



Composition chimique et qualité fourragère de trois halophytes des genres *Sarcocornia* et *Salicornia* originaires des terres marginales salines du Sud de la Tunisie

Chemical composition and forage quality of three halophytes of the genera *Sarcocornia* and *Salicornia* inhabiting the saline marginal lands of Southern Tunisia

Zaineb Hayder, Abderrazak Tlili* & Mohamed Tarhouni

Laboratoire des Ecosystèmes Pastoraux et Valorisation des Plantes Spontanées et des Microorganismes associés (LR16IRA03).
Institut des Régions Arides de Médenine, Université de Gabes - Tunisie.

Article info

Histoire :

Reçu le 03 Mai 2023

Accepté le 29 Mai 2023

Mots clés : *biomasse*,
digestibilité, *fourrage*,
halophytes, *régions arides*.

*Auteur correspondant

tlili_abderrazak@yahoo.fr

Article info

Article history:

Received 03 May 2023

Accepted 29 May 2023

Keywords: *biomass*,
digestibility, *drylands*, *fodder*,
halophytes



Copyright©2023 JOASD

*Corresponding author

tlili_abderrazak@yahoo.fr

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Résumé

Les halophytes sont très répandues sur les sols salins marginaux de la Tunisie mais restent très peu exploitées. Cette étude vise l'évaluation de la qualité fourragère et la composition chimique de trois halophytes originaires du Sud tunisien *Salicornia emerici* Duval-Jouve, *Sarcocornia alpini* (Lag.) Castrov. et *Sarcocornia fruticosa* (L.) en comparaison à la luzerne cultivée *Medicago sativa*. Les teneurs en matières sèches (MS) et organiques (MO), en cendres (MM), en protéines brutes (PB), en minéraux et en composés antinutritionnels (flavonoïdes, tanins et saponines) ainsi que la digestibilité *in vitro* ont été déterminées. Les résultats obtenus montrent que la matière sèche de ces halophytes varie entre 10,50 et 18,63 % chez *S. emerici* et *S. fruticosa*, respectivement. Par rapport à *S. emerici*, les deux autres halophytes enregistrent des pourcentages plus élevés de MO et PB et des teneurs élevées en Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ et Fe²⁺. Ces trois halophytes, récoltées durant la période estivale, montrent des digestibilités importantes (> 70 % MS), dépassant celles de *M. sativa*, ainsi que de faibles teneurs en fibres et lignines insolubles dans le détergent acide (Acid Detergent Fiber (ADF) et Acid Detergent Lignin (ADL)) et en composés anti-nutritifs. Ces résultats suggèrent que la valorisation de ces halophytes autochtones en nutrition animale est envisageable, notamment pour *S. alpini* et *S. fruticosa*. Ceci peut apporter de nombreux avantages économiques et environnementaux aux zones arides marginales.

Abstract

Halophytes are widespread in the Tunisian marginal saline soils but not widely exploited. This study aims to evaluate the forage quality and chemical composition of three halophytes, native from southern Tunisia *Salicornia emerici* Duval-Jouve, *Sarcocornia alpini* (Lag.) Castrov. et *Sarcocornia fruticosa* (L.), compared to the cultivated forage legume *Medicago sativa*. Dry (DM) and organic (OM) matters, ash (MM), ions and crude protein (CP) contents, anti-nutritional compounds and *in vitro* digestibility were determined. Results indicate that dry matter of these halophytes ranged from 10.50 to 18.63% for *S. emerici* and *S. fruticosa*, respectively. Compared to *S. emerici*, both halophytes recorded the highest percentages of OM and CP and higher contents of Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, and Fe²⁺. These three halophytes, harvested during the summer period, showed important digestibility percentages (> 70 % MS), exceeding those of *M. sativa*, and low levels of Acid Detergent Fiber (ADF), Acid Detergent Lignin (ADL), and anti-nutritive compounds. These findings suggest that the valorization of these native halophytes, in particular *S. alpini* and *S. fruticosa*, as fodder is promising. This can provide many economic and environmental advantages in marginal drylands.

1. INTRODUCTION

Le changement climatique et la pression humaine affectent fortement l'équilibre écologique de plusieurs écosystèmes et ce par la perte de leurs structures et de certaines de leurs fonctions essentielles. Leurs services sont aussi en diminution, déclenchant une alerte de déficit et parfois d'irréversibilité surtout en zones arides qui sont les plus touchées par ce phénomène (Hartley et al., 2015 ; Pedrono et al., 2015). Les effets du changement climatique sont multiples et se manifestent à plusieurs niveaux, y compris la sécheresse, la salinisation des sols, la perte des sols arables et la disparition de certaines espèces végétales (Keenan, 2015). Ces impacts varient d'une région à une autre. Une intensification de la sécheresse en Afrique est prévue à moyen et à long terme, en raison de la réduction des précipitations et de l'augmentation de l'évapotranspiration, selon les prévisions du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) (Ndesanjo et al., 2023). L'emplacement des pays Nord-Africains entre les régions intertropicales et les régions tempérées de l'hémisphère Nord, rend leur climat particulièrement variable (Knaepen, 2021). Ils sont considérés parmi les pays les plus touchés par le changement climatique (Amamou et al., 2018). En général, les principales répercussions déjà ressenties sont l'augmentation de température, la réduction des précipitations, la perturbation de leur distribution et l'allongement des périodes de sécheresse (Knaepen, 2021). En Tunisie, la forte diminution des précipitations, surtout dans les régions arides et semi-arides, menace le secteur agricole, en général, et l'élevage en particulier. Comme le cas de la plupart des pays africains, la Tunisie importe de grandes quantités de matières premières pour réduire le déficit nutritionnel des cheptels, ce qui représente une lourde charge pour les gouvernements locaux et les agro-pasteurs (Badri et Ludidi, 2020). Face à ces diverses contraintes, le gouvernement doit développer de nouvelles stratégies agricoles non conventionnelles utilisant plus efficacement les terres marginales dégradées et salées pour une agriculture durable (Khan et Duke, 2001 ; Tlili et al., 2020). Les terres marginales représentent environ 36 % des terres agricoles mondiales, soit de l'ordre 1,3 milliard d'hectares (Kang et al., 2013). En Tunisie, les terres marginales couvrent presque 8 % (ONAGRI, 2021). Au gouvernorat de Médenine, les terres incultes sont de l'ordre 8,85 % (ODS, 2021). Ainsi, la culture de ces terres devient inévitable en raison d'une pénurie de

terres agricoles arables. Ces terres peuvent être améliorées ou restaurées en terres productives par la plantation d'halophytes (Kang et al., 2013 ; Tlili et al., 2018). Grâce à des capacités adaptatives, leur permettant de tolérer de nombreuses contraintes environnementales, et des potentialités productives importantes, ce groupe de végétaux est considéré prometteur pour repeupler et valoriser des sols très salins (Hasanuzzaman et al., 2014).

Les halophytes ont plusieurs intérêts économiques et environnementaux et peuvent être valorisées dans plusieurs domaines. Elles sont utilisées comme légumes et fourrages, constituent une source de composés à intérêt pharmaceutiques, de matières premières pour les biocarburants et peuvent servir en phytoremédiation (Ghnaya et al., 2007 ; Rabhi et al., 2010 ; El Shaer et Attia-Ismail, 2015 ; Sharma et al., 2016 ; Arya et al., 2019 ; Mahmoudi et al., 2023). Les halophytes sont adoptées comme aliments de bétail dans plusieurs pays africains comme l'Egypte, la Tunisie et l'Algérie (Badri et Ludidi, 2020). Elles peuvent jouer un rôle important comme supplément protéique. En effet, la consommation de 20 g/jour seulement de feuilles de quelques halophytes peut améliorer la digestibilité des fourrages hautement énergétiques comme la paille, le foin ou l'herbe sèche (Wilson, 1992). Toutefois, les halophytes peuvent contenir certaines teneurs élevées en composés antinutritionnels tels que les flavonoïdes, les tanins, les alcaloïdes et les saponines ce qui diminue leur palatabilité par les animaux (Masters et al., 2007). Les halophytes en Tunisie appartiennent à plusieurs familles botaniques dont les plus représentées sont celles de Chenopodiaceae, caractérisées généralement par l'accumulation de grandes teneurs en NaCl, et de Poaceae en majorité plus riches en fibres et ayant de faibles teneurs en éléments anti-nutritifs comme l'oxalate (Hessini et al., 2020).

La connaissance des capacités adaptatives et des potentialités productives de ces espèces prometteuses paraît une étape clé dans le choix des plantes fourragères à impliquer dans les aménagements agropastoraux. C'est dans ce cadre que s'intègre le présent travail ayant pour objectif général la valorisation des sols marginaux côtiers et continentaux à travers l'évaluation de la qualité fourragère de trois halophytes spontanées de la famille de Chenopodiaceae (*Salicornia emerici* Duval-Jouve, *Sarcocornia alpini* (Lag.) Castrov. et *Sarcocornia fruticosa* (L.) A. J. Scott) par rapport à celle de la

plante fourragère la plus cultivée au Sud de la Tunisie *Medicago sativa* (L.).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Sites naturels et collecte du matériel végétal

Les sites naturels étudiés se situent en zones côtières du Sud-est tunisien, caractérisées par un climat méditerranéen aride. La température moyenne est de l'ordre de 20.9 °C et la pluviométrie annuelle est de 150 à 200 mm (<https://en.climate-data.org>). Les espèces étudiées sont des halophytes obligatoires colonisant les sols salés (sebkhas et chotts). Deux de ces espèces sont pérennes (*Sarcocornia fruticosa* et *Sarcocornia alpini*) et la troisième (*Salicornia emerici*) est une plante annuelle (Fig.

1). Il faut signaler que *Sarcocornia alpini* et *Salicornia emerici* sont récemment identifiées et ajoutées à la flore de la Tunisie (Hayder et al., in press). L'échantillonnage a eu lieu durant l'été 2021. Les plantes pérennes ont été collectées à partir du site Jdarya à Zarzis (33°25'49.4"N 11°05'40.7"E), tandis que l'espèce annuelle est originaire du site Sidi Jmour à l'île de Djerba (33°51'59"N 10°47'31"E) (Fig. 2).

Des rameaux ont été prélevés à partir des parties supérieures de 8 individus de chaque espèce (n = 8). Les échantillons ont été collectés aléatoirement à partir des individus de la même population. Ils ont été séchés à l'étuve puis broyés, tamisés à 1 mm et enfin conservés à l'abri de lumière et de chaleur jusqu'à utilisation. *Medicago sativa* (variété locale) est utilisée comme plante fourragère de référence. Elle a été

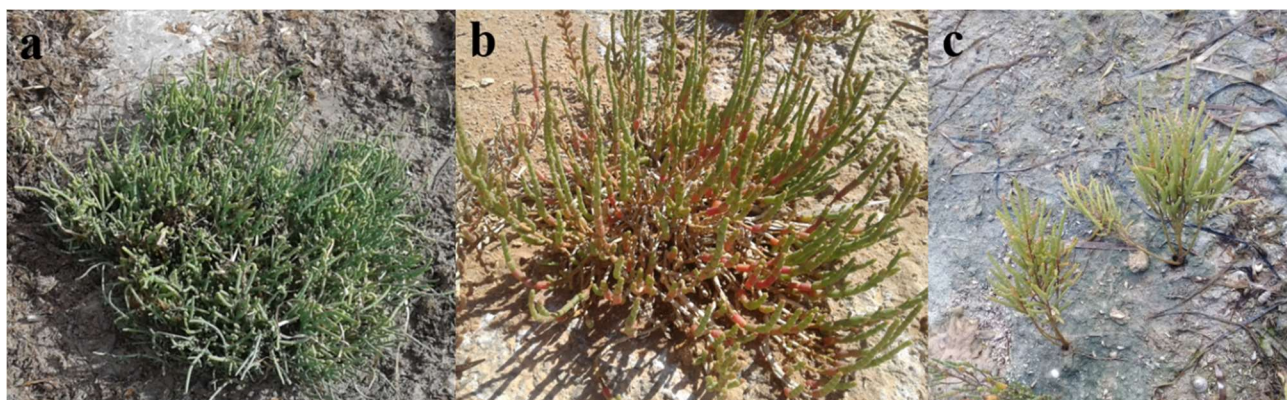


Fig. 1. Photos des halophytes étudiées, prises en Juillet 2021. (a) : *Sarcocornia fruticosa* ; (b) : *Sarcocornia alpini* et (c) : *Salicornia emerici*.

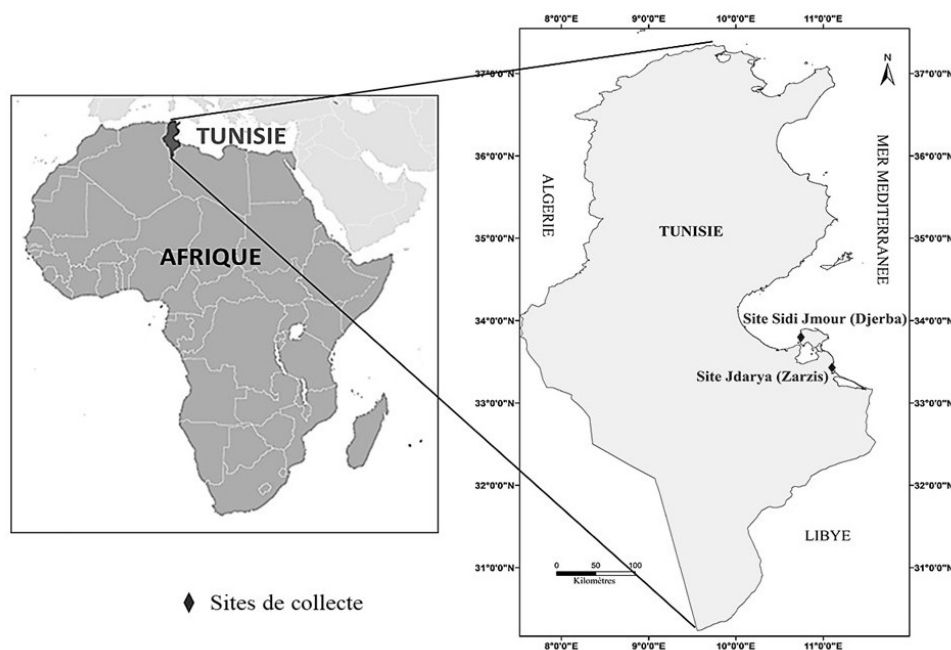


Fig. 2. Localisation géographique des sites naturels de collecte du matériel végétal.

cultivée à la parcelle expérimentale de l'Institut des Régions Arides sous des conditions de culture optimales puis récoltée en été. Les échantillons de 10 individus ont été récoltés en première année de culture, après floraison, mélangés et répliqués 10 fois après séchage. Les divers échantillons ont été analysés au Laboratoire d'Élevage et Faune Sauvage à l'Institut des Régions Arides de Médenine, sous les mêmes conditions expérimentales.

2.2. Matières sèche, minérale totale et organique totale

Afin de déterminer la matière sèche (MS), 100 g de la partie aérienne de chaque individu ont été séchés à l'étuve à 50 °C, durant 3 jours, avant d'être pesés à l'aide d'une balance de précision. La matière minérale totale (MM) a été obtenue par incinération dans un four à 550 °C, durant 6 heures. La matière organique (MO) a été déduite par la différence entre MS et MM.

2.3. Teneur en protéines brutes

La teneur en protéines brutes (PB) a été estimée indirectement à partir de la teneur en azote en suivant la méthode de Kjeldahl (Guiraud et Fardeau, 1977), comprenant deux étapes : la minéralisation et la distillation. L'azote total (N) est déterminé selon la formule suivante : $N (\%) = (1,4007 \cdot V_{HCl} \cdot N_{HCl}) / P_e$. Avec, V_{HCl} : volume de HCl utilisé pour le dosage du distillat en ml ; N_{HCl} : normalité de HCl qui est 0.1N et P_e : masse de la prise d'essai en mg.

La teneur en protéines brutes a été calculée selon la formule suivante : $PB (\%) = N \times 6,25$. Avec, N est le pourcentage d'azote multiplié par le facteur de conversion protéique.

2.4. Teneur en minéraux

L'extraction des minéraux a été effectuée en utilisant l'acide nitrique (0,5 %) comme solvant (Tam et yao, 1999) et les cations Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} et Fe^{2+} ont été dosés moyennant un spectrophotomètre d'absorption atomique de type Shimadzu AA6800.

2.5. Digestibilité *in vitro* de la matière sèche

La digestibilité *in vitro* de la matière sèche (CUD_{MS}) des espèces étudiées a été évaluée en suivant la première étape de la méthode de Tilley et Terry (1963). Pour chaque échantillon, 500 mg du broyat ont été incubés à 39°C pendant 48 h, en présence de 50 mL du mélange jus de rumen, prélevé le matin à partir de deux boucs adultes, et de salive artificielle préparé au laboratoire. Après incubation, le contenu de chaque tube a été filtré

et les résidus trouvés ont été séchés à 105°C pendant 24 h puis pesés. La digestibilité de la matière sèche a été déterminée en utilisant la formule suivante : $CUD_{MS} (\%) = ((I - F) / I) \times 100$. Avec, I : masse de la matière sèche incubée et F : masse de la matière sèche du résidu.

2.6. Composés pariétaux

Les fibres insolubles dans les détergents neutres (NDF), dans les détergents acides (ADF) et lignines insolubles dans les détergents acides (ADL) ont été déterminés selon la méthode de Van Soest et Robertson (1979). Les réactions NDF et ADF ont été effectuées dans un analyseur de fibres (Ankom Technology Co., Fairport, NY, USA) réglé à 100°C, durant 70 min. Les solutions d'extraction utilisées sont une solution détergente neutre, une solution détergente acide et une solution d'acide sulfurique 72 % pour les NDF, ADF et ADL, respectivement.

2.7. Dosage des composés antinutritionnels

Le dosage de flavonoïdes totaux, tanins condensés et saponines a été réalisé en suivant les méthodes développées par Bahorun et al. (1996), Broadhurst et Jones (1978) et Helaly et al. (2001), respectivement. Les résultats ont été exprimés en équivalent quercétine (μg EQ/g MS), catéchine (μg EC/g MS) et acide oléanolique (μg EAO/g MS) pour les flavonoïdes, les tanins condensés et les saponines, respectivement.

2.8. Analyses statistiques

Les données sont présentées sous forme de moyenne \pm écart type ($n = 8$). Après l'application du test de normalité Shapiro-wilk, une analyse de la variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée et des sous-groupes homogènes des moyennes ont été déterminés à l'aide du test SNK, au seuil de signification de 0,05. Toutes ces analyses ont été faites à l'aide du logiciel SPSS 20.0.

3. RESULTATS

3.1. Matières sèche, minérale et organique

Les pourcentages de la matière sèche (MS), de la matière minérale totale (MM, cendres) et de la matière organique totale (MO) des espèces étudiées et de la luzerne sont représentés dans la Fig. 3. La comparaison des moyennes indique que ces trois paramètres varient significativement entre les différentes espèces ($p < 0,001$). La biomasse sèche ainsi que le pourcentage en MO

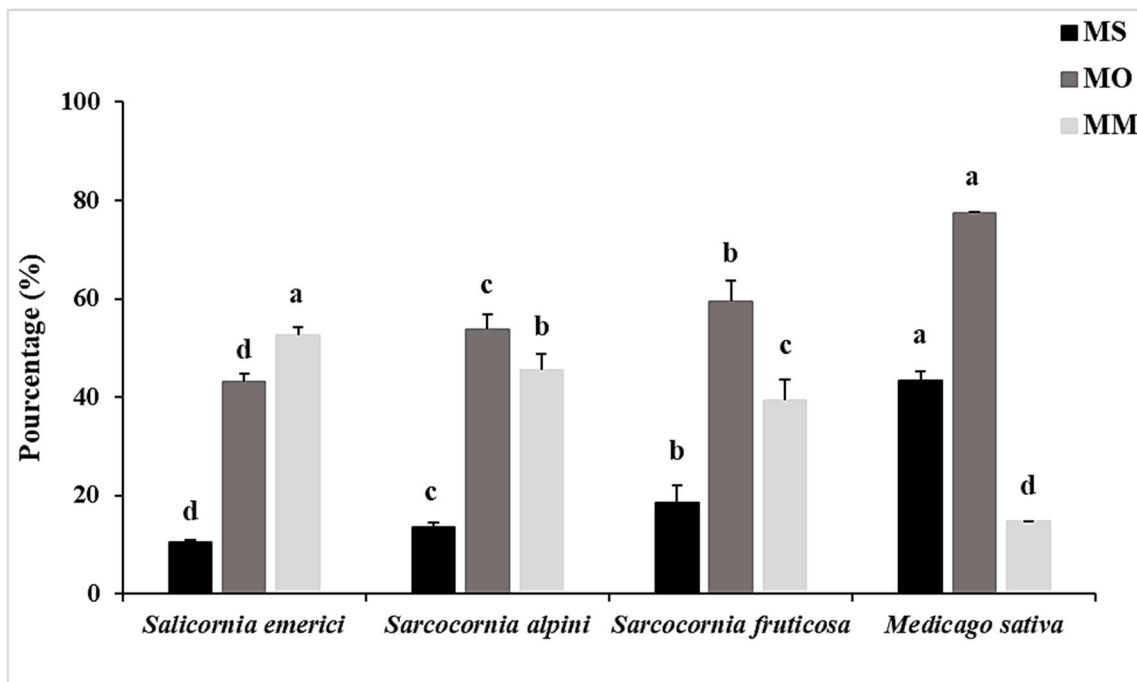


Fig. 3. Variation des teneurs en matière sèche (MS, en % MF), matière organique et cendres (MO et MM, en % MS) chez les trois halophytes étudiées par comparaison à la plante fourragère de référence *Medicago sativa*. a/b/c/d indiquent les différences entre les espèces pour chaque variable selon le test SNK.

les plus élevés sont notés chez *M. sativa* (MS= 43,42 % et MO= 77,42 %), suivie de *S. fruticosa* (MS = 18,63 % et MO = 59,43 %), *S. alpini* (MS = 13,49 % et MO = 53,70 %) et *S. emerici* (MS = 10,50 % et MO = 43,15 %), respectivement. Cependant, l'halophyte annuelle, *S. emerici*, présente le pourcentage le plus important en MM (52,51 %), suivie par les deux autres halophytes pérennes *S. alpini* (45,47 % MS) et *S. fruticosa* (39,35 % MS), respectivement. Comparée à ces trois halophytes, *M. sativa* possède le pourcentage le plus faible en MM (14,66 % MS). Ce pourcentage est environ 4 fois plus faible que celui de *S. emerici*.

3.2. Qualité fourragère

3.2.1. Digestibilité in vitro et protéines totales

La digestibilité in vitro de la matière sèche (CUD_{MS}) et les teneurs en protéines brutes (PB) des halophytes étudiées et de *M. sativa* sont présentées dans le Tableau 1. A la lecture de ce tableau, on remarque que la CUD_{MS} est élevée et très comparable chez *S. emerici*, *S. alpini* et *S. fruticosa* (environ 70 %). Toutefois, on constate une différence significative (F = 20 ; p < 0,001) entre la digestibilité de ces espèces et celle de *M. sativa* qui est de l'ordre de 60,09 %. Concernant la PB, une différence hautement significative est observée entre les quatre espèces (F = 106 ; p <

0,001). *M. sativa* possède le pourcentage de PB le plus élevé (24,69 % MS), suivi par *S. fruticosa* et *S. alpini* (15,71 et 11,87 % MS, respectivement). La teneur en PB la plus faible est enregistrée chez *S. emerici* (8,58 % MS).

3.2.2. Composés pariétaux

La comparaison des teneurs en composés pariétaux (NDF, ADF et ADL) des espèces étudiées montre que les NDF des trois halophytes sont très proches et varient entre 24,74 et 25,62 % de la matière sèche (Tableau 1) alors que celle de *M. sativa* est de 37,34 % (F = 63 ; p < 0,001). Les deux halophytes pérennes possèdent les pourcentages les plus faibles en ADF et en ADL. Pour l'ADF, *S. alpini* et *S. fruticosa* montrent respectivement 8,80 et 8,17 %. Cependant, les pourcentages les plus élevés des ADF (27,60 % MS) et des ADL (6,83 %) sont enregistrés chez la luzerne.

3.2.3. Eléments minéraux

La comparaison des teneurs en sodium, potassium, calcium, magnésium et en fer entre les espèces étudiées a montré des différences hautement significatives (p < 0,001). En analysant le Tableau 2, on constate que les trois espèces contiennent des teneurs très élevées en sodium. Ces teneurs varient entre 157,61 et 467,33 mg/g MS chez *S. emerici* et *S. alpini*,

respectivement. Les teneurs les plus faibles en K⁺, Mg²⁺ et Fe²⁺ sont enregistrées chez *S. emerici* (14,40 ; 14,10 et 0,14 mg/g MS, respectivement). Les deux halophytes pérennes présentent des teneurs très proches en K⁺ et Fe²⁺ mais des teneurs différentes en Ca²⁺ et Mg²⁺.

3.2.4. Flavonoïdes totaux, tanins condensés et saponines

Les teneurs en flavonoïdes, tanins condensés et saponines des halophytes étudiées sont présentées dans le Tableau 3. Ces composés

varient significativement entre *S. emerici*, *S. alpini* et *S. fruticosa* ($p < 0,001$). Les teneurs les plus élevées en flavonoïdes (2101,36 et 1388,24 µg EQ/ g MS) et en tanins condensés (716,42 et 510,90 µg EC/ g MS) sont enregistrées chez *S. alpini* et *S. fruticosa*, respectivement. Les teneurs les plus faibles en flavonoïdes et en tanins condensés sont enregistrées chez l'annuelle *S. emerici* (250,02 µg EQ/ g MS et 400,38 µg EC/ g MS, respectivement). Cette dernière est la seule espèce qui contient de la saponine avec une faible teneur.

Tableau 1. Digestibilité de la matière sèche (CUD_{MS}), teneurs en protéines brutes (PB) et en composés pariétaux (NDF, ADF et ADL) de trois halophytes en comparaison avec *M. sativa*.

| Espèces | CUD _{MS} (%) | PB (%) | NDF (%) | ADF (%) | ADL (%) |
|------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <i>Salicornia emerici</i> | 74,36 ± 2,32 a | 8,58 ± 1,03 d | 24,74 ± 1,53 b | 11,16 ± 1,16 b | 4,12 ± 0,96 b |
| <i>Sarcocornia alpini</i> | 73,87 ± 2,95 a | 11,87 ± 0,94 c | 25,26 ± 2,56 b | 8,80 ± 0,98 c | 2,47 ± 0,48 c |
| <i>Sarcocornia fruticosa</i> | 71,17 ± 6,60 a | 15,71 ± 3,28 b | 25,62 ± 3,25 b | 8,17 ± 1,34 c | 3,19 ± 1,09 bc |
| <i>Medicago sativa</i> | 60,09 ± 4,54 b | 24,69 ± 1,76 a | 37,34 ± 1,03 a | 27,60 ± 1,87 a | 6,83 ± 1,01 a |
| ddl | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| F | 20,71 | 106,41 | 63,71 | 387,92 | 29,58 |
| p | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |

Les lettres dans la même colonne indiquent les différences entre les espèces selon le test SNK.

Tableau 2. Teneur de quelques minéraux (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ et Fe²⁺) existant chez *S. emerici*, *S. alpini* et *S. fruticosa*.

| Espèces | Na ⁺ (mg/g) | K ⁺ (mg/g MS) | Ca ²⁺ (mg/g MS) | Mg ²⁺ (mg/g MS) | Fe ²⁺ (mg/g MS) |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>Salicornia emerici</i> | 157,61 ± 9,83 | 14,40 ± 3,46 b | 18,95 ± 3,89 b | 14,10 ± 2,16 c | 0,14 ± 0,04 b |
| <i>Sarcocornia alpini</i> | 467,33 ± | 27,50 ± 3,87 a | 44,27 ± 22,00 a | 35,32 ± 11,95 a | 0,38 ± 0,12 a |
| <i>Sarcocornia</i> | 388,51 ± | 30,27 ± 4,63 a | 20,12 ± 4,02 b | 22,27 ± 2,64 b | 0,33 ± 0,14 a |
| ddl | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| F | 80,64 | 35,64 | 9,51 | 17,80 | 9,85 |
| p | <0,001 | <0,001 | 0,001 | <0,001 | 0,001 |

Les lettres dans la même colonne indiquent les différences entre les espèces selon le test SNK.

Tableau 3. Teneurs en flavonoïdes totaux, tanins condensés et saponines dans les extraits des halophytes étudiées.

| Espèces | Flavonoïdes (µg EQ/ g MS) | Tanins (µg EC/ g MS) | Saponines (µg EAO/ g MS) |
|------------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|
| <i>Salicornia emerici</i> | 250,02 ± 45,47 c | 400,38 ± 94,25 c | 1400,32 ± 228,70 a |
| <i>Sarcocornia alpini</i> | 2101,36 ± 462,50 a | 716,42 ± 121,14 a | 0 b |
| <i>Sarcocornia fruticosa</i> | 1388,24 ± 344,68 b | 510,90 ± 63,88 b | 0 b |
| ddl | 2 | 2 | 2 |
| F | 62,50 | 22,36 | 299,92 |
| p | <0,001 | <0,001 | <0,001 |

Les lettres dans la même colonne indiquent les différences entre les espèces selon le test SNK.

4. DISCUSSION

Les halophytes, facultatives ou obligatoires, constituent 1 à 2 % de la flore terrestre et occupent des habitats très variés (Flowers et Colmer, 2008). Ce groupe de végétaux représente une proportion importante de la végétation naturelle africaine (Badri et Ludidi, 2020). En Tunisie, malgré leur importance, ces plantes sont jusqu'à présent peu exploitées. Par ce travail, on vise à étudier la qualité fourragère de trois halophytes autochtones (deux pérennes très répandues : *S. alpini* et *S. fruticosa* et une annuelle à populations naturelles réduites : *S. emerici*) et ce en évaluant leur matière sèche, leur digestibilité et leur composition chimique en comparaison à la luzerne cultivée *M. sativa*. Comme les autres halophytes, ces espèces sont connues par leur capacité à coloniser les sols marginaux hautement salés (Ventura et Sagi, 2013). En comparaison à *M. sativa*, ces trois halophytes ont de plus faibles teneurs en matière sèche. Ceci peut être expliqué par la succulence qui caractérise ces espèces (Lopes et al., 2023), ou par le temps d'échantillonnage qui avait eu lieu en été pour les espèces étudiées. Ainsi, Laudadio et al. (2009) ont montré qu'en fin du printemps *Sarcocornia fruticosa* produit 14 % de matière sèche dans les conditions naturelles. Ces espèces présentent aussi des pourcentages très élevés en matière minérale (MM). En fait, les deux genres *Salicornia* et *Sarcocornia* sont des halophytes obligatoires accumulatrices. Elles sont souvent caractérisées par un fort pouvoir d'ajustement osmotique leur permettant une grande tolérance à la salinité du sol et de l'eau par l'accumulation et la séquestration des ions minéraux dans les vacuoles, principalement les ions Na^+ et Cl^- (Lopes et al., 2023). Ce mécanisme de tolérance au stress salin devrait expliquer les teneurs élevées en MM révélées dans la présente étude (52,51 ; 45,47 et 39,35 % MS pour *S. emerici*, *S. alpini* et *S. fruticosa*, respectivement). Ces résultats sont en accord avec ceux de Laudadio et al. (2009). Ces derniers ont rapporté que les pourcentages de MM chez *S. fruticosa*, *Salsola tetragona* et *Salsola tetrandra* sont supérieurs à 25 %. Nos résultats prouvent aussi que les deux espèces vivaces sont riches en matière organique (MO) et en protéines brutes (PB), montrant leur intérêt comme support alimentaire permettant de réduire le déficit fourragère dans la région Sud du pays. Durant la période estivale, la matière sèche de ces espèces s'est révélée plus digestible que celle de la luzerne récoltée après floraison, qui est bien connue pour sa bonne qualité fourragère (Xu et al., 2023). La digestibilité des halophytes, peut

varier considérablement selon l'espèce végétale, la phénologie et la saison et peut atteindre 70 % (El Shaer, 2010). Les teneurs en PB obtenues chez les deux espèces de *Sarcocornia* varient de 12 à 15 % de la matière sèche. Ces résultats corroborent avec ceux trouvés par Laudadio et al. (2009) et Custódio et al. (2021) qui ont montré des teneurs comparables de PB des espèces du genre *Sarcocornia*. Dans cette étude, *S. emerici* a montré les teneurs les plus faibles en PB de l'ordre de 8,58 %. Cependant, dans une étude antérieure faite par Essaidi et al. (2013), il s'avère que *S. herbacea*, qui pousse sur les sols salés de la Tunisie méridionale, constitue une bonne source de protéines avec 22,1 % de protéines brutes par rapport à la matière sèche totale. La digestibilité des trois halophytes étudiées a été élevée et d'environ 70 % de la matière sèche. Cette forte digestibilité, peut être associée aux faibles pourcentages d'ADF et d'ADL trouvées chez ces trois halophytes (inférieurs à 12 et à 5 %, respectivement). En effet, El Shaer (2010) a montré qu'une augmentation de l'ADF et de l'ADL se traduit par une diminution de la capacité de digestion des plantes fourragères.

Le dosage des minéraux a montré que *S. emerici*, *S. alpini* et *S. fruticosa* accumulent des teneurs élevées en Na^+ . Ces teneurs peuvent être insupportables et posent des problèmes particuliers chez le bétail. En fait l'excès de Na^+ entraîne l'augmentation de la fréquence respiratoire et de la rétention d'eau, une diminution de la digestibilité de la matière organique et une réduction de l'appétit (Masters et al., 2007). Pour réduire l'effet toxique des ions Na^+ , plusieurs travaux ont proposé de mélanger les plantes halophiles avec des plantes fourragères à faibles teneurs en sels (Abdal, 2009 ; Anon, 2009). Par contre, cette richesse en sodium est bien appréciée par certain bétail comme les dromadaires et les caprins. Donc ces espèces peuvent être valorisées directement comme fourrage pour ces espèces animales. Par exemple, Glenn et al. (1999) ont mentionné que *S. fruticosa* est très appréciée surtout par les dromadaires. A son tour, El Shaer (1997) a indiqué que cette espèce est consommée par les chèvres et les moutons aussi et souvent pâturée pendant l'hiver et le printemps. En plus du sodium, nous avons constaté que *S. alpini*, *S. fruticosa* et *S. emerici* contiennent des teneurs élevées en K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} et Fe^{2+} . Ces ions sont plus importants chez les espèces vivaces que chez l'espèce annuelle *S. emerici*. Comme la plupart des *Chénopodiacées*, la majorité des espèces du genre *Sarcocornia* et *Salicornia* peuvent contenir des

composés antinutritionnels tels que les flavonoïdes, tanins, alcaloïdes, oxalates et saponines. Ces composés peuvent être extrêmement toxiques pour les animaux en dépassant certains seuils (4 % de MS pour les tanins et 3% de MS pour les saponines) et entraînent des pertes économiques importantes pour les éleveurs (El Shaer, 2010 ; Ehsen et al., 2016). Selon les résultats de cette étude, les trois halophytes étudiés contiennent des faibles teneurs en tanins condensés et en flavonoïdes et les deux espèces vivaces *S. alpini* et *S. fruticosa* sont les plus riches en comparaison avec *S. emerici*. De même, Ehsen et al. (2016) ont remarqué que les halophytes vivaces accumulent plus de composés antinutritionnels que les halophytes annuelles et ont expliqué cela par le cycle végétatif de chaque type de végétation. Concernant la saponine, elle n'a été identifiée que chez l'espèce annuelle *S. emerici* mais avec des teneurs faibles de l'ordre de 1400,32 µg EAO/ g MS. D'autres études ont noté aussi la présence de ce composé chez plusieurs espèces du genre *Salicornia* comme *S. europaea* et *S. bigelovii* (Guan et al., 2015 ; Kim et al., 2021). Par contre, aucun document n'a mentionné la présence de saponine chez le genre *Sarcocornia* ce qui confirme les résultats trouvés dans cette étude. Selon le stade végétatif et la vigueur des plantes, les faibles teneurs en composés antinutritionnels peuvent expliquer l'appétabilité de ces espèces par le bétail.

5. CONCLUSION

L'approfondissement des connaissances sur les plantes spontanées autochtones est très utile pour le choix des espèces à impliquer dans les travaux d'amélioration pastorale. Les halophytes représentent un des groupes de végétaux prometteurs pour atteindre cet objectif. Ainsi cette étude a montré que la teneur en matière sèche, la digestibilité et la composition chimique de *S. emerici*, *S. alpini* et *S. fruticosa* récoltées durant la saison estivale sont de bonne qualité malgré des teneurs moyennes en protéines brutes, la présence de quelques éléments anti-nutritifs et des niveaux élevés en sodium. De ce fait, et sur la base des cycles de vie, la disponibilité et la répartition spatiale des populations naturelles de ces espèces, il s'avère que les deux vivaces *S. alpini* et *S. fruticosa* sont les candidates les plus intéressantes pour la production du fourrage au bétail durant toute l'année dans les régions arides du Sud Tunisien.

REFERENCES

- Abdal, M.S. (2009). *Salicornia* production in Kuwait. World Applied Sciences Journal 6, 1033–1038.
- Amamou, H., Sassi, M.B., Aouadi, H., Khemiri, H., Mahouachi, M., Beckers, Y., Hammami, H. (2018). Climate change-related risks and adaptation strategies as perceived in dairy cattle farming systems in Tunisia. Climate Risk Management 20, 38–49.
- Anon, M. (2009). Introduction of salt-tolerant forage production systems to salt-affected lands in Sinai Peninsula in Egypt: a pilot demonstration project. Final Report, DRC, Egypt-ICBA, UAE.
- Arya, S.S., Devi, S., Ram, K., Kumar, S., Kumar, N., Mann, A., Kumar, A., Chand, G. (2019). The plants of therapeutic medicine. Ecophysiol. Abiotic Stress Responses Util. Halophytes 2019, 271–287.
- Badri, M., Ludidi, N. (2020). Halophytes as a resource for livestock in Africa: Present status and prospects. In Handbook of Halophytes; Grigore, M.N., Ed.; Springer: Cham, Switzerland 2021, 1–17.
- Bahorun, T., Gressier, B., Trotin, F., Brunet, C., Dine, T., Luyckx, M., Cazin M, Cazin JC, Pinkas, M. (1996). Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. Arzneimittel-forschung 46, 1086–1089.
- Broadhurst, R.B., & Jones, W.T. (1978). Analysis of condensed tannins using acidified vanillin. Journal of the Science of Food and Agriculture 29, 788–794.
- Custódio L., Rodrigues M.J., Pereira C.G., Castañeda-Loaiza V., Fernandes, E., Standing, D., Neori A., Shpigel M., Sagi M. (2021). A review on *Sarcocornia* species: Ethnopharmacology, nutritional properties, phytochemistry, biological activities and propagation. Foods 10, 2778.
- Ehsen, S., Qasim, M., Abideen, Z., Rizvi, R. F., Gul, B., Ansari, R., Khan, M. A. (2016). Secondary metabolites as anti-nutritional factors in locally used halophytic forage/fodder. Pakistan Journal of Botany 48, 629–636.
- El Shaer, H.M. (2010). Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East region. Small Ruminant Research 91, 3–12.
- El Shaer, H.M., (1997). Sustainable utilization of halophytic plant species as livestock fodder in Egypt. In: Salinity Problems and Halophyte Use: Water Management, Salinity and Pollution Control Towards Sustainable Irrigation in the

- Mediterranean Region. CIHEAM International Conference, Valenzano-Bari, pp. 171–184.
- El Shaer, H.M., Attia-Ismail, S.A. (2015). Halophytic and salt tolerant feedstuffs in the Mediterranean basin and Arab region: an overview. Halophytic and salt-tolerant feedstuffs impact on nutrition, physiology and reproduction of livestock. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group 21–36.
- Essaidi, I., Brahmi, Z., Snoussi, A., Koubaier, H.B.H., Casabianca, H., Abe, N., El Omri A., Chaabouni M.M., Bouzouita, N. (2013). Phytochemical investigation of Tunisian *Salicornia herbacea* L., antioxidant, antimicrobial and cytochrome P450 (CYPs) inhibitory activities of its methanol extract. Food Control 32, 125–133.
- Flowers T.J., Colmer T.D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. New Phytologist 179, 945–963.
- Glenn, E.P., Brown, J.J., Blumwald, E. (1999). Salt tolerance and crop potential of halophytes. Critical Reviews in Plant Sciences 18, 227–255.
- Guan, F., Wang, Q., Wang, M., Shan, Y., Chen, Y., Yin, M., Zhao Y., Feng X., Liu F., Zhang, J. (2015). Isolation, identification and cytotoxicity of a new noroleanane-type triterpene saponin from *Salicornia bigelovii* Torr. Molecules 20, 6419–6431.
- Guiraud, G., Fardeau, J.C. (1977). The determination of nitrates in soils and plants by the Kjeldahl method. Annales Agronomiques 28, 329–333.
- Hartley A., Jones R., and Janes T., (2015). Projections relatives aux changements des services écosystémiques face au changement climatique. UNEP-WCMC Technical Report. <http://www.unepwcmc.org>
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M., Bhowmik, P.C., Hossain, M., Rahman, M.M., Prasad M.N.V., Ozturk M., Fujita, M. (2014). Potential use of halophytes to remediate saline soils. BioMed research international 2014, 589341.
- Hayder, Z., Gaied, R.B., Tlili, A., Sbissi, I., Tarhouni, M. (in press). Phylogenetic and morphological studies of *Sarcocornia* (L.) AJ Scott and *Salicornia* L. (Chenopodiaceae) and insights into plant diversity with first record of two species new for Tunisia. Genetic Resources and Crop Evolution 70, 717–729.
- Helaly, F.M., Soliman, H.S.M., Soheir, A.D., Ahmed, A.A. (2001). Controlled release of migration of molluscicidal saponin from different types of polymers containing *Calendula officinalis*. Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute 20, 305–311.
- Hessini, K., Jeddi, K., Shaer, H.E., Smaoui, A., Salem, H.B., Siddique, K.H. (2020). Potential of herbaceous vegetation as animal feed in semi-arid Mediterranean saline environments: The case for Tunisia. Agronomy Journal 112, 2445–2455.
- Kang, S., Post, W.M., Nichols, J.A., Wang, D., West, T.O., Bandaru, V., Izaurralde, R.C. (2013). Marginal lands: concept, assessment and management. Journal of Agricultural Science 5, 129.
- Keenan, R.J., Reams, G.A., Achard, F., de Freitas, J.V., Grainger, A., Lindquist, E. (2015). Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. Forest Ecology and Management 352, 9–20.
- Khan, M.A., Duke, N.C. (2001). Halophytes-A resource for the future. Wetlands Ecology and Management 9, 455–456.
- Kim, S., Lee, E.Y., Hillman, P.F., Ko, J., Yang, I., Nam, S.J. (2021). Chemical structure and biological activities of secondary metabolites from *Salicornia europaea* L. Molecules 26, 2252.
- Knaepen, H. (2021). Climate Risks in Tunisia Challenges to Adaptation in the Agri-Food System; European Centre for Development Policy Management (ECDPM): Maastricht, The Netherlands, 2021.
- Laudadio, V., Tufarelli, V., Dario, M., Hammadi, M., Seddik, M.M., Lacalandra, G.M., Dario, C. (2009). A survey of chemical and nutritional characteristics of halophytes plants used by camels in Southern Tunisia. Tropical animal health and production 41, 209–215.
- Lopes, M., Silva, A.S., Séndon, R., Barbosa-Pereira, L., Cavaleiro, C., Ramos, F. (2023). Towards the Sustainable Exploitation of Salt-Tolerant Plants: Nutritional Characterisation, Phenolics Composition, and Potential Contaminants Analysis of *Salicornia ramosissima* and *Sarcocornia perennis alpini*. Molecules 28, 2726.
- Mahmoudi, M., Boughalleb, F., Maaloul, S., Zaidi, S., Bakhshandeh, E., Abdellaoui, R. (2023). The effect of seasonality on the phytochemical composition of two Limonium species naturally growing in a Mediterranean arid-salt marsh: Harvesting time optimization by modeling approach. Scientia Horticulturae 309, 111616.
- Masters, D.G., Benes, S.E., Norman, H.C. (2007). Biosaline agriculture for forage and livestock production. Agriculture, ecosystems & environment 119, 234–248.
- Ndesanjo, R.B., Fensholt, R., Nielsen, M.R., Theilade, I. (2023). Climate variability impacts on pasture productivity and pastoral livelihoods

- in northern Tanzania. Regional Environmental Change 23, 54.
- ODS, 2021. Gouvernorat de Médenine en chiffres. Ministère de l'Economie et de la Planification. Office de Développement du Sud 2021, pp 105. http://www.ods.nat.tn/upload/files/pdf/CHIF_MEDENINE.pdf
- ONAGRI, 2021. Observatoire National de l'Agriculture. onagri-vigilance N° 79., pp 11. onagri.nat.tn/uploads/vigilance/onagri-vigilance-janvier-2021.pdf
- Pedrono M., Locatelli B., Ezzine-de-blas D., Pesche D., Morand S., Binot A. (2015). Les services écosystémiques face au changement climatique, in : Torquebiau E. (Ed.), Changement climatique et agricultures du monde. Versailles : Ed. Quae, pp. 236–245.
- Rabhi, M., Ferchichi, S., Jouini, J., Hamrouni, M.H., Koyro, H.W., Ranieri, A., Abdelly C., Smaoui, A. (2010). Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop. Bioresource technology 101, 6822–6828.
- Sharma, R., Wungrampha, S., Singh, V., Pareek, A., Sharma, M.K. (2016). Halophytes as bioenergy crops. Frontiers in Plant Science 7, 1372.
- Tam, N.F.Y., Yao, M.W.Y. (1999). Three digestion methods to determine concentrations of Cu, Zn, Cd, Ni, Pb, Cr, Mn, and Fe in mangrove sediments from Sai Keng, Chek Keng, and Sha Tau Kok, Hong Kong. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 62, 708–716.
- Tilley, J.M.A., Terry, D.R. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Grass and forage science 18, 104–111.
- Tlili A., Ghanmi E., Ayeb N., Louhaichi M., Neffati M., and Tarhouni M., (2020). Revegetation of marginal saline rangelands of southern Tunisia using pastoral halophytes. African Journal of Range & Forage Science 37, 151–157.
- Tlili, A., Tarhouni, M., Cerdà, A., Louhaichi, M., Neffati, M. (2018). Comparing yield and growth characteristics of four pastoral plant species under two salinity soil levels. Land Degradation & Development 29, 3104–3111.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. (1979). Systems of analysis for evaluating fibrous feeds, in: Pigden, W.J., Balch, C.C., Graham, M. (Eds.), Standardization of Analytical Methodology for Feeds. IDRC, Ottawa CA, pp. 49–60.
- Ventura, Y., Sagi, M. (2013). Halophyte crop cultivation: the case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. Environmental and Experimental Botany 92, 144–153.
- Wilson, A.D. (1992). Halophytic shrubs in semi-arid regions of Australia value for grazing and land stabilization. In Proceedings of the International Workshop on Halophytes for Reclamation of Saline Wastelands and as a Resource for Livestock Problems and Prospects, Nairobi, Kenya, 22–27 November 1992, pp. 101–113.
- Xu, Z., Heuschele, D.J., Lamb, J.F., Jung, H.J.G., Samac, D.A. (2023). Improved Forage Quality in Alfalfa (*Medicago sativa* L.) via Selection for Increased Stem Fiber Digestibility. Agronomy 13, 770.