls les sucres différents, elles varient de 31.22 g/100g réducteurs sont signalés présents. En chez la variété Hamouri à 28.24g/100g effet, les teneurs en sucres totaux sont MS chez la variété Magouli.

### Références bibliographiques

- Amellal-Chibane H. (2008) : *Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes : Formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé*. Thèse de doctorat. Faculté des sciences de l'ingénieur. Boumerdes (Algérie). 203 p.
- Bostan S. Z., Islam A. &Aygün A. (1998) : A study pomological characteristics of local fig cultivars in Northern Turkey. *Acta Horticulturae*480: 71-73.
- Brouillard R., Figueiredo P., Elhabiri M. et Dangles O. (1997) : Molecular interactions of phenolic compounds in relation to the colour of fruits and vegetables. P. 30-49. In: *Phytochemistry of fruit and vegetables Proceedings of Phytochemical Society of Europe*. Oxford, UK : Clarendon Press.
- Çalisikan O., Polat A.A., (2011) : Phytochemical and antioxidant properties of selected fig (*Ficus carica*L.) accessions from the eastern Mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulturae ;128 :473-478*.
- Chaira N., Mrabet A. and Ferchichi A. (2009) : Evaluation of antioxidant activity phenolics, sugar and mineral contents in date palm fruits. *J. Food.Biochem.*33, 390-403.
- Charles, M., et Benbrook, Ph.D. (2005) : Accroître la teneur en antioxydants des aliments grâce à l'agriculture et à la transformation alimentaire biologiques. Rapport sur l'état des connaissances scientifiques.
- FAO (2007) : Production / ProdStat / Crops. By Food and Agriculture Organisation of the United Nations from <http://faostat.fao.org/>.
- Guyot S. &Drilleau J. F. (1998) : Les composés phénoliques comme facteurs de diversité et de typicité des cidres français. *Polyphénols Actualités*, 18: 9-13.
- Hayouni, E.A, Abedrabba, M .,Bouix, M., Hamdi, M. 2006.The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian *Quercus coccifera* L. and *Juniperus phoenicea* L. fruit extracts. *FoodChem.*, (in press).
- Jessica Scalzo.,AlessiaPoliti., NicolettaPellegrini., Bruno Mezzetti& Maurizio Battino. (2005) : Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition, Volume 21, Issue 2 : 207-213*.
- Lattanzio V., 2003. Bioactive polyphenols: Their role in quality and storability of fruit andvegetables. *Journal of Applied Botany; 77:128-146*.
- Lugasi A., Sági K.V. and Biro L. (2003) : The role of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases. *Acta Biologica Szegediensis*. 47, 119-125.

- Macheix J J., Fleuriet A. et Jay–Allemant C.( 2005) : Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Ed Presses polytechnologiques et universitaires romandes. p4-5.
- Manach C., Scalbert A., Morand C., Rémésy C. and Jiménez L., (2004) : Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, vol.79, pp727– 47.
- Narayana K. R., Reddy M. S., Chaluvadi M. R. et Krishna D. R. (2001) : Bioflavonoids Classification, Pharmacological, Biochemical Effects and Therapeutic Potential. *Indian Journal of Pharmacology*. 33, 2-16.
- Nozolillo, C., Isabelle, P., & DAS, G. (1990) : Seasonal changes in phenolics constituents of jack pine seedlings (*Pinusbanksiana*) in relation to the purpling phenomenon.*Can.J.Bot*, 68,2010-2017.
- Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Del Rio, D., Salvatore, S., Bianchi, M., Brighenti, F. (2006) : Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *J. Nutr.* 133, 2812–2819.
- Pilando L. &Woolstad R.E. (1992) : Composition Profiles of Fruit Juices Concentrates and Sweeteners. *Food Chemistry*, 44: 19-27.
- Sarni-Manchado, P. &Cheynier, V.( 2006) : Les polyphénols en agroalimentaire. *Tec & Doc, Lavoisier, Paris*, 398 p.
- Vidaud, J., Baccaunaud, M., Caraglio, Y., Hutin, C. & Roger, J.P. (1997) : Le figuier. Ctif,Paris, 263 p.
- Vinson J. A. (1999) : The Function food proprieties of figs. *American Association of Cereal & Chemistry* (44/) 2: 82-87.



## Impact des activités humaines sur la dynamique de l'occupation des terres dans le gouvernorat de Médenine entre 1969 et 2010

Tarhouni Mohamed\*, Ben Salem Farah & Neffati Mohamed

Laboratoire d'Ecologie Pastorale. Institut des Régions Arides de Medenine. 4119 Tunisie.

[Bensalemf@yahoo.fr](mailto:Bensalemf@yahoo.fr) (Ben Salem F); [Neffati.Mohamed@ira.rnrt.tn](mailto:Neffati.Mohamed@ira.rnrt.tn) (Neffati M.)

\* Auteur correspondant : Tel. 00 216 75 633 005 Fax. 00 216 75 633 006

E mail. [medhtarhouni@yahoo.fr](mailto:medhtarhouni@yahoo.fr)

ملخص :

تعتبر التركيبة الحالية للعشائر النباتية بالجنوب التونسي نتيجة لديناميكية طويلة امتدت لعشرات السنين. بالتوازي مع تأثيرات المناخ تلعب الاستعمالات البشرية دورا مهما في تدهور الغطاء النباتي. خصص هذا العمل لدراسة ديناميكية الكساء النباتي الطبيعي بولاية مدنين بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية (انجاز خرائط النظم البيئية لسنتي 1969 و 2010 بكامل الولاية). بينت أهم النتائج أن الكساء النباتي الطبيعي في تدهور مستمر منذ 1969 حتى 2010 و ذلك نظرا للتمدد العمراني و لتطور المساحات الفلاحية بالجهة. كلمات مفاتيح: تخريط، نظم معلومات جغرافية، ديناميكية، استعمال الأراضي، مدنين.

### Résumé

La physionomie actuelle des communautés végétales naturelles de la Tunisie méridionale est la résultante d'une longue dynamique échelonnée sur plusieurs décennies. Outre l'influence de la précarité climatique, on souligne l'effet fortement amplifié de la pression humaine dans le processus de dégradation du tapis végétal. Dans le présent travail nous tentons de montrer l'évolution de la végétation naturelle dans le gouvernorat de Médenine sous l'effet d'une emprise humaine très accentuée et des conditions climatiques de plus en plus précaires moyennant la télédétection et les systèmes d'informations géographiques (SIG). La cartographie de deux situations lointaines (1969 et 2010) permet de donner une idée globale sur l'évolution des systèmes écologiques et leurs dynamiques dans la région. Les principaux résultats obtenus montrent qu'en 1969, le couvert végétal naturel est plus important en superficie qu'en 2010. La répartition des terres culturelles et urbaines dans le gouvernorat de Médenine et la mauvaise exploitation de ressources naturelles sont les principales menaces de certains groupements végétaux. En 2010, la majorité de la superficie du gouvernorat est occupée par la culture avec une augmentation remarquable de la superficie des zones urbaines.

**Mots clés :** Cartographie, SIG, Dynamique, Occupation des terres, Médenine.

### Summary

Actual physiognomy of natural vegetation communities in southern Tunisia results from long dynamic during many decades. Besides the influence of climatic

instability, human pressure greatly amplified the degradation process of the vegetation cover. This study aims to show the evolution of the natural vegetation in the governorate of Medenine between 1969 and 2010 under the effect of a very pronounced human impact and harsh climatic conditions using the remote sensing techniques and the geographic information systems (GIS). Main results show that in 1969, the natural vegetation cover is greater in area than in 2010. The extension of agricultural and urban zones in the governorate of Medenine and the non adequate exploitation of natural resources are the main threats of some plant groups. In 2010, the majority of the area is occupied by various cultivated fields with a remarkable increase in the size of urban zones.

**Key words:** Mapping, GIS, Dynamic, Land uses, Medenine.

### 1-Introduction

La croissante pression animale et humaine exercée, depuis plusieurs décennies, sur la végétation naturelle de la Tunisie méridionale aboutie à une transformation souvent irréversible du couvert végétal naturel. Selon la fragilité des écosystèmes, la dégradation de la végétation s'observe depuis la raréfaction de certaines espèces (cas des graminées pérennes sur les steppes sableuses) jusqu'à la disparition totale de l'ensemble des espèces pastorales intéressantes et leur substitution par d'autres non palatables (cas de la succession d'*Artemisia herba-alba* par *Haloxylon scoparium*) ou des annuelles (Tarhouni, 2008). La dégradation de la végétation engendre des changements au niveau du milieu édaphique et ce par la néoformation d'un relief déstabilisé, dépourvu de son horizon agrologique superficiel et érodé sous l'effet conjugué du vent et de l'eau. L'aridité édaphique du milieu se trouve ainsi accentuée (Floret & Pontanier, 1984). Une telle situation rend la restauration de ces ressources très lente voire impossible (Aronson & *al.*, 1993).

Contrairement aux autres pays maghrébins (Libye, Algérie, Maroc), où

la dégradation des parcours est souvent due à la surcharge animale, en Tunisie la dégradation résulte plutôt du bradage du milieu naturel en faveur de l'agriculture. Les parcours qui couvraient autrefois de larges étendues de la zone aride tunisienne sont aujourd'hui principalement localisés entre les isohyètes 100 et 200 mm (Le Houérou 1969 ; Aidoud et *al.*, 2006). Bien qu'elles ne conviennent pas à la culture céréalière, les terres à pâturage des zones arides tunisiennes font l'objet de défrichement continu notamment durant les années pluvieuses. La forte pression animale et l'éradication des ligneux contribuent également dans la modification du paysage floristique. Les travaux de cartographie phytoécologique, réalisés dans le Gouvernorat de Médenine, révèlent un état de couvert végétal très dégradé (Akrimi et *al.*, 1986 ; Ben Dali et *al.*, 1986 ; Chaieb, 1987). Actuellement on estime qu'en Tunisie aride, les processus de dégradation de la végétation naturelle sont plus rapides et plus importants que ceux de régénération. Ceci s'est traduit par un changement de la physionomie des différents groupements végétaux (Chaieb, 1992). Dans le présent travail

nous tentons de montrer l'évolution de la végétation naturelle dans le gouvernorat de Médenine sous l'effet d'une emprise humaine très accentuée et des conditions climatiques de plus en plus précaires moyennant la télédétection et les systèmes d'informations géographiques (SIG).

## 2-Matériel et Méthodes

### 2.1. Présentation de la zone d'étude

Le gouvernorat de Médenine, créé le 21 juin 1956, est l'un des 24

gouvernorats de la Tunisie. Il est situé dans le sud-est du pays, limité par le gouvernorat de Gabès et la mer Méditerranée au nord, par le gouvernorat de Tataouine au sud, par la Libye et la mer Méditerranée (400 km de côtes dont l'île de Djerba) à l'est et le gouvernorat de Kébili à l'ouest (Figure 1). Il couvre une superficie de 9 167 km<sup>2</sup>, soit environ 5,2 % de la superficie du pays.



**Figure 1.** Localisation géographique du gouvernorat de Médenine sur la carte de la Tunisie

On distingue globalement trois types de sol dans le gouvernorat de Médenine :

-Les sols non minéraux brutes et peu évolués : ce sont les sols non évolués et récemment mis en place ; ils occupent une superficie de 554057 ha ;

-les sols calci-magnésiques : il s'agit des sols de profondeur faible (20 cm) surmontant une croûte ou un encroûtement calcaire ou gypseux. Ce type est rencontré dans la chaîne de Matmata et s'étend sur une superficie de 49220 ha ;

-les sols halomorphes : cette classe de sols couvre aux alentours de 78450 ha et est rencontrée au niveau de sebkha.

Cinq principaux paysages se différencient par la topographie et par l'occupation de l'espace sont distingués dans ce gouvernorat : Djebel, Vallée, Piémont, plaine de la Jeffara et le Dahar. La région se caractérise par un climat aride à hyper-aride présentant des pluviométries moyennes annuelles très variables, des saisons sèches allant de Mai à Août (pouvant se prolonger jusqu'au Décembre pour certaines

années) et des nombres de jours de pluies ne dépassant guère les 20 à 30 jours. La température est généralement élevée et oscille entre 37°C et 42°C.

## 2.2. Approche méthodologique

L'étude de la dynamique des systèmes écologiques dans le gouvernorat de Médenine est faite moyennant l'élaboration et la comparaison de deux cartes. La première montre l'état de la végétation

en 1969 et la seconde représente l'état actuel.

### 2.2.1. Carte de la végétation de 1969

Cette carte est extraite à partir de la carte de la végétation de la Tunisie aride et désertique (Le Houérou et *al.*, 1967). Cette carte a été numérisée et traitée à l'aide du logiciel « ArcView 3.2 ». Nous avons délimité les polygones représentant les groupements ou associations végétales pour chaque zone de la région (figure 2).

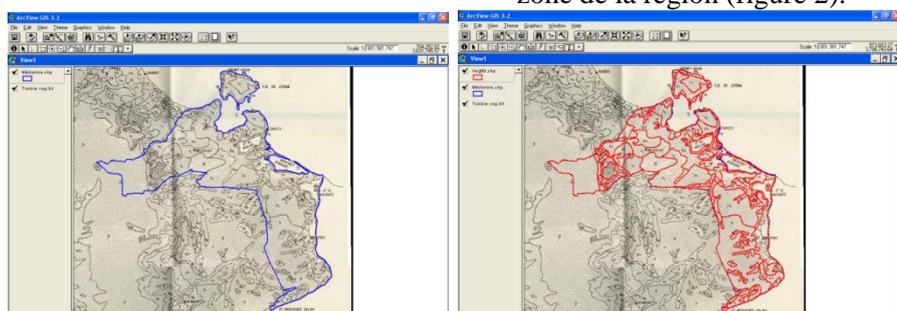


Figure 2. Les différentes étapes de l'élaboration de la carte de la végétation de 1969 du gouvernorat de Médenine.

### 2.2. Carte de l'occupation des terres de 2010

L'élaboration de cette carte est faite sur la base de l'interprétation des images de *Google Earth*. Les polygones identifiés sont relatifs aux occupations

urbaines, les zones agricoles et la végétation naturelle (figure 3). A l'aide du logiciel « ArcView 3.2 » nous avons pu comparer les deux cartes et étudier, ainsi, la dynamique des systèmes écologiques de la région de Médenine.

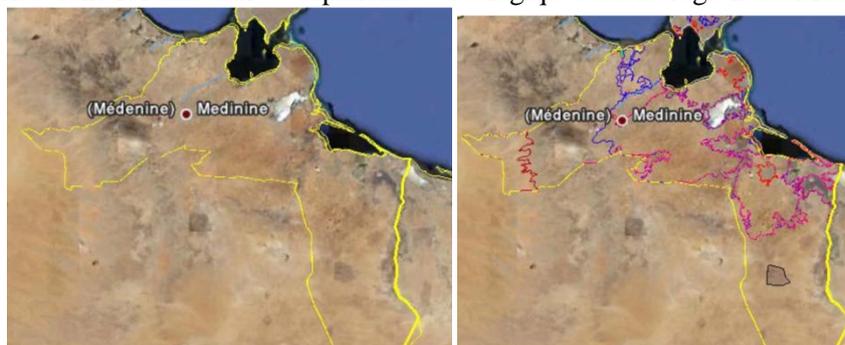
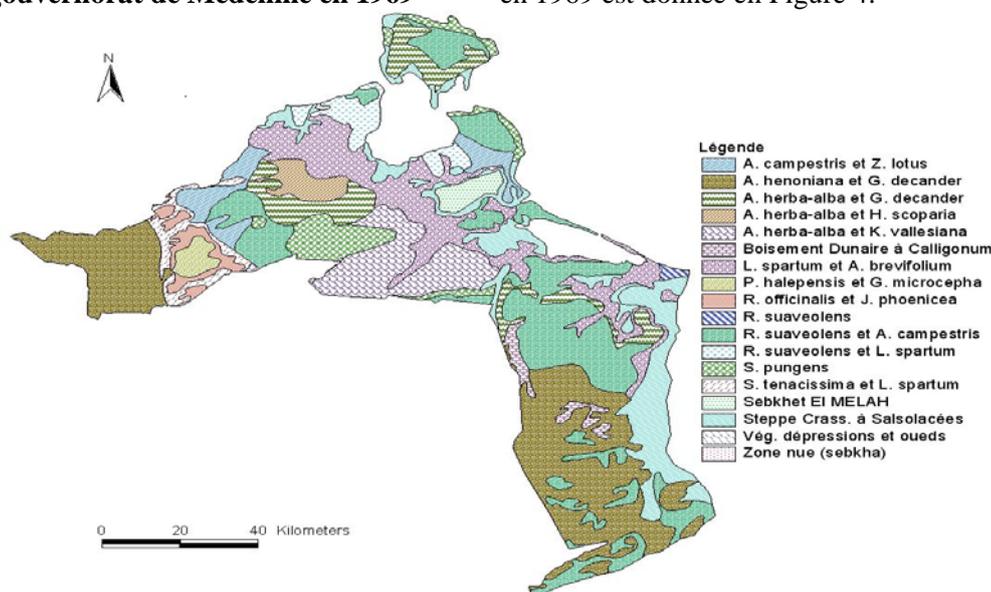


Figure 3. Les différentes étapes de l'élaboration de la carte de l'occupation des terres de 2010 dans le gouvernorat de Médenine.

### 3-Résultats

#### 3.1. La végétation naturelle du gouvernorat de Médenine en 1969

La carte représentant la répartition de la végétation naturelle de la région en 1969 est donnée en Figure 4.



**Figure 4.** Carte de la végétation naturelle du gouvernorat de Médenine en 1969.

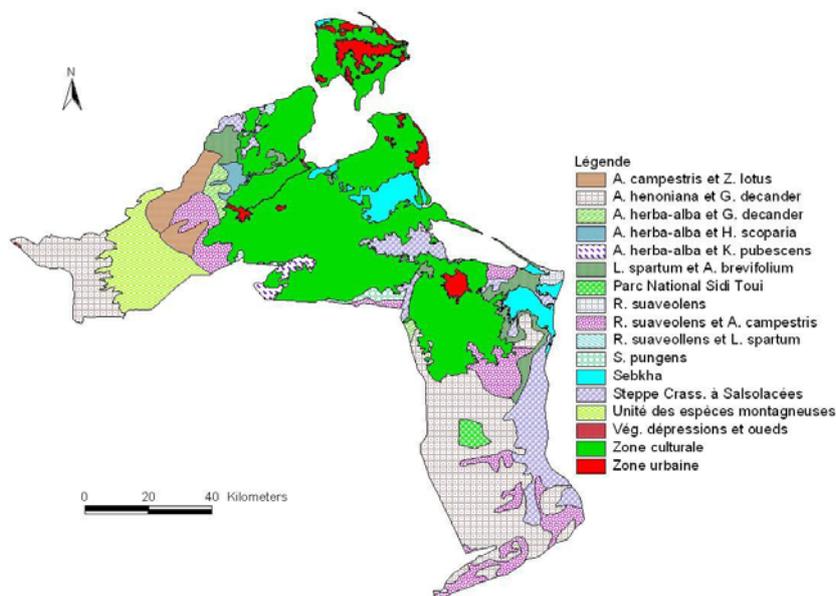
A la lecture de cette carte, et à l'aide de l'Atlas du gouvernorat de Médenine (1998), on peut distinguer les formations végétales suivantes :

- Groupements de dégradation de la forêt claire de *Juniperus phoenicea* (27167 ha) ;
- Association à *Ziziphus lotus* et *Retama raetam* –variante à *Astragalus caprinus* (34364 ha) ;
- Association à *Rhanterium suaveolens* et *Artemisia campestris* (250601 ha) ;
- Association à *Artemisia herba-alba* et *Hammada scoparia* (83708 ha) ;
- Association à *Zygophyllum album* et *Anarrhinum brevifolium* (119586 ha) ;

- Association à *Rhanterium suaveolens* et *Asphodelus refractus* (67629 ha) ;
- Groupement à *Anthyllis henoniana* (248090 ha) ;
- Groupements à *Salicornia arabica*, à *Arthrocnemum indicum*, à *Halocnemum strobilaceum* et à *Halopeplis amplexicaulis* (113273 ha).

#### 3.2. Carte de l'occupation des terres de 2010

La carte représentant l'occupation des terres dans le gouvernorat de Médenine en 2010 est donnée en Figure 5.



**Figure 5.** Carte de l'occupation des terres du gouvernorat de Médenine en 2010.

A la lecture de cette carte on peut identifier les formations végétales suivantes :

- Groupement à *Artemisia campestris* et *Ziziphus lotus* (28740 ha) ;
- Groupement à *Anthyllis henoniana* et *Gymnocarpos decander* (208680 ha) ;
- Association à *Artemisia herba-alba* et *Hammada scoparia* (14,996 ha) ;
- Groupement à *Artemisia herba-alba* et *Koeleria pubescens* (7225 ha) ;
- Groupement à *Lygeum spartum* et *Anarrhinum brevifolium* (34675 ha) ;
- Groupement à *Rhanterium suaveolens* (87866 ha) ;
- Groupement à *Stipagrostis pungens* (6735 ha) ;
- Association à *Rhanterium suaveolens* et *Artemisia campestris* (94601 ha) ;
- Groupements à *Salicornia arabica*, à *Arthrocnemum indicum*, à *Halocnemum strobilaceum* et à *Halopeplis amplexicaulis* (7789 ha) ;
- Unité des espèces montagneuses (61554 ha) ;

- Cultures diverses (372674 ha) ;
- Zone urbaine (27407 ha).

#### 4-Discussion

La diversité et l'intensité des facteurs de dégradation de la végétation naturelle provoquent des transformations souvent contrastées au niveau de sa physionomie. Ces transformations peuvent être soit progressive (amélioration possible du couvert végétal et de la richesse floristique en cas de l'arrêt de perturbation) soit régressive (pas d'amélioration du couvert végétal et de la richesse floristique même en absence de perturbation). Cette transformation régressive est la plus rencontrée, voire même la plus caractéristique de l'environnement du gouvernorat de Médenine. En 1969, ce dernier été dominé par la steppe à *Anthyllis henoniana* et *Gymnocarpos decander* (21,47 % de la superficie du gouvernorat), la steppe à *Rhanterium*

*suaveolens* et *Artemisia campestris* (19,79 %) et la steppe à *Lygeum spartum* et *Anarrhinum brevifolium* (12,49 %). Ces steppes occupent actuellement 21,09 %, 8,73 % et 3,62 % respectivement. La réduction de leur superficie est due principalement au développement de diverses activités humaines suite à l'accroissement du nombre de la population. De même la disparition du boisement dunaire à *Calligonum* en 2010, qui occupait 1,27 % de la superficie du gouvernorat en 1969, est due soit à l'apparition d'autres espèces qui deviennent de plus en plus abondantes grâce à leur tolérance et leur grand pouvoir compétitif face aux perturbations anthropiques, soit à la différence d'échelle entre les deux cartes.

En général, les divers systèmes écologiques au sein du gouvernorat de Médenine sont en régression sous l'influence combinée des effets des conditions climatiques qui deviennent de plus en plus précaires, le développement des activités anthropiques (mise en culture, surpâturage...) et l'extension urbaine. Cependant plusieurs actions visant la lutte contre la désertification, la gestion raisonnable des ressources naturelles et l'amélioration du couvert végétal ont été entreprises par les responsables du domaine. Parmi ces activités on trouve :

- Les boisements et les plantations forestières qui concernent essentiellement la fixation des dunes et la protection des bords des routes ;
- les mises en défens, qui consiste à soustraire une zone du parcours afin d'en améliorer la couverture, la composition floristique et la valeur pastorale. A ce titre on peut citer le cas

du parc national de Sidi Toui qui a été créé en 1991 sur une superficie de 6315 ha afin d'améliorer et de conserver le cortège floristique des grands parcours d'El Ouara. La création du parc a permis le retour et la régénération de certaines formations végétales telles que : l'association à *Hammada schmittiana* et *Hammada scoparia*, le groupement à *Cenchrus ciliaris*, la sous association à *Rhanterium suaveolens* et *Stipa lagascae*, le groupement à *Periploca angustifolia* et *Ziziphus lotus*,... ;

- les plantations pastorales (réserve fourragère) sont réalisées par l'Arrondissement des forêts, au niveau des terres domaniales et collectives, et par l'Office de l'Élevage et des pâturages, sur les terres privées ;

- les travaux de Conservation des Eaux et des Sols comprennent deux composantes : l'aménagement des versants (confection des jessours, des tabias, des cordons et des plantations) et celui des voies d'eau dans l'objectif d'entreprendre différents travaux dans les oueds et les ravins (seuils, digue,...) ;

- le programme de développement rural intégré est basé sur une approche d'intervention classique n'impliquant la population qu'en phase d'exécution des composantes du projets qui sont-elles mêmes inspirées des conceptions habituelles des projets de développement à savoir les activités agricoles, les actions non agricoles et l'infrastructure ;

- les projets de gestion des ressources naturelles qui visent la gestion durable des ces ressources, des terres agricoles et des parcours dans les zones fortement dégradées ;

## 5-Conclusion

Cette étude, menée dans le gouvernorat de Médenine, présente un document cartographique actualisé des systèmes écologiques permettant d'évaluer leurs évolutions depuis 1969. La comparaison des deux cartes permet de dégager les principales conclusions suivantes :

- en 1969, le couvert végétal naturel du gouvernorat est plus important en terme de superficie qu'en 2010 ;
- en 2010, la majorité du gouvernorat est occupée par la culture avec une augmentation remarquable de la superficie des zones urbaines ;

- la répartition des terres culturales et urbaines dans le gouvernorat et la mauvaise exploitation de ressources naturelles sont les principales menaces de certains groupements végétaux.

Pour la bonne conservation et la gestion durable de ces ressources il est proposé d'entreprendre certaines mesures visant l'interdiction des activités agricoles dans les zones non convenables, l'empêchement des constructions urbaines non planifiées, le choix de l'usage le plus convenable de chaque endroit...

## Références bibliographiques

- Aidoud A., Le Floch E. & Le Houérou H.N. ( 2006) : Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sécheresse*, 17 (1-2): 19-30.
- Akrimi N., Chaieb M., Le Floch E., Rguige M. & Znati S. (1986) : Carte des ressources pastorales de la zone du Chareb (Kebili).
- Aronson J., Floret C., Ovalle C. & Pontanier R. (1993) : Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. II. Case studies in Southern Tunisia, Central Chile and Northern Cameroon. *Restoration Ecology*, 1(3): 168-187.
- Atlas du gouvernorat de Médenine (1998) : Institut des régions arides, 155p.
- Ben Daly F., El Hamrouni A., Floret Ch., Le Floch E. & Pontanier R. (1986) : Végétation et fixation des sables en zone aride. Séminaire sur la lutte contre la désertification, UNESCO/PNU/IRA. Djerba, 24-29 Novembre 1986.
- Chaieb M. (1987) : Carte des ressources pastorales, d'occupation des terres et de l'infrastructure agricole du bassin versant de l'Oued Zitoun (Gabès) : projet TUN 86/002, 15p.
- Chaieb M. (1992) : Steppes tunisiennes : Etat actuel et possibilités d'amélioration. *Sécheresse*, vol. 2 : 95-99.
- Floret Ch. & Pontanier R. R. (1984) : Aridité climatique, aridité édaphique, *Bull, Soc, Bot, France*, 131, Actual, Bota., (2/3/4) : 265-275.
- Le Houérou H. N. (1969) : La végétation de la Tunisie steppique (avec référence au Maroc, à l'Algérie et à la Libye). *Annales de L'INRAT. Tunisie*, 42(5) : 224-617.
- Le Houérou et al. (1967) : Carte au 1/500 000 de la végétation de la Tunisie aride et désertique.

*Revue des Régions Arides n°37 (2/2015) ; pp : 155-163*

- Tarhouni M. (2008) : Indicateurs de biodiversité et dynamique du couvert végétal naturel aux voisinages de trois points d'eau en zone aride tunisienne : cas des parcours collectifs d'El Ouara. Thèse Doctorat, Faculté des Sciences de tunis, 168p + annexes.



## Profil de l'ocytocine plasmatique et développement du comportement maternel et néonatal chez les ovins D'man

Mohamed CHNITER<sup>1</sup>, Touhami KHORCHANI<sup>1</sup>, Ramond NOWAK<sup>2,3,4,5</sup> et Mohamed HAMMADI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Elevage et de la Faune Sauvage, Institut des Régions Arides, 4119 Médenine, Tunisie

<sup>2</sup> INRA, UMR85 Physiologie de la Reproduction et des Comportements, F-37380 Nouzilly, France

<sup>3</sup> CNRS, UMR7247 Physiologie de la Reproduction et des Comportements, F-37380 Nouzilly, France

<sup>4</sup> Université François Rabelais de Tours, F-37041 Tours, France

<sup>5</sup> Institut Français du Cheval et de l'Équitation, F-37380 Nouzilly, France

E-mail : [chniter2005@yahoo.fr](mailto:chniter2005@yahoo.fr)

### ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة تطور هرمون الاكسيتوسين في الفترة المحيطة بالوضع ونشأة سلوك الأم والحمل لدى غنم الدمان. بينت النتائج ارتفاع لمعدل تركيز الاكسيتوسين في مصل الدم عند الأم بين أسبوعين قبل و 1س بعد الوضع ثم انخفض المعدل خلال 6 س الأولى من الولادة. تميزت الفترة المبكرة بعد الوضع بنشأة سلوك الأم خاصة النغاء "المنخفض" الذي كان مرتفعا بعد 6 س من الوضع قبل ان ينخفض تدريجيا. على العكس من ذلك كان معدل النغاء "المرتفع" منخفضا بعد 6 س من الوضع وارتفع تدريجيا في الفترة التي تليها. كما تطورت مدة لعق وشم الصغير تطورا خفيفا خلال فترة المتابعة وارتفع معدل الرضاعة بين 6 س و 36 س قبل ان ينخفض بشكل طفيف بعد 48 س من الوضع. ارتفع معدل تركيز الاكسيتوسين في مصل الدم لدى الصغير بين 1 س و 6 س من الولادة ليبلغ الحد الأقصى بعد 12 س ثم انخفض معنويا بعد 24 س، 36 س و 3 أيام من الولادة. تميز الصغير بقلّة النغاء وتطور هذا السلوك بصفة خفيفة خلال فترة المراقبة. ارتفعت محاولات اكتشاف جسم الأم لدى الحمل بين 6 س و 12 س بعد الولادة ثم انخفضت بعد ذلك تدريجيا في حين بينت مدة مص السرسوب تغيرا طفيفا.

الكلمات المفتاحية: غنم الدمان، هرمون الاكسيتوسين، سلوك الأم والصغير.

### Résumé

Ce travail vise à étudier le profil de l'ocytocine plasmatique en période péripartum et le développement du comportement maternel et néonatal chez les ovins D'man. Un pic d'ocytocine a été observé au cours de la première heure après la mise-bas suivi d'une diminution 6 h plus tard. La période post-partum est riche en termes d'expression du comportement maternel, en particulier le nombre de bêlements bas très élevé après 6 h de la mise-bas avant de diminuer progressivement. Par contre, le nombre de bêlements hauts était faible à 6 h de la mise-bas et il a augmenté légèrement jusqu'à 48 h d'agnelage. Le temps de léchage et de flairage du nouveau-né a marqué une légère augmentation après la mise-bas. De même, le nombre d'acceptation du nouveau-né à la mamelle a augmenté entre 6 h et 36 h avant de diminuer légèrement à 48 h. Chez le nouveau-né, la concentration plasmatique de l'ocytocine a augmenté entre 1 h et 6 h après la naissance, atteint son pic à 12 h avant de diminuer à 24 h, 36 h et à 3 j après la naissance. Le

comportement de vocalisation était faible chez le nouveau-né et montre une légère évolution. De même, les tentatives de découverte du corps maternel ont augmenté entre 6 h et 12 h après la naissance avant de diminuer progressivement mais ces évolutions sont non significatives. Une légère évolution du temps de tétée a été marquée chez les agneaux.

**Mots clés:** Ovins D'man, ocytocine, comportements maternel et néonatal.

### Summary

This work was conducted to study the variation of plasma oxytocin in the peripartum period and to characterize the expression of maternal and neonatal behaviours in D'man sheep. Maternal plasma oxytocin increased from 1 week before and 1 h after lambing before its decrease after 6 h of lambing. The low-pitched bleats were high at 6 h and they decreased gradually. On the contrary, the number of high-pitched bleats was low at 6 h and they showed a slight variation. The number of acceptance at the udder of the newborn increased between 6 h and 36 h before it decreased slightly after 48 h of lambing. The time of newborn licking and smelling by dams showed a slight variation over the studied period. The plasmatic oxytocin increased in newborn lambs from 1 h to 6 h, picked at 12 h and it decreased after 24 h, 36 h and 3 days of birth. Newborn lambs emitted less vocalization which varied slightly over time. The attempts to discover the maternal body increased in newborn lambs between 6 h and 12 h of birth and then decreased gradually. Finally, suckling time showed a slight variation over time.

**Key-words:** D'man sheep, oxytocin, maternal and neonatal behaviour.

### 1. Introduction

La phase d'élevage des jeunes est d'une importance primordiale pour le succès reproductif des espèces domestiques. L'expression d'un comportement maternel bien adapté à la parturition est déterminante pour la survie du nouveau-né, la mère étant la seule source de nourriture dans les premières semaines après la naissance. Chez les ovins, la période néonatale est particulièrement riche en stimulations maternelles, notamment en bêlements, en léchage et en postures d'allaitement qui vont constituer la base de la reconnaissance précoce du jeune (Nowak, 1991). Par ailleurs, la naissance induit un état d'éveil du nouveau-né par l'activation du système catécholaminergique fœtal (Lagercrantz, 1996). Cet état d'éveil

optimise les interactions précoces avec la mère en rendant le nouveau-né plus réceptif aux signaux maternels (Varendi et al., 2002). Les interactions avec la mère sont déterminantes pour le développement physiologique et comportemental du nouveau-né. Elles représentent la première expérience sociale du jeune lui permettant d'interagir avec le monde extérieur ultérieurement (Gonzalez et al., 2001). Les mécanismes physiologiques impliqués dans le développement du comportement maternel et néonatal sont bien connus chez les races ovines de faible prolificité (Lévy et al., 2004 ; Poindron et al., 2007). Toutefois, peu de connaissances sont disponibles sur les races prolifiques telles que la race ovine D'man, actuellement élevée en intensif dans les

oasis tunisiennes selon un rythme accéléré (3 agnelages/2 ans) mais avec un taux de mortalité élevé (Chniter et al., 2011, 2013). La description de la relation entre la brebis D'man et son/ses agneau(x) est absolument cruciale et permettrait de vérifier ultérieurement dans quelle mesure le problème de mortalité observé dans les grandes portées est en lien avec l'incidence des problèmes d'abandon d'une partie de la portée par sa mère. Dans ce cadre, l'objectif de ce travail est de décrire le profil de l'ocytocine plasmatique connue par son implication dans les relations d'attachement (Kendrick, 2000) et de caractériser le développement des comportements maternel et néonatal chez les ovins D'man.

## **2. Matériels et méthodes**

### **2.1. Animaux étudiés**

L'étude a porté sur 6 brebis D'man primipares et leurs 9 agneaux élevés à la station expérimentale de l'Institut des Régions Arides de Médenine (Gabès, Tunisie) au cours du mois de Janvier 2011. Les conditions d'élevage des animaux sont celles décrites par Chniter et al. (2011) et répondaient aux exigences des systèmes de production intensive avec un rythme de reproduction accéléré. Sur le plan alimentaire, la ration distribuée selon le stade physiologique a été basée sur le foin de luzerne et l'aliment concentré (orge, maïs, son et CMV) avec un accès à l'abreuvement *ad libitum*. Sur le plan reproductif, le maintien d'un rythme de reproduction accéléré permettait trois agnelages tous les deux ans. Sur le plan hygiénique, le suivi sanitaire des

animaux a été assuré régulièrement par un vétérinaire.

### **2.1. Suivi du comportement**

Dès la détection des premiers signes de la parturition, les brebis ont été logées dans des box individuels et la surveillance humaine du processus de mise-bas a débuté. Pour caractériser le comportement maternel, les bêlements bas, les bêlements hauts, l'acceptation à la mamelle et la durée de flairage ont été suivis chez les mères pendant 20 min à 6 h, 12 h, 24 h, 36 h et 48 h après la mise-bas. De même, le comportement néonatal a été noté chez les jeunes pendant 20 min à 6 h, 12 h, 24 h et 36 h après la naissance par le suivi de l'exploration du corps de la mère, l'accès à la mamelle et la durée de tétée. Le suivi du comportement animal a été réalisé par l'enregistrement des films au caméscope (Sony® X60).

### **2.2. Echantillonnage et dosage de l'ocytocine**

Des prélèvements de sang ont été réalisés chez les brebis une semaine avant la mise-bas, puis à 1 h, 6 h, 12 h, 24 h, 36 h, 48 h et 3 j après la mise-bas chez les mères et leurs jeunes. Les échantillons du plasma récupéré ont fait l'objet d'un dosage de l'ocytocine par EIA (Rennes, France : Marnet et al., 2004).

### **2.4. Analyses statistiques**

Les données brutes ont été traitées à l'aide du logiciel SAS. Les différences entre les moyennes en fonction du temps ont été décelées à l'aide du test t. Le seuil de signification considéré est fixé à 5%. Les résultats sont présentés en valeurs moyennes  $\pm$  erreur standard.

### 3. Résultats

#### 3.1. Ocytocine et comportement maternel

La concentration plasmatique de l'ocytocine a augmenté ( $P < 0,05$ ) chez les brebis entre 1 semaine avant (38,6 pg/ml) et 1 h après la mise-bas (202,4

pg/ml). Elle a diminué par la suite d'une manière significative à 6 h (63,3 pg/ml), 12 h (40,8 pg/ml) et à 36 h (28,7 pg/ml) puis elle a augmenté à 3 j (34,6 pg/ml) après la mise-bas (figure 1).

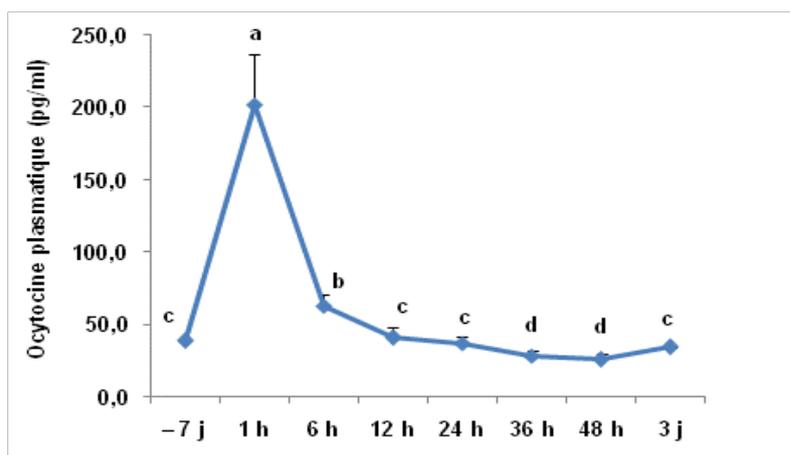
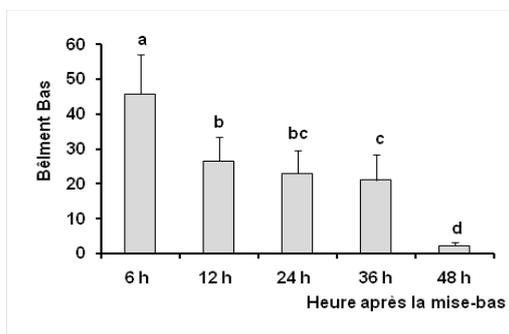


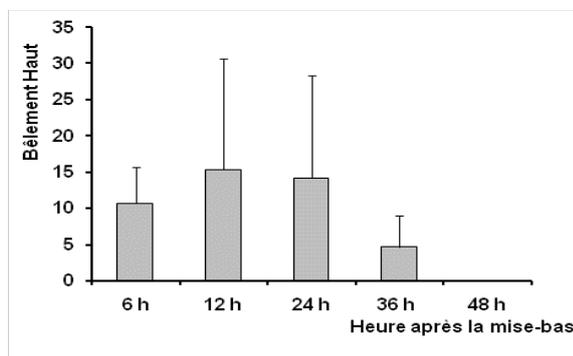
Figure 1: Evolution de la concentration plasmatique de l'ocytocine chez la brebis D'man pendant la période péripartum

Bien qu'elles fussent primipares, toutes les brebis ont montré un intérêt immédiat pour leurs agneaux; aucune n'a été agressive et a évité son (ses) agneau(x). Ceci traduit un comportement maternel tout à fait normal à travers l'émission de bêlements et l'acceptation du nouveau-né à la mamelle. Le nombre de bêlements bas émis par les brebis (Figure 2) était plus élevé à 6 h ( $45,8 \pm 11,2$ ) qu'à 12 h ( $26,7 \pm 6,8$ ), 24 h ( $23,1 \pm 6,6$ ), 36 h ( $21,2 \pm 7,4$ ) et 48 h après la mise-bas ( $2,5 \pm 0,64$ ). Au contraire, le nombre de bêlements hauts n'a pas varié ( $P > 0,05$ ) au cours du temps. Néanmoins, les

données semblent suggérer un amoindrissement de ce type de vocalisation au cours du temps car ils sont exceptionnellement omis à 48 h. Une grande variabilité a été constatée à 12 et 24 h (Figure 3) car les bêlements hauts étaient principalement émis lors des périodes d'activité des agneaux, ou quand la brebis les incitait à venir téter. Certaines brebis n'ont émis aucune vocalisation haute car leurs agneaux étaient couchés. En période péri-partum, le nombre de bêlements bas était bien plus important que le nombre de bêlements hauts.



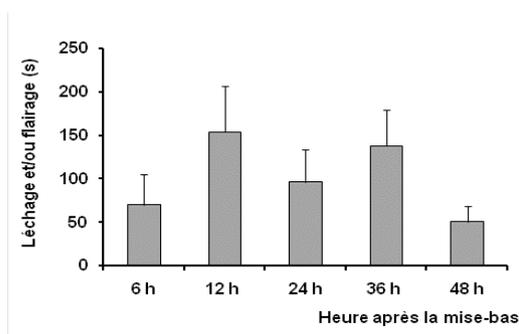
**Figure 2:** Nombre de bêlements bas émis par brebis.



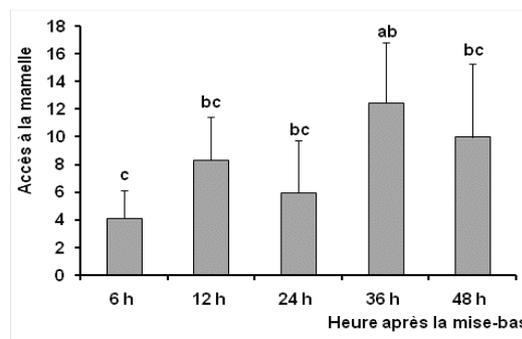
**Figure 3:** Nombre de bêlements hauts émis par brebis.

La durée de léchage et de flairage du nouveau-né par la mère a été marquée par l'alternance d'une augmentation et d'une diminution (Figure 4). Cette

durée a varié entre 50 et 150 s et s'observe principalement lors des périodes d'allaitement (Figure 5).



**Figure 4:** Durée de léchage et de flairage du nouveau-né.



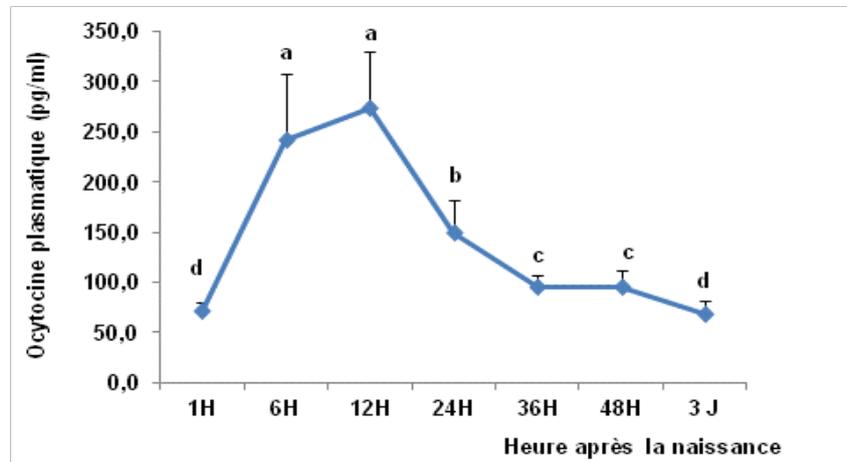
**Figure 5:** Fréquence d'accès du nouveau-né à la mamelle.

La fréquence d'accès des agneaux à la mamelle (Figure 5) a augmenté ( $P < 0,05$ ) entre 6 h ( $4,2 \pm 2$ ) et 36 h ( $12,5 \pm 4,4$ ) avant de marquer une légère diminution à 48 h après la mise-bas ( $10 \pm 5,3$ ).

### 3.2. Ocytocine et comportement néonatal

L'évolution de la concentration plasmatique de l'ocytocine chez les

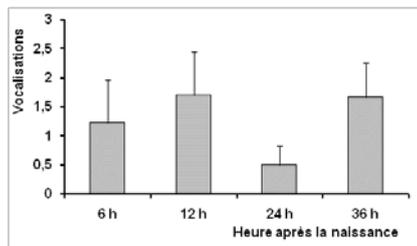
agneaux est décrite dans la figure 6. Ce paramètre a augmenté significativement entre 1 h ( $71,2 \pm 8,7$  pg/ml) et 6 h après la naissance ( $241,0 \pm 67,2$  pg/ml) puis il atteint son maximum à 12 h ( $273,5 \pm 56,5$  pg/ml) avant de diminuer ( $P < 0,05$ ) à 24 h ( $149,6 \pm 33,1$  pg/ml), à 36 h ( $95,7 \pm 11,0$  pg/ml) et après 3 j de la naissance ( $68,1 \pm 13,1$  pg/ml).



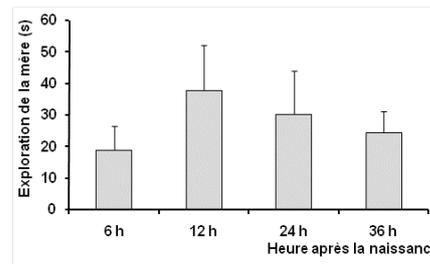
**Figure 6:** Evolution de l'ocytocine plasmatique chez les agneaux D'man

L'activité de vocalisation était extrêmement faible chez l'agneau nouveau-né, en moyenne moins de deux bêlements par période

d'observation, et elle n'a pas varié dans les heures qui ont suivi la naissance (Figure 7).



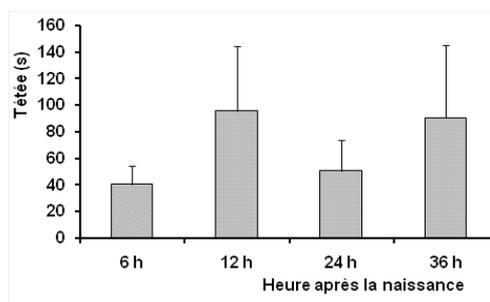
**Figure 7:** Nombre de vocalisations Emises par les agneaux.



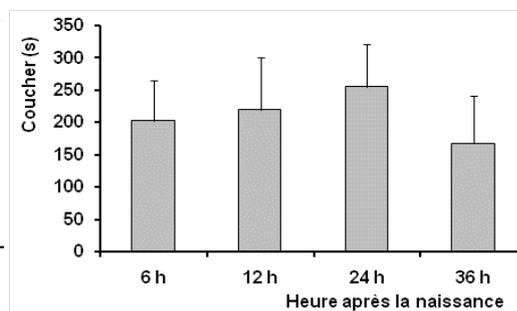
**Figure 8:** Durée d'exploration de la mère par les agneaux.

Visuellement sur la figure 8, le temps d'exploration du corps maternel tend à augmenter entre 6 h et 12 h (de  $19 \pm 7,5$  à  $38 \pm 14,2$  min) avant de marquer une légère diminution progressive à partir de 12 h. La durée moyenne de tétée était très variable (entre 40 et 100 s par

période d'observation) car elle dépendait de l'activité de chaque agneau. Tous les agneaux ont été observés à la mamelle à un certain moment mais pas au cours d'une même période d'observation.



**Figure 9:** Temps de tétée chez les agneaux.



**Figure 10:** Temps de coucher chez les agneaux.

Chez le nouveau-né, le temps de couchage n'a pas varié ( $P > 0,05$ ) au cours du temps. Il a oscillé entre 200 et 250 s au cours des premières 24 h après la naissance. Une légère diminution a été notée à 36 h.

#### 4. Discussion

Cette étude nous a permis de caractériser pour la première fois le profil de l'ocytocine plasmatique et l'évolution du comportement maternel et néonatal chez les ovins D'man primipares. Une augmentation de l'ocytocine plasmatique à la mise-bas a été marquée chez les brebis. Cette augmentation résulte d'une libération réflexe, à la fois périphérique et intracérébrale, provoquée par la stimulation du tractus génital. Chez la brebis, la libération périphérique de l'ocytocine renforce les contractions utérines alors que sa libération intracérébrale déclenche le comportement maternel (Poindron et al., 2007). Ceci pourrait refléter la richesse de la période qui suit la parturition en comportement maternel ce qui renforce les interactions de la brebis avec les jeunes. Ainsi, les bêlements à basse voix sont abondants au cours des 6 h après la mise-bas, car ils sont liés au processus de parturition, puis ils

diminuent progressivement. Les bêlements bas sont des éléments spécifiques exprimés lors du déclenchement de comportement maternel et ils sont souvent accompagnés par le léchage ce qui semble calmer l'agneau (Nowak, 1996 ; Sèbe et al., 2007). De plus, ce type de bêlement est très vite reconnu par le jeune et participe à la construction de l'attachement (Sèbe et al., 2007). Ainsi, la brebis émet exclusivement des bêlements bas lors des premiers contacts avec le nouveau-né (Sèbe et al., 2007; Darwish et al., 2010). En ce qui concerne les bêlements hauts, ils sont plus abondants entre 12 h et 24 h après la mise-bas. Par ce type de bêlement, la brebis incite les agneaux à l'allaitement. Ceci est supporté par l'augmentation de la fréquence d'accès à la mamelle et le temps de tétée entre 24 h et 36 h après la mise-bas. Les bêlements hauts reflètent la communication à distance entre la brebis et son agneau (Sèbe et al., 2011). Les interactions avec les jeunes chez les brebis D'man ont été bien marquées dans les toutes premières heures qui suivent la mise-bas. Ces interactions avec les jeunes jouent un rôle déterminant dans le développement

du comportement néonatal (Lévy et Fleming, 2006).

L'augmentation de l'ocytocine plasmatique chez les agneaux D'man après la naissance pourrait s'expliquer par l'enrichissement des contacts tactiles suite aux interactions avec la mère. Les contacts tactiles en présence de la mère en particulier ceux incluant la tétée favorisent la libération de l'ocytocine et l'apaisement de l'agneau nouveau-né (Lupoli et al., 2001; Poindron et al., 2007; Coulon et al., 2012). Ainsi, l'activité vocale de l'agneau nouveau-né est exprimée par des vocalisations relativement aiguës en particulier à 12 h après la naissance. Ces vocalisations de faible intensité, spécifiques de la période néonatale précoce (Dwyer et al., 1998), sont en faveur de la mémorisation des caractéristiques du nouveau-né chez la brebis (Sèbe et al., 2007). Comme pour les autres races, l'agneau D'man tend à explorer le corps maternel afin de localiser les tétines et ingérer le colostrum. Des tétées efficaces au cours des premières heures de vie sont indispensables pour la mise en place des liens préférentiels avec la mère (Nowak et al., 1997).

#### Références bibliographiques

- Chniter M., Hammadi M., Khorchani T., Krit R., Lahsoumi B., Ben Sassi M., Nowak R., Ben Hamouda M. (2011) : Phenotypic and seasonal factors influence birth weight, growth rate and lamb mortality in D'man sheep maintained under intensive management in Tunisian oases. *Small Ruminant Research*, 99: 166–170.
- Chniter M., Hammadi M., Khorchani T., Ben Sassi M., Ben Hamouda M., Nowak R. (2013) : Aspects of neonatal physiology have an influence on early growth and survival of D'man lamb. *Small Ruminant Research*, 111: 162–170.
- Coulon M., Nowak R., Andanson S., Ravel C., Marnet PG., Boissy A., Boivin X. (2012) : Human-lamb bonding: oxytocin, cortisol and behavioural responses of

#### 5. Conclusion

Les brebis étudiées, plus susceptibles d'exprimer des problèmes de comportement maternel à cause de leur primiparité, ont montré un intérêt immédiat pour l'agneau manifestant ainsi un comportement maternel normal. Ceci pourrait s'expliquer par la taille de portée relativement faible et les conditions optimales d'élevage, en particulier l'accès au box individuel de mise-bas. Cependant, dans des situations de challenge plus important en l'occurrence les grandes portées et l'allaitement en troupeau, la perte d'une partie de la portée est très probable. Une étude complémentaire sur les interactions mère-jeune en condition d'élevage intensive et en troupeau chez la race D'man est indispensable pour déterminer les facteurs de risque de la mortalité des agneaux surnuméraires.

#### Note

Ce projet est effectué dans le cadre d'un MOBIDOC- Post Doc du programme PASRI financé par l'UE et administré par l'ANPR. Les auteurs remercient vivement l'Agence Nationale de Promotion de la Recherche scientifique pour l'octroi d'un contrat post doc pour l'année 2015.

- lamb to human contacts and social separation. *Psychoneuroendocrinology*, 38: 499–508.
- Darwish R.A., Abou-Ismaïl U.A., El-Kholya S.Z. (2010) : Differences in post-parturient behaviour, lamb performance and survival rate between purebred Egyptian Rahmani and its crossbred Finnish ewes. *Small Ruminant Research*, 89: 57–61.
  - Dwyer C.M., Lawrence A.B. (1998) : Variability in the in expression of maternal behaviour in primiparous sheep: Effects of genotype and litter size. *Applied Animal Behaviour Science*, 58: 311–330.
  - Fahmy M.H., Robert S., Castonguay F. (1997) : Ewe and lamb behaviour at parturition in prolific and non-prolific sheep. *Canadian Journal of Animal Science*, 77: 9–15.
  - Gonzalez A., Lovic V., Ward G.R., Wainwright P.E., Fleming A.S. (2001): Intergenerational effects of complete maternal deprivation and replacement stimulation on maternal behavior and emotionality in female rats. *Developmental Psychobiology*, 38: 11–32.
  - Kendrick K.M. (2000) : Oxytocin, motherhood and bonding. *Experimental Physiology*, 85: 111S–124S.
  - Lagercrantz H. (1996) : Stress, arousal, and gene activation at birth. *News in Physiological Sciences*, 11: 214–218.
  - Lévy F., Fleming A.S. (2006): The neurobiology of maternal behavior in Mammals. In: The development of social engagement. Neurobiological perspectives. Marshall P.J., Fox N.A. (Eds), *Oxford University Press, New York, USA, 197–246*.
  - Lévy F., Keller M., Poindron P. (2004 ) : Olfactory regulation of maternal behavior in mammals. *Hormones and Behavior*, 46: 284–302.
  - Lupoli B., Johansson B., Uvnäs-Moberg K. and Svennersten-Sjaunja K. (2001) : Effect of suckling on the release of oxytocin, prolactin, cortisol, gastrin, cholecystokinin, somatostatin and insulin in dairy cows and their calves. *Journal of Dairy Research*, 68:175–187.
  - Marnet P.G., Volland H., Pradelles P., Grassi J., Beaufils M. (1994) : Subpicogram determination of oxytocin by an enzyme immunoassay using acetylcholinesterase as label. *Journal of Immunoassay*, 15: 35–53.
  - Nowak R. (1996): Neonatal survival: contribution from behavioural studies in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 49: 61–72.
  - Nowak R., Murphy T.M., Lindsay D.R., Alster P., Andersson R., Uvnäs-Moberg K. (1997) : Development of a preferential relationship with the mother by the newborn lamb: importance of the sucking activity. *Physiology and Behavior*, 62: 681–688.
  - Nowak R. (1991): Development of mother discrimination by single and multiple newborn lambs. *Animal Behaviour*, 42: 357–366.
  - Poindron P., Levy F., Keller M. (2007) : Maternal responsiveness and maternal selectivity in domestic sheep and goats: the two facets of maternal attachment. *Developmental Psychobiology*, 49: 54–70.

*Mohamed CHNITER, Touhami KHORCHANI, Ramond NOWAK & Mohamed HAMMADI*

- Sèbe F., Aubin T., Nowak R., Sèbe O., Perrin G., Poindron P. (2011) : How and when do lambs recognize the bleats of their mothers? *Bioacoustic*, 20: 341–356.
- Sèbe F., Nowak R., Poindron P., Aubin T. (2007): Establishment of vocal communication and discrimination between ewes and their lamb in the first two days after parturition. *Developmental Psychobiology*, 49: 375–386.
- Varendi H., Porter R.H., Winberg J. (2002): The effect of labor on olfactory exposure learning within the first postnatal hour. *Behavioral Neuroscience*, 116: 206–211.