

**UNIVERSITE OUARGLA**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

**Département des Sciences Agronomiques**

**Année 2014/2015**



**N° d'enregistrement :**

**/...../...../...../...../**

**THESE**

**En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat  
en Sciences Agronomiques**

**Etude phytoécologique spatiotemporelle des zones humides  
du Nord-est du Sahara septentrional algérien  
(Région de Ouargla et de l'Oued Righ).**

**Présentée et soutenue publiquement**

**Par : KOULL Naïma**

**Le 08/02/2015**

**Devant le jury composé de :**

SAKER Mohamed Lakhdar	Professeur (Université de Ouargla)	Président
CHEHMA Abdelmadjid	Professeur (Université de Ouargla)	Promoteur
BISSATI Samia	Professeur (Université de Ouargla)	Examineur
BENAZZOUZ Med Tahar	Professeur (Université Mentouri Constantine)	Examineur
BENSLAMA Mohamed	Professeur (Université Badji Mokhtar Annaba)	Examineur
BELHADJ Safia	Professeur (Université Ziane Achour Djelfa)	Examineur

## Remerciements

Les travaux de cette thèse ont été réalisés sous la direction du professeur CHEHMA Abdelmadjid. Je lui adresse également mes plus vifs remerciements, pour la confiance qu'il a su m'accorder. Je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance pour son aide, son soutien et de s'être toujours rendu disponible quand j'en ai eu besoin. J'ai énormément appris à ton contact et j'éprouve beaucoup de respect pour ton travail et ta vision de la recherche.

Je remercie les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail en dépit des différentes responsabilités qui leur incombent et pour l'attention qu'ils ont porté au manuscrit de cette thèse:

- Monsieur le professeur BENZAZZOUZ Med Tahar (Université Mentouri Constantine) qui m'a apporté beaucoup de conseils et de courage et d'avoir accepté d'examiner ce travail.
- Madame BISSATI Samia (professeur à l'Université Kasdi Merbah Ouargla) d'avoir accepté d'examiner ce travail.
- Monsieur le professeur BENSLAMA Mohamed (Université Badji Mokhetar Annaba) d'avoir accepté d'examiner ce travail.
- Madame BELHADJ Safia (professeur à l'Université Ziane Achour Djelfa) d'avoir accepté d'examiner ce travail.
- Monsieur le professeur SAKER Med Lakhdar (Université Kasdi Merbah Ouargla) d'avoir accepté de présider ce jury.

Parce que les pensées et les idées avancées dans un manuscrit de thèse ne sont évidemment pas le fruit d'une seule personne, je veux également remercier tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont contribué à nourrir ma réflexion sur les vastes sujets que constituent cette thèse. Ma gratitude va aussi à mes compagnons de thèse, aussi bien pour nos discussions scientifiques que pour les beaux moments passés sur le terrain, au laboratoire ou au bureau: une pensée particulière à Nadji Ouednani, Nabila Bekouche, Samia Hadje Saïd, Med El-Hafed Kherraz, Tidjani Benzaoui, Hadri Toufik. Nombreux sont certainement tous ceux qui ont été pour moi une aide précieuse et que malheureusement, je ne pourrai nommer. Que chacun soit assuré de toute ma gratitude, particulièrement monsieur Rachid Lamniä.

Je tiens à remercier particulièrement messieurs Guilhem Bourié (Professeur à INRA France) et Haliss Youcef (Maître de recherche au CRSTRA, Touggourt) dont l'aide a été considérable dans la réalisation de la thèse par la traduction des articles en anglais.

Enfin, il ne nous est pas souvent donné l'occasion de remercier les personnes qui nous sont chères et qui ont une influence sur nos pensées, généralement sur notre vie. Je tiens donc à adresser ici mes salutations sincères à tous les membres de ma famille, qui ne liront sans doute jamais cette thèse (mis à part, peut-être les remerciements!), mais qui m'ont tous encouragé à un moment ou à un autre, et qui y ont participé chacun à sa manière.

## Résumé

Les zones humides constituent un écosystème indispensable à l'équilibre écologique des zones sahariennes. Leurs études phytoécologiques est nécessaire pour tout projet de préservation. Notre travail s'est focalisé sur l'étude phytoécologique des zones humides du Nord Est du Sahara septentrional algérien, représenté par trois chotts et cinq lacs (chott Aïn El Beida, chott Oum El-Ranneb, chott Sidi Slimane, lac Hassi Ben Abdallah, lac Lala Fatma, lac Merdjaja, lac Témacine (El-Bhour) et lac Ayata). L'étude de la flore a révélé l'existence de 17 espèces appartenant à 10 familles. Les plans d'eau sont dépourvus de plantes submergées. La répartition des espèces est hétérogène suivant les zones humides. Les lacs Ayata et Mégarine sont les plus riches avec 10 espèces. Les types biologiques les plus fréquents sont les Chaméphytes (41%) et les Géophytes (17%), qui caractérisent la végétation désertique avec un recouvrement faible et une hauteur basse. La famille des Amaranthacées regroupe le nombre le plus élevé d'espèces avec six plantes différentes, ce qui indique la capacité de ces espèces à résister à la salinité et à la sécheresse. La majorité des espèces inventoriées dans les cinq stations sont, soit des halophytes, notamment *Arthrocnemum glaucum*, *Halocnemum strobilaceum* et *Salicornia fruticosa*, soit des plantes hydrophytes représentées notamment par *Phragmites communis*, *Juncus maritimus* et *Tamarix gallica*. Les sols sont neutres à alcalins, gypseux, hydromorphes et très salés à extrêmement salés, avec un faciès chloruré calcique. L'hydro-halomorphie suit une allure descendante, tout en s'éloignant des centres des chotts ou des lacs. Les eaux des zones humides sont très chargées en sels solubles. Certaines sont polluées par l'éjection des eaux usées (chott Oum El-Ranneb et chott Ain El Beida). Les eaux influent sur les sols et par conséquent sur la végétation. L'analyse canonique de correspondances montre que la salinité, l'hydromorphie et la salinité des eaux sont les principaux facteurs qui influent la distribution et la croissance des plantes des habitats halo-hydromorphes. La végétation semble structurée suivant le gradient de salinité et d'humidité du sol. Le *Halocnemum strobilaceum* occupe les sols les plus salés et humides, où elle est considérée comme l'espèce la plus tolérante aux mauvaises conditions édaphiques. Elle forme un cortège spécifique autour des chotts. Le *Phragmites communis* est présent avec une large distribution avec de fortes densités aux bordures immédiates des plans d'eau. Le *Juncus maritimus*, *Tamarix gallica* et *Salicornia fruticosa* occupent les sols qui se trouvent partiellement ou complètement inondés dans la saison hivernale. Les espèces *Suaeda fruticosa*, *Traganum nudatum*, *Arthrocnemum glaucum*, *Aeluropus litoralis* et *Cynodon dactylon* occupent les sols salés et humides éloignés du plan d'eau. Le *Zygophyllum album*, *Limonastrirum guynianum*, *Cornulaca monacantha*, *Cistanche tinctoria*, *Cressa cretica*, *Mollugo nudicaulis* et *Sonchus maritimus* occupent les sols les moins salés et moins humides. Elles constituent la dernière ceinture de végétation autour des plans d'eau.

**Mots clés:** zones humides, halo-hydromorphie, flore, sol, eau, phytoécologie, Sahara.

## Summary

Wetlands are essential ecosystems for the ecological stability of Saharan zones. Their phytoecological study is necessary for any conservation project. Our work is focused on the phytoecological study of North East Algerian Sahara wetlands, represented by three chotts and five lakes (Ain El Beida Chott, Oum El-Ranneb Chott, Sidi Slimane Chott, Hassi Ben Abdallah Lake, Megarine (Lala Fatma) Lake, Merdjaja Lake, Témacine (El-Bhour) Lake and Ayata Lake). Seventeen species belonging to 10 families were identified in the studied habitats. Wetlands waters are devoid of submerged plants. Species distribution is heterogeneous according to the wetlands; it found that Ayata and Megarine lakes are the richest with 10 species. The most frequent life-form was Chamaephytes (41%) and Geophytes (17%), which characterize the desert vegetation with low cover and low height. Amaranthaceae includes the highest number of species with six different plants which indicates the ability of these species to withstand salinity and drought. The floristic analysis showed that the natural vegetation of the studied wetlands was composed of halophytic species (*Arthrocnemum glaucum*, *Halocnemum strobilaceum* and *Salicornia fruticosa*) and hydro-halophytic species (*Phragmites communis*, *Juncus maritimus* and *Tamarix gallica*). The soils are neutral to alkaline, gypsum, moisture and salty to very salty with dominance of chloride and calcium. The hydro-halomorphy decreased at varying distances around the study wetlands. Wetlands waters are loaded with soluble salts. Some are polluted by the discharge of wastewater (Oum El-Ranneb and Ain El Beida Chotts). Waters affect the soil and consequently on vegetation. Canonical Correspondence Analysis showed that salinity, hydromorphy and water salinity are the main factors that influence the distribution and plant growth of halo-hydromorphic habitats. Community structure and distributional pattern of species were mainly dependent on the salinity and moisture gradient. *Halocnemum strobilaceum* was observed to grow in highly salt affected soils, thus being the more salt tolerant species. *Phragmites communis* was distributed widely in the study area with a high density in the edges of water. *Juncus maritimus*, *Tamarix gallica* and *Salicornia fruticosa* occupy soils that are partially or completely flooded in the winter season. *Suaeda fruticosa*, *Traganum nudatum*, *Arthrocnemum glaucum*, *Aeluropus litoralis* and *Cynodon dactylon* occupy salty and moist soil away from the water. *Zygophyllum album*, *Limonastrirum guynianum*, *Cornulaca monacantha*, *Cistanche tinctoria*, *Cressa cretica*, *Mollugo nudicaulis* and *Sonchus maritimus* were located in the less salty and less humid soils. They constituted the outermost belt of vegetation.

**Keywords:** wetlands, halo-hydromorphic, flora, soil, water, plant ecology, Sahara.

الرطوبة عنصر أساسي لتوازن النظام البيئي الإيكولوجي للمناطق الصحراوية. الدراسة الإيكولوجية لنباتات هذه المناطق ضرورية لأي مشروع للحفاظ عليها. ويتركز عملنا على الدراسة الإيكولوجية لنباتات

ثلاثة شطوط وخمس بحيرات (شط عين البيضاء، شط أم الرانب، شط سيدي سليمان، بحيرة حاسي بن عبد الله، بحيرة مقارين )، بحيرة مرجاجة، بحيرة تماسين ( ) وبحيرة عياطة).

17 10 . لمسحات المائية خالية من النباتات الم .  
توزيع الأنواع غير متجانس وفقا للمناطق الرطبة، بحيرتي مقارين وعياطة هي الأغنى باحتوائها على 10 . الأنواع البيولوجية الأكثر شيوعا هي chamaephytes ( 41 ) géophytes ( 17 ) والتي تتميز الغطاء النباتي الصحراوي بضعف غطاءها وقصر طولها.  
Amaranthaceae العدد الأكبر بسنة أنواع نباتية مختلفة مما يدل على قدرة هذه الأذ البية الأذ واع التي تم جردها في المحطات الخمس هي إما نباتات ملحية خاصة

*Salicornia fruticosa Halocnemum strobilaceum Arthrocnemum glaucum*  
نباتات مائية خاصة *Tamarix gallica Juncus maritimus Phragmites communis*  
معتدلة الى قلوية، غنية بالجبس، مغمورة بالمياه، مالحة جدا إلى شديدة الملوحة وغناها بالكور والكالسيوم. تنقص ملوحة ورطوبة التربة كلما ابتعدنا عن مركز الشط أو البحيرة. مياه المناطق الرطبة غنية جدا سريعة . بعض منها ملوث نتيجة تصريف مياه الصرف ( ) شط أم الرانب وشط عين البيضاء). هذه المياه تؤثر على التحليل الإحصائي ACC ملوحة ورطوبة التربة وملوحة المياه هي العوامل الرئيسية التي تؤثر على توزيع ونمو النبات في الأوساط الرطبة المالحة. يتوزع الغطاء النب

*Halocnemum strobilaceum* في التربة الرطبة الأكثر ملوحة، ويعتبر أكثر الأنواع تحملا للظروف التربة السيئة وتشكل حزام خاص حول الشطوط. يتوزع *Phragmites communis* مع وبكثافة كبيرة على حواف المسطح ائية. *Juncus maritimus*، *Salicornia fruticosa Tamarix gallica* في التربة المغمورة بالمياه جزئيا أو كلي *Traganum nudatum Suaeda fruticosa* .

*Cynodon dactylon Aeluropus littoralis Arthrocnemum glaucum*  
رطوبة بعيد ائية. *Zygophyllum album*، *Cistanche tinctoria*، *Cornulaca monacantha*، *Limonastrirum guynianum*، *Sonchus maritimus Mollugo nudicaulis*، *Cressa cretica*  
ورطوبة، وتكون حزام في نهاية الغط ائية.

: الأراضي الرطبة، الملوحة والرطوبة، نبات، تربة، مياه، إيكولوجيا النباتات، الصحراء.

## Liste des figures

N°	TITRE	Page
<b>Figure 01</b>	Moyennes mensuelles des précipitations	<b>06</b>
<b>Figure 02</b>	Moyennes mensuelles des températures moyennes	<b>06</b>
<b>Figure 03</b>	Moyennes mensuelles des vitesses des vents.	<b>07</b>
<b>Figure 04</b>	Moyennes mensuelles de l'évaporation.	<b>08</b>
<b>Figure 05</b>	Moyennes mensuelles de l'humidité de l'air.	<b>08</b>
<b>Figure 06</b>	Moyennes mensuelles de l'insolation	<b>09</b>
<b>Figure 07</b>	Diagrammes Ombothermiques des régions d'étude.	<b>11</b>
<b>Figure 08</b>	Localisation des régions d'études dans le Climagramme d'Emberger.	<b>12</b>
<b>Figure 09</b>	Localisation des zones humides (stations) étudiées.	<b>17</b>
<b>Figure 10</b>	Dispositif de prélèvement des relevés.	<b>23</b>
<b>Figure 11</b>	Emplacement des transects dans les stations : a : chott Aïn El Beida, b : chott Oum El-Ranneb, c : lac Hassi Ben Abdallah.	<b>24</b>
<b>Figure 12</b>	Emplacement des transects dans les stations : a : lac Témachine, b : lac Merdjaja, c : lac Mégarine.	<b>25</b>
<b>Figure 13</b>	Emplacement des transects dans les stations : a : chott Sidi Slimane, b : lac Ayata.	<b>26</b>
<b>Figure 14</b>	Schéma des prélèvements des échantillons de sols dans une placette.	<b>31</b>
<b>Figure 15</b>	Répartition du nombre d'espèces par type biologique	<b>37</b>
<b>Figure 16</b>	Densités des espèces (pieds/100m <sup>2</sup> ) en fonction des stations	<b>40</b>
<b>Figure 17</b>	Recouvrements des espèces (%) en fonction des stations	<b>41</b>
<b>Figure 18</b>	Recouvrement (ha) de l'ensemble des stations en fonction des saisons.	<b>42</b>
<b>Figure 19</b>	Densité (pieds/ha) de l'ensemble des stations en fonction des saisons.	<b>43</b>
<b>Figure 20</b>	Représentation sur le plan factoriel 1-2 des relevés floristiques des densités.	<b>43</b>
<b>Figure 21</b>	Représentation sur le plan factoriel 1-2 des relevés floristiques de recouvrement	<b>44</b>
<b>Figure 22</b>	Représentation superposée des espèces et des classes de stations sur le plan factoriel 1-2 des relevés des densités et recouvrements.	<b>46</b>
<b>Figure 23</b>	Dendrogramme des groupes des espèces.	<b>47</b>
<b>Figure 24</b>	Indice de Shanon-Wievert et équitabilité des stations étudiées.	<b>53</b>
<b>Figure 25</b>	Recouvrements et fréquences du lac Merdjaja	<b>48</b>

<b>Figure 26</b>	Recouvrements et fréquences du lac Témacine	<b>49</b>
<b>Figure 27</b>	Recouvrements et fréquences du lac Mégarine.	<b>49</b>
<b>Figure 28</b>	Recouvrements et fréquences du chott Sidi Slimane.	<b>50</b>
<b>Figure 29</b>	Recouvrements et fréquences du lac Ayata.	<b>50</b>
<b>Figure 30</b>	Recouvrements et fréquences du chott Ain El Beida	<b>51</b>
<b>Figure 31</b>	Recouvrements et fréquences du chott Oum El-Ranneb.	<b>51</b>
<b>Figure 32</b>	Recouvrements et fréquences du lac Hassi Ben Abdallah.	<b>52</b>
<b>Figure 33</b>	Granulométrie des sols des stations étudiées (L+A : limon + argile, SF : sable fin, SM : sable moyen, SG : sable grossier)	<b>56</b>
<b>Figure 34</b>	Salinité moyenne des sols des zones humides étudiées	<b>57</b>
<b>Figure 35</b>	Variations saisonnières de la salinité des sols des zones humides étudiées.	<b>58</b>
<b>Figure 36</b>	Cartes de variations de la salinité des sols le long des transects échantillonnés.	<b>60</b>
<b>Figure 37</b>	Variations de la salinité des sols le long des transects échantillonnés	<b>63</b>
<b>Figure 38</b>	Humidité moyenne des sols des zones humides étudiées.	<b>64</b>
<b>Figure 39</b>	Variations saisonnières de l'humidité du sol des zones humides étudiées.	<b>65</b>
<b>Figure 40</b>	Cartes de variations de l'humidité des sols le long des transects échantillonnés.	<b>66</b>
<b>Figure 41</b>	Variations de l'humidité des sols le long des transects échantillonnés.	<b>68</b>
<b>Figure 42</b>	pH moyen des sols des zones humides étudiées.	<b>69</b>
<b>Figure 43</b>	Variations saisonnières du pH des sols des zones humides étudiées.	<b>70</b>
<b>Figure 44</b>	Variations du pH des sols le long des transects échantillonnés.	<b>71</b>
<b>Figure 45</b>	Teneurs moyennes de la solution en sels solubles des sols des zones humides étudiées.	<b>72</b>
<b>Figure 46</b>	Variations saisonnières des teneurs en sels solubles des sols des zones humides étudiées.	<b>73</b>
<b>Figure 47</b>	Variations des teneurs en sels solubles des sols le long des transects échantillonnés.	<b>76</b>
<b>Figure 48</b>	Teneurs moyennes en gypse des sols des zones humides étudiées.	<b>78</b>
<b>Figure 49</b>	Variations saisonnières des teneurs en gypse des sols des zones humides étudiées.	<b>79</b>

<b>Figure 50</b>	Cartes de variations des teneurs en gypse des sols le long des transects échantillonnés.	<b>80</b>
<b>Figure 51</b>	Variations des teneurs en gypse des sols le long des transects échantillonnés	<b>81</b>
<b>Figure 52</b>	Teneurs moyennes en calcaire des sols des zones humides étudiées.	<b>82</b>
<b>Figure 53</b>	Variations saisonnières des teneurs en calcaire des sols des zones humides étudiées.	<b>83</b>
<b>Figure 54</b>	Variations des teneurs en calcaire des sols le long des transects échantillonnés.	<b>84</b>
<b>Figure 55</b>	Teneurs moyennes en matière organique des sols des zones humides étudiées.	<b>85</b>
<b>Figure 56</b>	Variations saisonnières des teneurs en matière organique des sols des zones humides étudiées.	<b>86</b>
<b>Figure 57</b>	Variations des teneurs en matière organique des sols le long des transects échantillonnés.	<b>87</b>
<b>Figure 58</b>	Représentation sur le plan factoriel de l'ACP (axes 1 et 2) des caractéristiques des sols	<b>91</b>
<b>Figure 59</b>	Rerésentation sur le plan factoriel de l'ACP (axes 1 et 2) des caractéristiques des sols	<b>91</b>
<b>Figure 60</b>	Représentation sur le plan factoriel de l'AFC des groupes de zones humides suivant les caractéristiques de leurs sols.	<b>92</b>
<b>Figure 61</b>	Salinités des eaux des zones humides étudiées.	<b>96</b>
<b>Figure 62</b>	Variations saisonnières de la salinité des eaux des zones humides étudiées	<b>97</b>
<b>Figure 63</b>	pH moyenne des eaux des zones humides étudiées.	<b>98</b>
<b>Figure 64</b>	Variations saisonnières du pH des eaux des zones humides étudiées.	<b>99</b>
<b>Figure 65</b>	Présentation des teneurs en sels solubles des eaux dans le Diagramme de Piper (1944).	<b>100</b>
<b>Figure 66</b>	Présentation des teneurs en sels solubles des eaux dans le Diagramme de Piper (1944) à travers les saisons.	<b>101</b>
<b>Figure 67</b>	Présentation des eaux sur le Diagramme de Richards (1954).	<b>103</b>
<b>Figure 68</b>	Variations saisonnières des teneurs des eaux en oxygène dissous.	<b>104</b>
<b>Figure 69</b>	Variations saisonnières de DCO des eaux des zones humides étudiées.	<b>106</b>



<b>Figure 70</b>	Variations saisonnières de DBO <sub>5</sub> des eaux des zones humides étudiées.	<b>107</b>
<b>Figure 71</b>	Variations saisonnières de teneur en matière organique des eaux des zones humides étudiées.	<b>109</b>
<b>Figure 72</b>	Représentation sur le plan factoriel de l'ACP des caractéristiques des eaux des zones humides étudiées.	<b>110</b>
<b>Figure 73</b>	Représentation sur le plan factoriel de l'AFC des groupes des zones humides suivant la qualité de leurs eaux.	<b>111</b>
<b>Figure 74</b>	Représentation sur le plan factoriel de l'ACP (axes 1 et 2) des caractéristiques des eaux et des sols.	<b>116</b>
<b>Figure 75</b>	Représentation sur le plan factoriel de l'ACP (axes 2 et 3) des caractéristiques des eaux et des sols.	<b>117</b>
<b>Figure 76</b>	Groupes des espèces suivant leur positionnement par rapport au plan d'eau.	<b>123</b>
<b>Figure 77</b>	Groupes des espèces suivant leur indication de la salinité du sol.	<b>131</b>
<b>Figure 78</b>	Groupes des espèces suivant leur indication de l'humidité du sol.	<b>138</b>
<b>Figure 79</b>	Présentation sur le plan de l'ACC de densités des espèces et des facteurs environnementaux (sol et eau).	<b>144</b>
<b>Figure 80</b>	Présentation sur le plan de l'ACC du recouvrements des espèces et des facteurs environnementaux (sol et eau).	<b>149</b>

## Liste des photos

<b>N°</b>	<b>TITRE</b>	<b>Page</b>
<b>Photo 01</b>	Chott de Ain El Beida (Ouargla).	<b>20</b>
<b>Photo 02</b>	Chott Oum El-Ranneb (Ouargla).	<b>20</b>
<b>Photo 03</b>	Lac Hassi Ben Abdallah (Ouargla).	<b>21</b>
<b>Photo 04</b>	Lac Témacine (Oued Righ).	<b>21</b>
<b>Photo 05</b>	Lac Merdjaja (Oued Righ).	<b>21</b>
<b>Photo 06</b>	Lac Mégarine (Oued Righ).	<b>21</b>
<b>Photo 07</b>	ChottSidiSlimen (Oued Righ).	<b>21</b>
<b>Photo 08</b>	Ayata (Oued Righ).	<b>21</b>
<b>Photo 09</b>	Diversement des eaux polluées dans le chott de Ain El Beida à gauche et chott Oum El-Ranneb à droite	<b>106</b>
<b>Photo 10</b>	Pollution des eaux du lac Ayata par les matières organiques.	<b>108</b>

## Liste des tableaux

N°	TITRE	Page
<b>Tableau 01</b>	Planning des relevés.	<b>27</b>
<b>Tableau 02</b>	Liste systématique et types biologiques des espèces végétales inventoriées.	<b>37</b>
<b>Tableau 03</b>	Espèces inventoriées suivant les stations étudiées.	<b>39</b>
<b>Tableau 04</b>	Taux de recouvrement et densités des plantes des zones humides étudiées.	<b>40</b>
<b>Tableau 05</b>	Matrice des corrélations des caractéristiques des sols.	<b>90</b>
<b>Tableau 06</b>	Matrice des corrélations des caractéristiques des sols et des eaux.	<b>115</b>
<b>Tableau 07</b>	Classes des descripteurs	<b>118</b>
<b>Tableau 08</b>	Fréquences relatives des espèces selon les classes de localisation par rapport au plan d'eau.	<b>120</b>
<b>Tableau 09</b>	Amplitude d'habitat (AH) et le barycentre (G) des espèces pour le facteur distance par rapport au plan d'eau.	<b>121</b>
<b>Tableau 10</b>	Informations mutuelles des espèces.	<b>124</b>
<b>Tableau 11</b>	Groupes écologiques des espèces suivant leurs profils corrigés (pour le facteur distance par rapport au plan d'eau)	<b>125</b>
<b>Tableau 12</b>	Fréquences relatives des espèces selon les classes de salinité.	<b>128</b>
<b>Tableau 13</b>	Profils écologiques et barycentres des espèces suivant la salinité du sol	<b>129</b>
<b>Tableau 14</b>	Informations mutuelles des espèces.	<b>132</b>
<b>Tableau 15</b>	Groupes écologiques des espèces pour le facteur salinité.	<b>133</b>
<b>Tableau 16</b>	Fréquences relatives des espèces selon les classes de salinité.	<b>135</b>
<b>Tableau 17</b>	Profils écologiques et barycentres des espèces suivant l'humidité du sol.	<b>136</b>
<b>Tableau 18</b>	Informations mutuelles des espèces.	<b>139</b>
<b>Tableau 19</b>	Groupes écologiques des espèces suivant leurs profils corrigés (pour le facteur humidité du sol)	<b>140</b>
<b>Tableau 20</b>	Matrice des corrélations entre la densité des espèces et les facteurs de l'environnement (sol et eau).	<b>145</b>
<b>Tableau 21</b>	Matrice de corrélation entre le recouvrement des espèces et facteurs de l'environnement (sol et eau).	<b>150</b>

## *Sommaire*

	<i>Pages</i>
<b>Résumé</b>	
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre I Présentation du milieu d'étude</b>	
I-1-Géomorphologie .....	3
I-2-Géologie.....	4
I-3-Hydrogéologie.....	4
I-4-Caractéristiques climatiques.....	4
I-4-1- Précipitations .....	5
I-4-2- Températures.....	6
I-4-3- Vents.....	7
I-4-4- Evaporation .....	7
I-4-5- Humidité de l'air.....	8
I-4-6- Insolation .....	9
I-4-7- Classification bioclimatique.....	9
I-5- Les zones humides sahariennes .....	13
I-5-1- Les Chotts et Sebkhass.....	13
I-5-2- Les lacs salés.....	13
I-5-3- Les caractéristiques écologiques des zones humides.....	14
I-5-4- La dégradation des lacs salés.....	15
I-6- Présentation des zones humides (stations) étudiées.....	17
I-6-1- Zone humide de Ouargla.....	18
I-6-2- Zones humides de l'Oued Righ.....	19
<b>Chapitre II Méthodologie du travail</b>	
II-1- Principe adopté.....	22
II-1-1- Choix de l'emplacement des relevés de prélèvements.....	22
II-2- Relevés floristiques.....	28
II-3- Etude des caractéristiques édaphiques .....	31
II-4- Etude des eaux.....	33
<b>Chapitre III Résultats et discussion</b>	
III-1- Etude floristique .....	36
III-1-1- Étude quantitative .....	38

III-1-2- Les densités et les taux de recouvrement.....	40
III-1-3- Distribution spatiale.....	43
III-1-4- Association entre espèces (Indice de Jaccard).....	46
III-1-5- Indice de Shannon-Wieverr (1949) « H' » et équitabilité de Pielou « E »	47
III-1-6- Abondance dominance des espèces.....	48
Discussion générale.....	53
III-2- Etude édaphique (sol).....	55
III-2-1- Granulométrie .....	55
III-2-2- La salinité du sol .....	56
III-2-3- L'humidité du sol.....	64
III-2-4- Le pH.....	69
III-2-5- Les sels solubles.....	72
III-2-6- Le gypse.....	77
III-2-7- Le calcaire .....	82
III-2-8- La matière organique .....	85
III-2-9- Approche statistique des données chimiques des solutions de sols.....	88
Discussion générale.....	93
III-3- Résultats des analyses des eaux .....	96
III-3-1- Résultats d'analyses physico-chimiques.....	96
La conductivité électrique.....	96
Le pH.....	97
Les sels solubles.....	99
III-3-2- Aptitudes des eaux à l'irrigation .....	102
III-3-3- Les indicateurs de la pollution.....	103
L'oxygène dissous.....	103
La demande chimique en oxygène (DCO).....	105
La demande biochimique en oxygène DBO5.....	107
La matière organique (MO).....	108
III-3-4- Approche statistique .....	109
Discussion générale .....	112
III-4- Etude phytoécologique des zones humides.....	113
III-4-1- Relations sol-eau.....	113
III-4-2- Etude phytoécologique.....	118

III-4-3- Relations sol-eau-végétation.....	142
<b>Conclusion</b> .....	151
<b>Références bibliographiques</b> .....	155
<b>Annexes</b>	

---

# *Introduction*

---

## **Introduction**

Les milieux humides sont extrêmement divers mais la convention de RAMSAR relative aux zones humides définit celles-ci comme des étendues de marais, de fagnes, de tourbières, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée.

Aujourd'hui, nous savons que les zones humides jouent un rôle important dans les processus vitaux, entretenant des cycles hydrologiques et accueillant une flore importante, des poissons et des oiseaux migrateurs. L'Algérie est riche en zones humides, et ces milieux sont des écosystèmes complexes et très productifs, faisant partie des ressources précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle.

Le recensement préliminaire effectué au milieu des années 1990 a dénombré 254 zones humides naturelles. Parmi elles, soixante peuvent être classées sur la liste RAMSAR des zones humides, d'importance internationale. Aujourd'hui, avec les nouvelles connaissances, le nombre de zones humides dépasse le millier si l'on inclut les oueds, grottes, oasis, daya, et zones côtières, non comprises dans le premier inventaire.

La direction générale des forêts a classé 26 sites sur la liste de RAMSAR des zones humides, d'importance internationale. Deux en 1982, une en 1999, dix en 2001 et treize en 2003. En 2004, la direction générale des forêts a classé 42 sites avec une superficie de près de trois millions d'hectares.

En Algérie, en dépit des efforts déployés et des résultats obtenus, l'utilisation rationnelle des zones humides est encore loin d'être atteinte. Il nous faudra, avec l'aide de tous, progresser un peu plus pour que nos lacs, chotts, sebkhas, gueltas et dayas, soient dotés de plans de gestion, à même de garantir leurs utilisations durables et ne soient plus des dépositaires à ciels ouverts et le réceptacle des eaux usées. Malheureusement, de nombreuses menaces pèsent sur les zones humides, où elles sont privées de leurs eaux par des pompages excessifs ou par la construction de barrages. Elles sont même complètement drainées au profit de l'agriculture.

Malgré les conditions climatiques rudes, le Sahara septentrional algérien renferme plusieurs zones humides. Ce sont des systèmes hydrologiques positifs à la fois dans l'espace et dans le temps, comparativement à leurs environnements plus secs (Heker et Vives, 1995). Ils sont caractérisés par des eaux et des sols salés impropres à la croissance de la plus part des plantes et seules persistent les espèces susceptibles de supporter la salure (Ozenda, 1982). La végétation des terrains salins et gypso-salins du Sahara septentrional est relativement variée et



plus riche du point de vue floristique (Quézel, 1955). Parmi lesquelles on cite les associations d'hyper-halophiles de *Halocnemum strobilaceum* qui localise les sebkhas asséchées en été ; l'association halo-gypsophiles de *Zygophyllum album* et *Traganum nudatum* ; l'association de *Suaeda vermiculata* et *Salsola foetida* qui est liée aux sables limoneux, fortement chargés en gypse.

Cependant, de nombreuses de ces zones sont dégradées, voire menacées de disparition suite aux actions anthropiques (rejets des eaux usées et de drainage : cas du chott Aïn El Beida, Oum El-Ranneb et lac Ayata), sans négliger les effets de la sécheresse très fréquente en régions désertiques. Ces zones revêtent une importance nationale sur le plan de sa richesse en patrimoine floristique et faunistique.

La préservation et le développement de ces zones passent impérativement par la connaissance de toutes ses richesses et ses interactions avec son environnement. Dans ce contexte, plusieurs études ont été menées sur l'effet des conditions environnementales sur la végétation des zones arides, telles que : Djebaili (1970, 1978 et 1984); Le Houerou (1975 et 1993); Abdelkrim (1984); Aidoud (1984); Benhouhou et al (2003); Barrett (2006); Khaznadar et al. (2009); Ferchichi-Ben Jamaa et al. (2010); Chenchouni (2012) et Nedjimi (2012).

Afin de déterminer la diversité floristique et les facteurs environnementaux influençant les mécanismes vitaux des zones humides du Sahara septentrional algérien ; une analyse de l'état actuel de ces communautés végétales s'impose. Pour cela, nous avons choisi huit zones humides bien distinctes entre Ouargla et Oued Righ (chott Aïn El Beida, chott Oum El-Ranneb, lac Hassi Ben Abdallah, chott Sidi Slimane, lac Lala Fatma, Lac Merdjaja, lac El-Bhour (Témacine) et lac Ayata).

Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire d'entreprendre une étude floristique spatiotemporelle de ces différentes zones combinées à des analyses des facteurs de leurs environnements directs (sol et eau).

Les résultats de cette étude permettront d'estimer les potentialités de ces ressources floristiques et leurs adaptations vis-à-vis des différents facteurs de l'environnement pour la préservation des zones humides sahariennes très vulnérables.

---

*Chapitre I*

**Présentation du milieu d'étude**

---

## **Chapitre I : Présentation du milieu d'étude**

Le Sahara est caractérisé par une extrême aridité où les conditions climatiques atteignent leur plus grande âpreté (Toutain, 1979 & Ozenda, 1991). Il s'étend à travers le tiers septentrional du continent Africain de l'atlantique à la mer rouge, sur une surface totale de 8 millions de Km<sup>2</sup> (Le Houerou, 1990). C'est là où les conditions climatiques atteignent leur plus grande sévérité (Seltzer, 1946 & Dubief, 1959). Pratiquement, ces limites se situent en deçà des isohyètes 100 à 150mm (Le Houerou, 1990, Ozenda, 1991).

Le Sahara est subdivisé en : Sahara septentrional, méridional, central et occidental (Dubief, 1952).

Le Sahara Septentrional se présente comme une forme extrême du pays steppique borde l'Afrique méditerranéenne (Ozenda, 1991). Il se présente comme une zone de transition entre les steppes méditerranéennes Nord Africaines et le Sahara Central (Le Houerou, 1990).

### **I-1- Géomorphologie**

Les principaux paysages du Sahara sont :

**Hamada :** Ce sont des vastes plateaux caillouteux à surface presque horizontale où la dalle calcaire affleure partout (Quèzel, 1978).

**Regs :** Ce sont des plaines de graviers et de fragments rocheux. Au Sahara, ils occupent des surfaces démesurées (Monod, 1992).

**Ergs et sols sableux :** Le sable est un élément essentiel du paysage saharien. Cependant, les dunes sont loin de recouvrir la totalité du Sahara, mais se localisent généralement dans de vastes régions ensablées appelées les ergs (Lelubre, 1952).

D'après Gardi (1973), les dunes peuvent avoir des formes différentes en fonction de la direction dominante du vent.

#### **Les dépressions**

**Les sebkhas et les chotts :** Ce sont des dépressions salines formées temporairement inondées, elles sont alimentées par des apports superficiels de ruissellement, mais aussi par les nappes artésiennes qui remontent en surface, bordées d'auréoles de végétation, liées aux variations de la texture et de la salinité (Ozenda, 1977).

**Les dayas :** Ce sont des petites dépressions circulaires, résultant de la dissolution locale des dalles calcaires ou siliceuses qui constituent les Hamadas (Ozenda, 1991).

**Les lits d'Oueds :** Le lit d'Oued est l'espace qui peut être occupé par des eaux d'un cours d'eau. Ces matériaux peuvent avoir comme origine soit des roches en place, soit des matériaux transportés par le cours (Derruau, 1967).

### **I-2- Géologie**

La géologie du Sahara est formée selon Gardi (1973), de granites, de gneiss, de schistes cristallins et de quartzites, vestiges d'un massif gigantesque à l'époque. Au début de l'ère primaire l'érosion et la désagrégation arasent ce relief et la mue en une vaste pénéplaine. Par la suite, la mer envahit plusieurs fois le socle cristallin du Sahara puis se retire. Il en résulte la formation de diverses couches sédimentaires marines plus au moins considérables. C'est de cette époque que datent les roches calcaires, les grés et les schistes. Au début du secondaire, le Sahara fut un continent, ce qu'atteste la présence de grés riches en bois silicifiés formés à cette époque. Puis la mer déferle une nouvelle fois, et reste jusqu'à l'Eocène au début du Tertiaire. Ce dernier, se caractérise par l'apparition de roches continentales. L'ère Quaternaire au Sahara se distingue par une succession de périodes sèches et humides.

### **I-3- Hydrogéologie**

Les potentialités du Sahara algérien en terme de ressource en eau, sont évaluées à 5 milliards de m<sup>3</sup> réparties entre le continental intercalaire et le complexe terminal (A.N.R.H, 2000).

- Le continental intercalaire, surtout gréseux, situé à la base. Il constitue la formation la plus étendue ;
- Le complexe terminal, au sommet, est plus hétérogène, il comprend :
  - ✓ La nappe phréatique ;
  - ✓ La nappe du mio-pliocène ;
  - ✓ La nappe du sénono-éocène ;
  - ✓ La nappe du turonien.

### **I-4- Caractéristiques climatiques**

La connaissance des caractéristiques climatiques est fondamentale, pour permettre une meilleure évaluation des besoins en eau des plantes et une détermination des facteurs qui ont un effet néfaste sur leur développement (Le Houerou et Hoste, 1977).

La région de Ouargla et de l'Oued Righ se caractérisent comme l'ensemble du bas Sahara par un climat de type désertique, dont les amplitudes thermiques entre les minima et

maxima sont importantes et par une pluviométrie très faible. Il est à souligner que ce type de climat se distingue par une forte insolation et une luminosité, dont la moyenne annuelle peut atteindre les 3000 heures (Khadraoui, 2005).

La présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique de données de l'Office National de Météorologie (O.N.M, 2012) de Ouargla et de la station de Touggourt (de 1978 à 2011 pour Ouargla et de 1975 à 2011 pour Oued Righ).

#### **I-4-1- Précipitations**

Selon Dubief (1953), les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares. Elles sont liées aux perturbations soudano-sahariennes ou sahariennes.

Cette insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse (Ozenda, 1991).

Le régime de pluie du Sahara Septentrional se caractérise par des pluies apparaissant pendant la saison froide de septembre à mars. Cette périodicité joue un rôle capital dans l'individualisation de la végétation (Quézel et Santa, 1962).

Dans la région de Ouargla et de l'Oued Righ, les précipitations sont rares et irrégulières. La moyenne annuelle est de 52,56 mm pour Ouargla et 44,99 mm dans la région de l'Oued Righ (figure 01). Les pluies se produisent essentiellement au printemps et en automne par un maximum au janvier pour les deux régions.

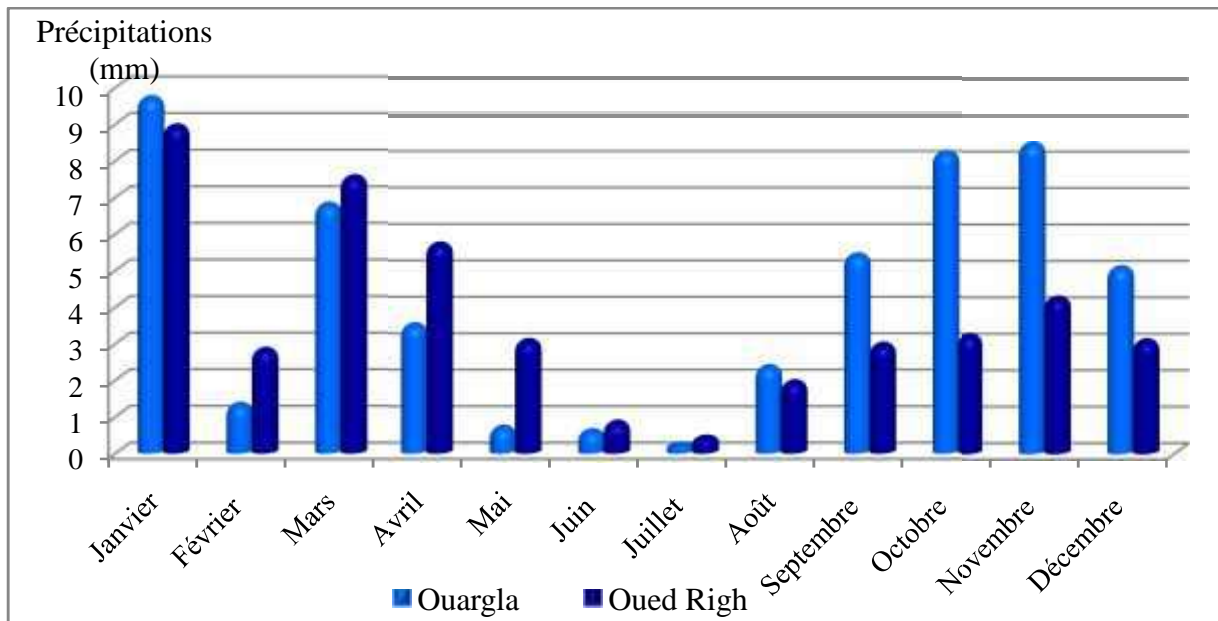


Figure 01: Moyennes mensuelles des précipitations (O.N.M, 2012).

#### I-4-2- Températures

Le Sahara présente une température maximale de de l'ordre de 40°C pendant la période critique (juillet et août), parfois peut aller au-delà de 50°C par contre en hiver on peut observer -10°C (Toutain, 1979).

La température moyenne annuelle est de 23,14 °C et 22,06 °C respectivement dans la région de Ouargla et de l'Oued Righ avec un maximum en juillet (35,57 °C pour Ouargla et 34,26 °C à l'Oued Righ), et un minimum en janvier avec 11,62 °C pour Ouargla et 10,96 °C pour la région de l'Oued Righ (figure 02).

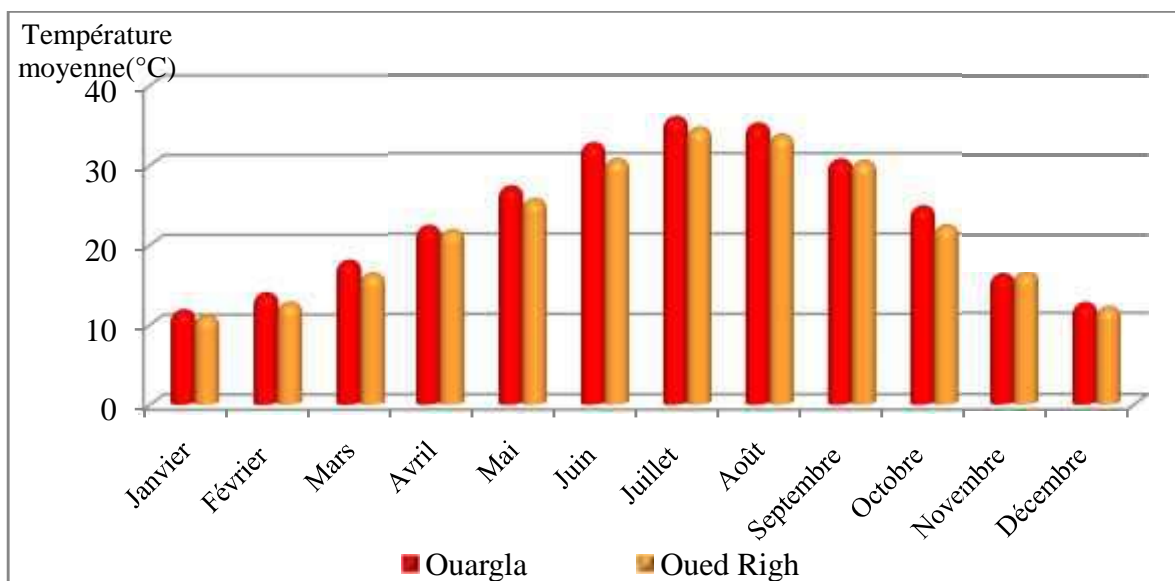


Figure 02: Moyennes mensuelles des températures moyennes (O.N.M, 2012).

### I-4-3- Vents

La fréquence et l'intensité des vents sont également un des caractéristiques majeures du climat Saharien. Il joue un rôle considérable, en provoquant une déflation et une corrosion sur les reliefs, ainsi que sur les plantes surtout sur les parties aériennes, il s'agit en accentuant l'évaporation (Ozenda, 1983).

Dans les régions d'étude, les vents soufflent pendant toute l'année avec une vitesse variable allant de 2,81 m/s en décembre à 4,76 m/s au mois de mai dans la région de Ouargla et de 2,08 m/s au janvier à 3,87 m/s en avril dans la région de l'Oued Righ pour la période (1978-2011 pour Ouargla et 1975-2011 pour Oued Righ) (figure 03).

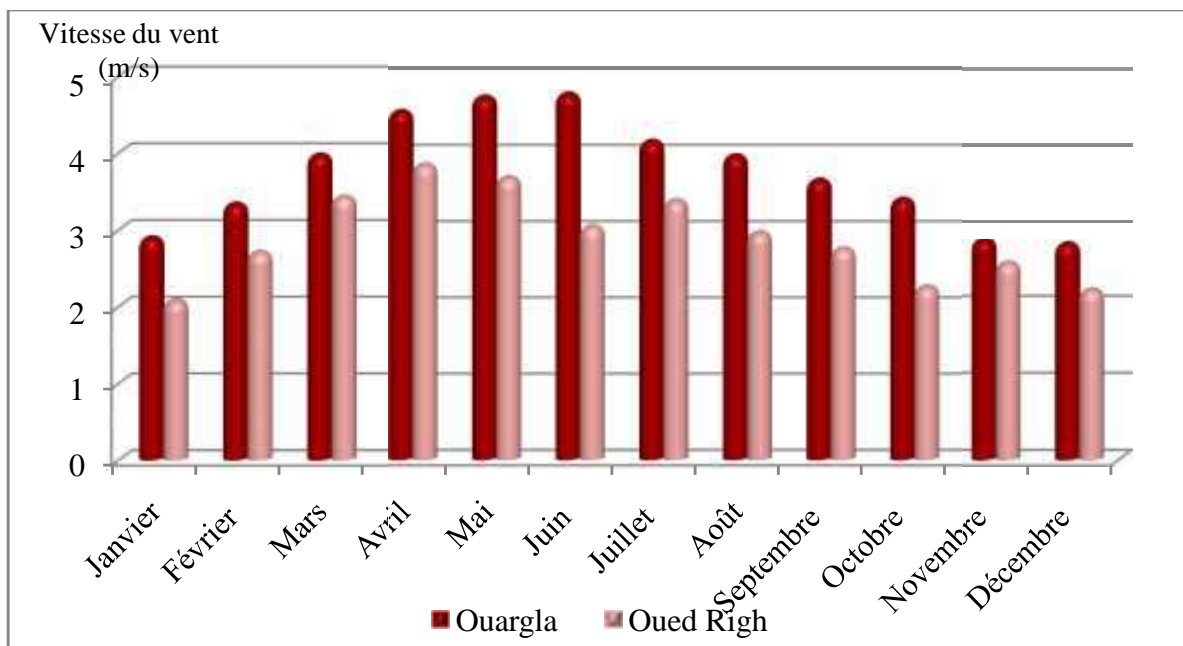


Figure 03: Moyennes mensuelles des vitesses des vents (O.N.M, 2012).

### I-4-4- Evaporations

Dans les milieux arides, l'évaporation est toujours plus importante sur une surface nue que sous couvert végétal surtout en été. Cela s'explique par les fortes températures et le fort pouvoir évaporant de l'air et des vents desséchants.

Dans la région de Ouargla, l'évaporation est d'une moyenne de l'ordre de 2764 mm/an avec un minimum de 83,61 mm en décembre et un maximum de 395,88 mm en juillet (figure 04).

Dans la région de l'Oued Righ, l'évaporation est d'une moyenne de l'ordre de 2593,21 mm/an avec un minimum de 97,46 mm au décembre et un maximum de 395,85 au juillet (figure 04).

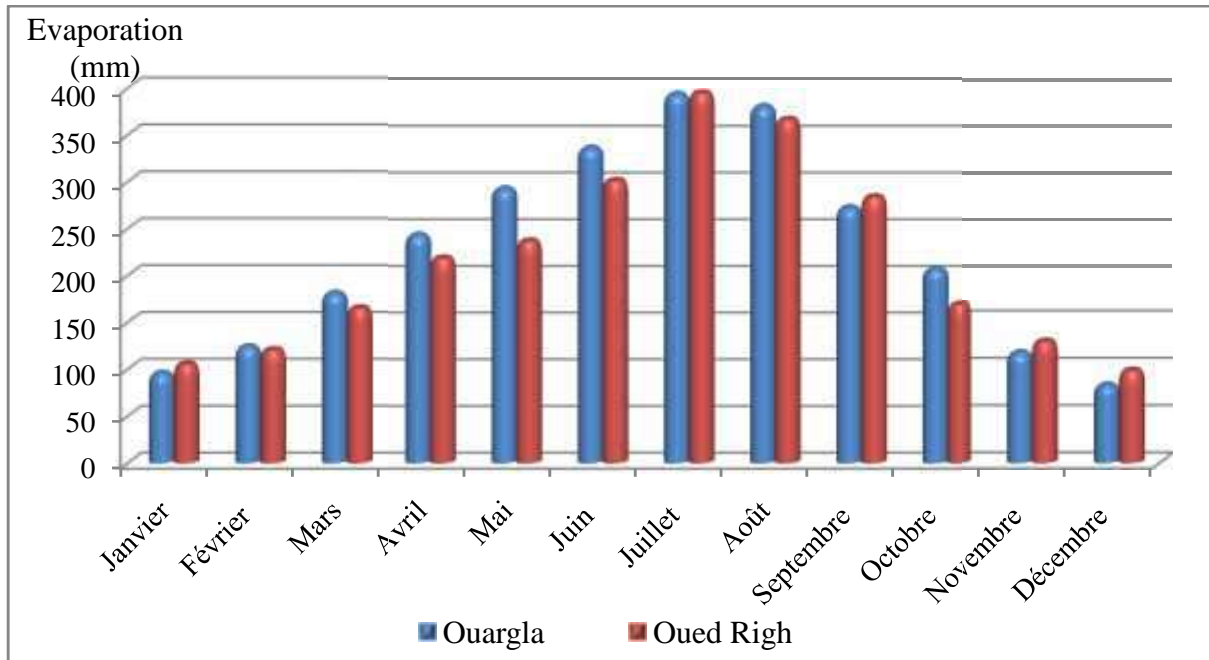


Figure 04: Moyennes mensuelles de l'évaporation (O.N.M, 2012).

#### I-4-5- Humidité de l'air

L'humidité relative de l'air est faible, elle varie sensiblement en fonction des saisons. En effet pendant l'été, elle chute jusqu'à 25,3 % et 32,19 % au mois de juillet successivement dans la région de Ouargla et de l'Oued Righ (figure 04). Sous l'action de l'évaporation, elle s'élève en hiver et atteint 62,24 % au mois de décembre (à Ouargla) et 63,83 % au mois de janvier (à l'Oued Righ).

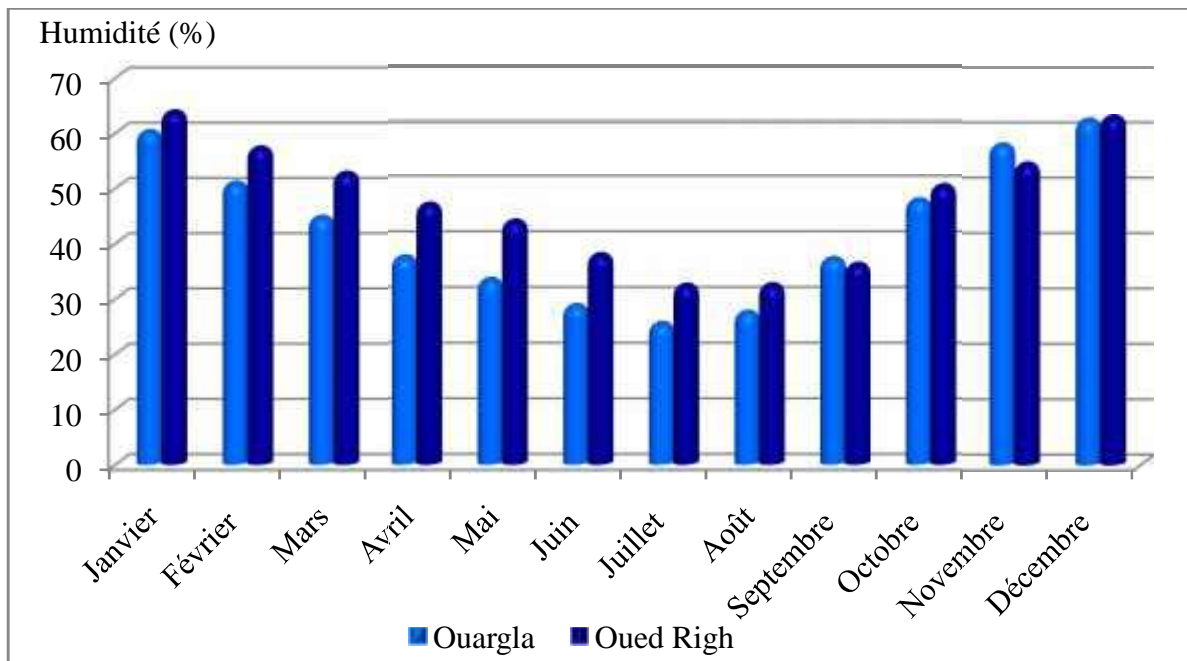


Figure 05: Moyennes mensuelles de l'humidité de l'air (O.N.M, 2012).



#### I-4-6- Insolation

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara (de 9 à 10 heures par jour) ce désert est avant tout le pays du soleil. Les durées d'insolation varient assez notablement d'une année à l'autre et même suivant les périodes de l'année envisagée (Dubief, 1959).

La durée moyenne de l'insolation (I) est de 3202,68 h/an avec un maximum de 335,6 heures en juillet et un minimum de 229,05 heures en décembre pour la région de Ouargla (figure 06). Concernant la région de l'Oued Righ, La durée moyenne de l'insolation (I) est de 3424,97 h/an avec un maximum de 363,65 heures en juillet et un minimum de 239,39 heures en février (figure 06).

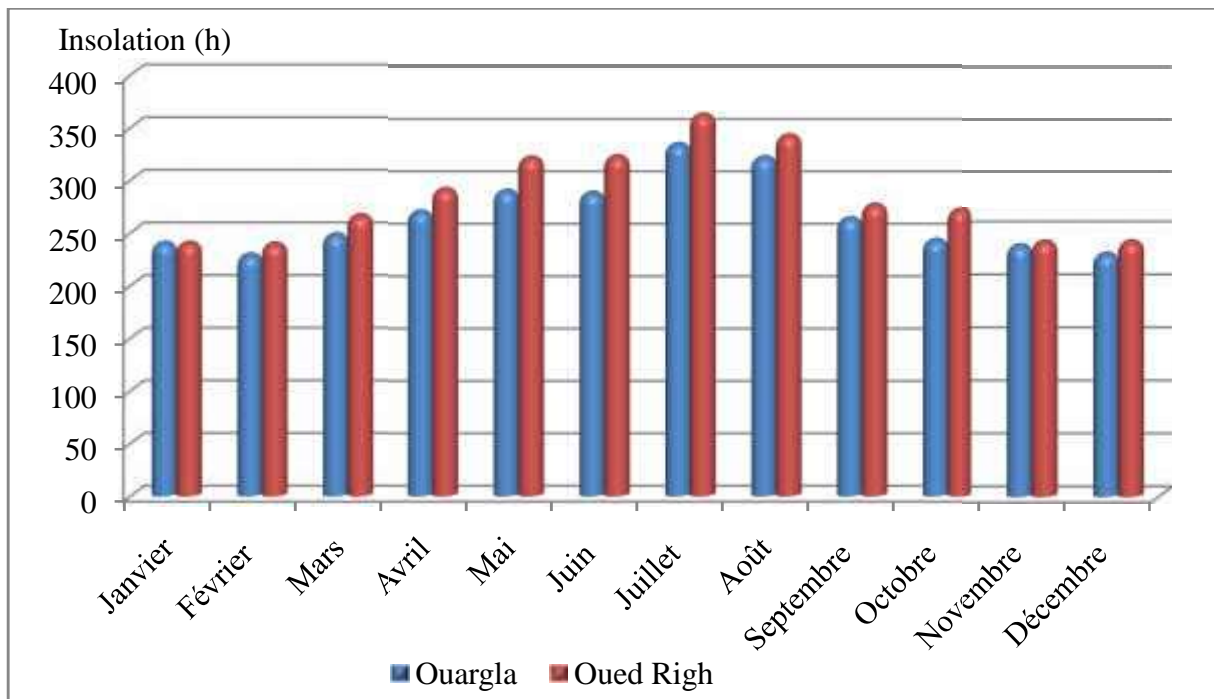


Figure 06: Moyennes mensuelles de l'insolation (O.N.M, 2012).

#### I-4-7- Classification bioclimatique

##### ➤ Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953)

Il consiste à placer en abscisse les mois de l'année, en ordonnée les températures (à gauche) et les précipitations (à droite) avec l'échelle  $1^{\circ}\text{C} = 2\text{mm}$  de précipitations.

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (figure 07) montre que le climat de Ouargla et de l'Oued Righ sont caractérisés par une sécheresse permanente où les précipitations sont toujours inférieures au double des températures.

➤ **Climagramme d'EMBERGER**

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Pour classer le bioclimat de Ouargla et de l'Oued Righ, nous avons utilisé la formule ( $Q_3=3,43 P/M-m$ ) adaptée pour l'Algérie par Stewart (1969) (Le Houerou, 1995) avec :

$Q_2$  = quotient pluviométrique d'Emberger.

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.

M : moyenne des minima du mois le plus froid en °C.

D'après la figure (08), Ouargla et Oued Righ sont caractérisées par un climat saharien à hiver doux et ces quotients thermiques ( $Q_3$ ) sont respectivement 4,91 et 4,22.

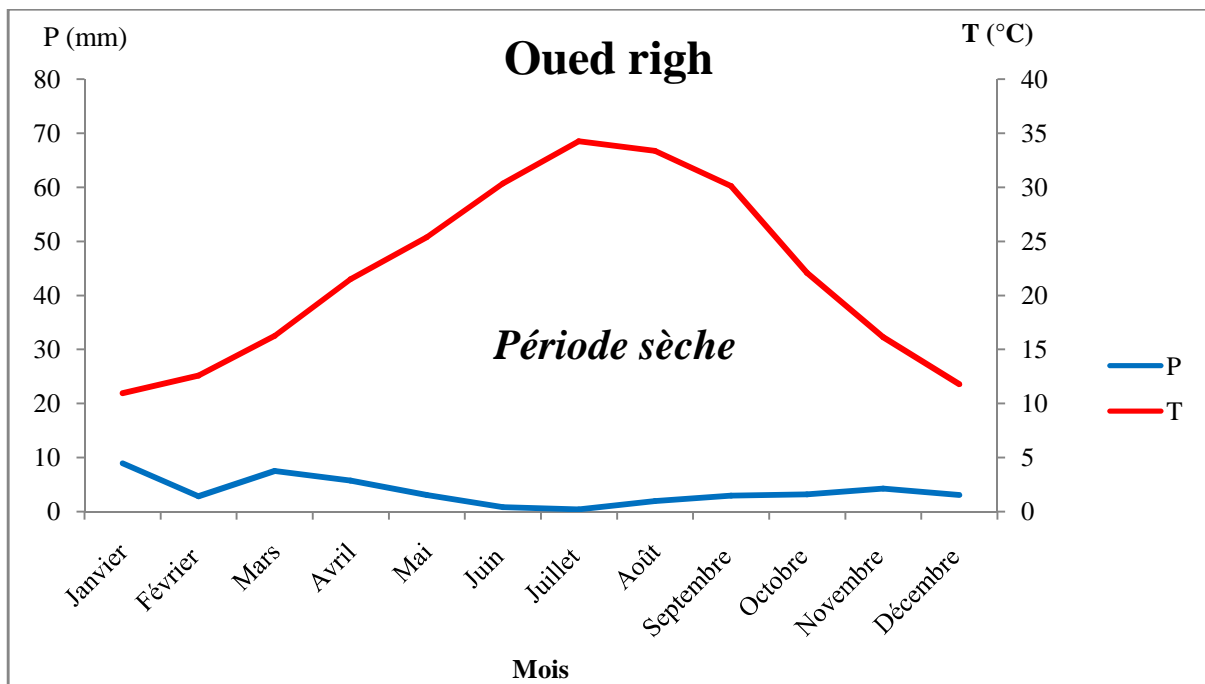
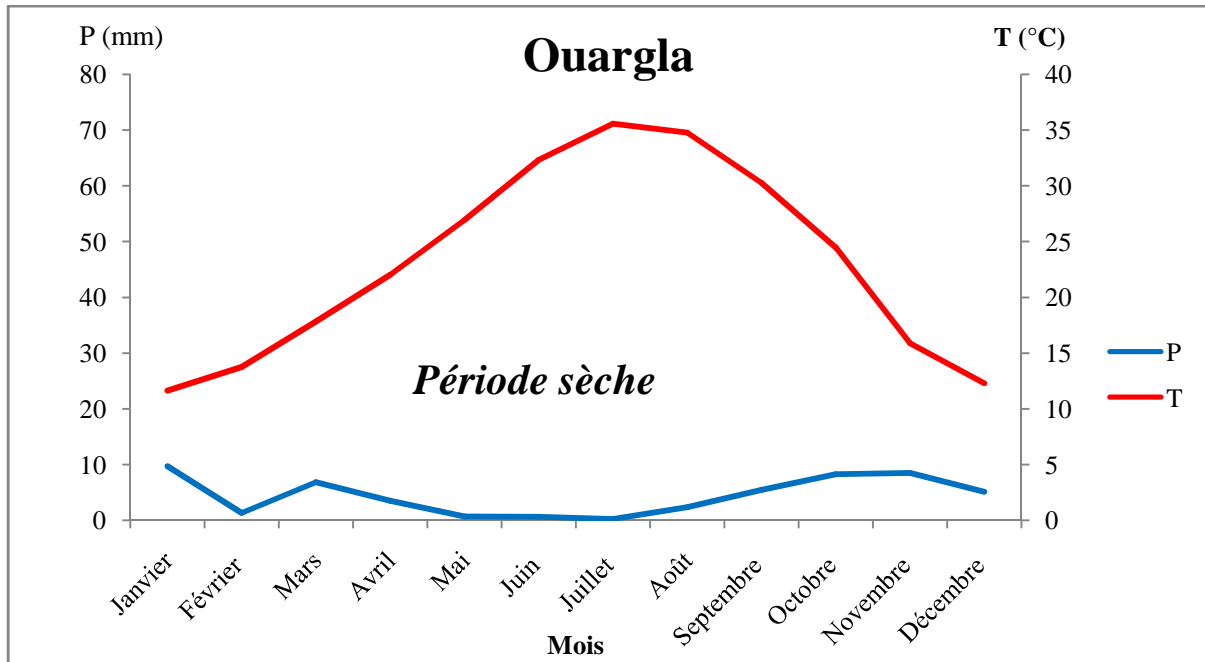


Figure 07: Diagrammes Ombrothermique des régions d'étude (O.N.M, 2012).

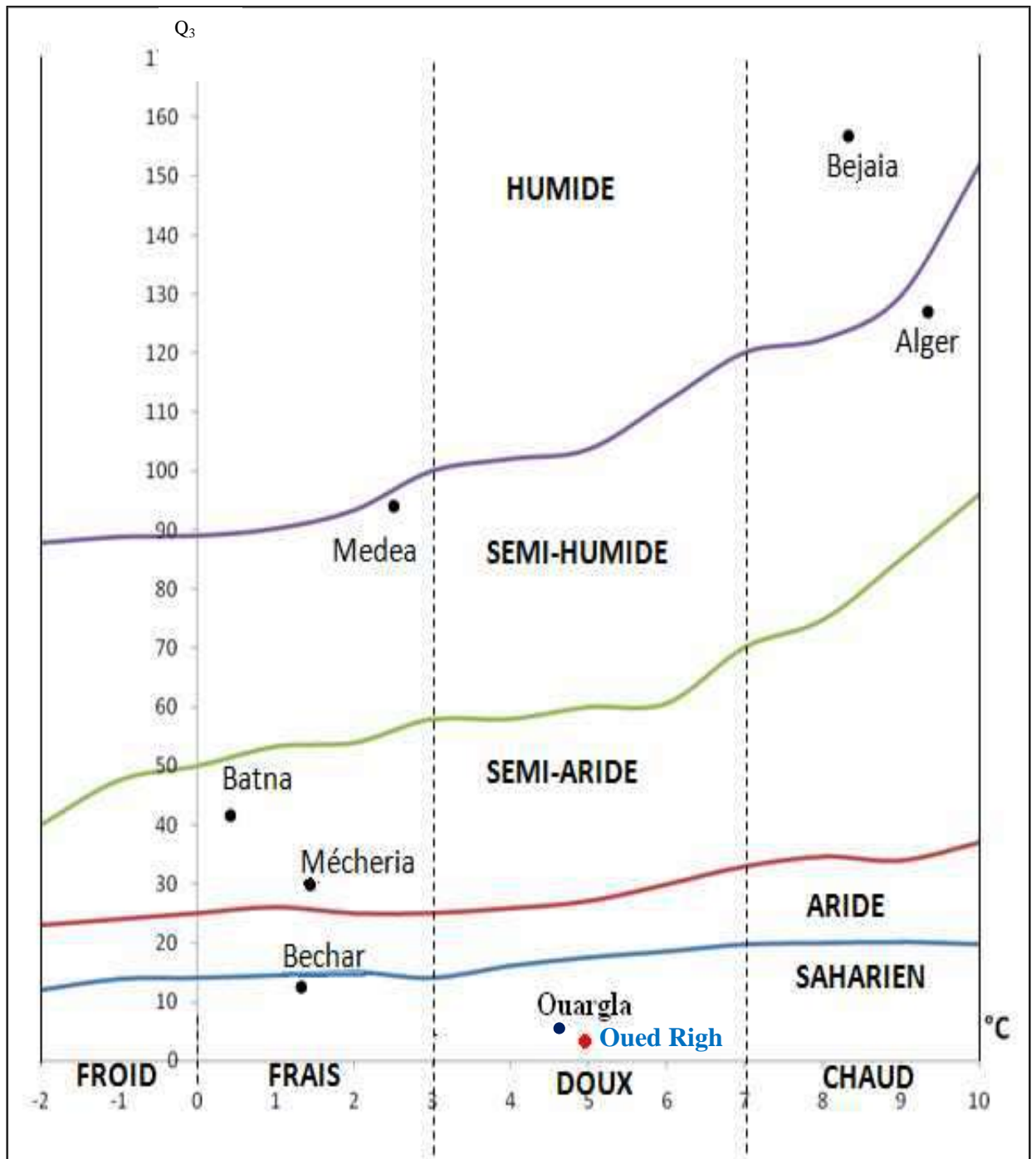


Figure 08: Localisation des régions d'études dans le Climagramme d'Emberger.

### **I-5- Les zones humides sahariennes**

Les milieux humides sont extrêmement divers mais la convention de RAMSAR définit celles-ci comme «des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres» (Matthews, 1993).

De point de vue environnemental, le facteur de détermination des zones humides est l'eau. En grande partie, l'hydrologie détermine la chimie du sol, la topographie, et la végétation. Toutes les zones humides ont des entrées d'eau qui dépassent les pertes, au moins de façon saisonnière. Il est difficile de dire exactement combien d'eau par secteur doit avoir à un moment donné afin d'être une zone humide (Mitsch et Gosselink, 2000).

Dans le Sahara Algérien, l'eau de surface y est rare et insignifiante, elle est pérenne et se limite seulement dans les zones de sebkhas, chotts, gueltas situées généralement dans les fonds des bassins endoréiques auprès des Oasis (A.N.R.H, 2005).

#### **I-5-1- Les Chotts et Sebkha**

En pays désertique ou subdésertique, les chotts sont des terres salées ou parfois un pâturage qui entoure une dépression fermée à lac éphémère (Sebkha). Les Sebkhas sont des dépressions permanentes ou presque temporairement occupées par un lac, en général salé, et où se déposent des évaporites. Les eaux proviennent du ruissellement, mais aussi des nappes souterraines (Foucault et Raoult, 2003).

Au Bas Sahara, les eaux des nappes phréatiques sont toujours très salées avec plus de 4 à 5g/l de résidu sec et bien souvent trois fois plus. Elles sont inutilisables pour l'irrigation. L'hydromorphie entraînant l'évaporation, la salinité ne fait qu'augmenter et on entre dans un processus de désertification par le sel, dû, non au manque d'eau mais à son excès. L'étape finale du processus est une sebkha dont les sédiments sont complètement stériles, noyés par quelques dizaines de centimètres d'eau en hiver et recouverte en été d'une couche blanche de sels cristallisés. Pendant la saison sèche ces zones sont soumises à l'érosion éolienne qui accentue la topographie en cuvette (Côte, 2002).

#### **I-5-2- Les lacs salés**

C'est uniquement sous climat sec et chaud que se forment les lacs salés. Ils portent des noms divers : mers (morte, caspienne, Aral), Sebkhas, Chotts, Soltpans, Levirs. L'eau amenée par les cours d'eau ou les sources s'évaporent à la surface du lac. Il se fait une auto régulation,

la surface du lac se réduit jusqu'à ce que le rapport évaporation/alimentation soit égal à 1 (Badoux, 1989).

### **I-5-3- Les caractéristiques écologiques des zones humides**

Si les zones humides sont entourées par la forêt, le désert, la toundra, ou par des superficies agricoles, des zones urbaines, ou par l'océan, elles remplissent souvent les mêmes rôles, ou fonctions, dans le paysage le plus large (Walbridge, 1993).

Toutes les fonctions des zones humides sont liées à la présence, la quantité, la qualité, et au mouvement de l'eau dans ces zones (Carter et *al.*, 1979). Les fonctions des zones humides peuvent être classées en trois catégories principales : hydrologie, bio-géochimie, et habitat (Walbridge, 1993). Les conditions des zones humides, comme eau peu profonde, productivité végétale élevée, et des substrats anaérobies fournissent un environnement approprié pour des processus physiques, biologiques, et chimiques importants. En raison de ces processus, les zones humides jouent un rôle essentiel dans les cycles biogéochimiques (Mitsch et Gosselink, 2000).

#### **a- Fonctions hydrologiques**

Les zones humides contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau en agissant comme un filtre épurateur (Cronk et Fennessy, 2001).

-Filtre physique, car elles favorisent les dépôts de sédiments y compris le piégeage d'éléments toxiques tels que les métaux lourds, la rétention des matières en suspension, etc. ;

-Filtre biologique, car elles sont aussi le siège privilégié de dégradations biochimiques (grâce notamment aux bactéries, de désinfection par destruction des gènes pathogènes grâce aux ultraviolets, d'absorption et de stockage par les végétaux, de substances indésirables ou polluantes tels que les nitrates (dénitrification) et les phosphates à l'origine de l'eutrophisation des milieux aquatiques, de certains pesticides et métaux, etc. Elles ont aussi un rôle déterminant dans la régulation des régimes hydrologiques.

Le comportement des zones humides à l'échelle d'un bassin versant peut être assimilé à celui d'une éponge. Lorsqu'elles ne sont pas saturées en eau, les zones humides retardent globalement le ruissellement des eaux de pluies et le transfert immédiat des eaux superficielles vers les fleuves et les rivières situés en aval. Elles absorbent momentanément l'excès d'eau puis le restituent progressivement lors des périodes de sécheresse (Cronk et Fennessy, 2001). Elles diminuent ainsi, l'intensité des crues et soutiennent les débits des cours d'eau en période d'étiage (basses eaux). Certaines d'entre elles participent à l'alimentation en

eau des nappes phréatiques superficielles (Cronk et Fennessy, 2001).

### **b- Fonctions biologiques**

Les zones humides constituent un réservoir de biodiversité. Ainsi, beaucoup d'espèces végétales remarquables et menacées vivent dans les zones humides et environ 50% des espèces d'oiseaux dépendent de ces zones. Les zones humides assument dans leur globalité les différentes fonctions essentielles à la vie des organismes qui y sont inféodés (Mitsch et Gosselink, 2000).

-Fonction d'alimentation : Découlant de la richesse et de la concentration en éléments nutritifs observées dans ces zones, les marais assurent ainsi une mise à disposition de ressources alimentaires pour de nombreuses espèces animales localement et à distance par exportation de matière organique ;

-Fonction de reproduction: La présence de ressources alimentaires variées et la diversité des habitats constituent des éléments essentiels conditionnant la reproduction des organismes vivants;

-Fonction d'abri, de refuge et de repos: Les zones humides sont identifiées en tant qu'écosystèmes d'importance primordiale qui soutiennent une grande sélection de plantes uniques particulièrement adaptées aux conditions humides. Celles-ci, à leur tour, soutiennent un nombre important de poissons, d'invertébrés, d'amphibiens, de reptiles, de mammifères, et d'oiseaux divers.

### **c- Fonctions climatiques**

Les zones humides participent aussi à la régulation des microclimats. Les précipitations et la température atmosphérique peuvent être influencées localement par les phénomènes d'évaporation intense d'eau au travers des terrains et de la végétation (évapotranspiration) qui caractérisent les zones humides (Mitsch et Gosselink, 2000).

Toutes ces fonctions confèrent aux zones humides une extraordinaire capacité de produire de la matière vivante; elles se caractérisent ainsi par une productivité biologique nettement plus élevée que les autres écosystèmes (Savage, 1995).

### **I-5-4- La dégradation des lacs salés**

Les eaux continentales peuvent subir des pollutions de divers ordres : matières organiques, matières en suspension, eutrophisation ... . Ce mauvais fonctionnement d'un milieu naturel résulte généralement de la conjonction de plusieurs phénomènes les uns naturels, les autres artificiels et introduits par l'activité humaine.

Certains phénomènes naturels sont qualifiés d'abiotiques (ils ne dépendent pas des êtres vivants): température extérieure et éclairage suffisants, eaux stagnantes ou à très faible courant, faible profondeur favorisant le réchauffement et l'éclairage ainsi que la concentration élevée des substances nutritives, faute d'une dilution dans un volume élevé.

Aux phénomènes naturels abiotiques se conjuguent des interventions humaines intempestives et malheureuses d'origine agricole ou industrielle. On peut citer (Vivier, 1989):

- l'épandage abusif des pesticides toxiques pour les zooplanctons, premier prédateur des algues microscopiques ;
- l'épandage abusif d'engrais, capables d'agir aussi bien sur les plantes aquatiques que sur le blé ou la betterave ;
- le rejet dans les cours d'eau de matières organiques (égouts, eaux sales, fumiers, rejets industriels de l'agro-alimentaire -frites, conserveries, féculeries-...)

Les végétaux qui se développent à l'excès peuvent être microscopiques (phytoplanctons) ou macroscopiques, c'est-à-dire visibles à l'œil nu (les plantes vertes aquatiques ou macrophytes) (Vivier, 1989).

Les interventions anthropiques (apports d'engrais minéraux ou organiques dans les étangs de production, versement d'eaux résiduaires dans les lacs et les cours d'eau pesticides et métaux lourds), peuvent selon leur nature et leur importance contribuer à l'amélioration de la productivité de l'écosystème aquatique ou du contraire altérer plus ou moins fortement la qualité des eaux et le fonctionnement du réseau trophique (Neveu, 1997).

Dans le Sahara, les principales menaces qui pèsent sur les zones humides sahariennes sont l'utilisation des zones humides comme lieux de rejets des eaux usées et décharge de matériaux ferreux, débris, gravats et ordures.



### I-6- Présentation des zones humides (stations) étudiées

Les régions de Ouargla et de l'Oued Righ recèlent d'importantes zones humides. Elles sont en nombre de huit (trois à Ouargla et cinq à l'Oued Righ) (figure 09) dont trois sont classées, selon la convention de RAMSAR en 2004, comme des zones humides d'importance internationale. Ce sont les chotts de ; Aïn El Beida, Oum El-Ranneb et Sidi Slimane.

Ces sites présentent une variabilité spatiale, hydrologique, topographique et géologique, certaines parmi ces zones humides subissent une influence plus ou moins importante des eaux usées. C'est ainsi que les sites ont été choisis de manière à assurer une étude végétative exhaustive de différentes zones humides et d'essayer de déterminer l'effet des facteurs de l'environnement sur la flore.

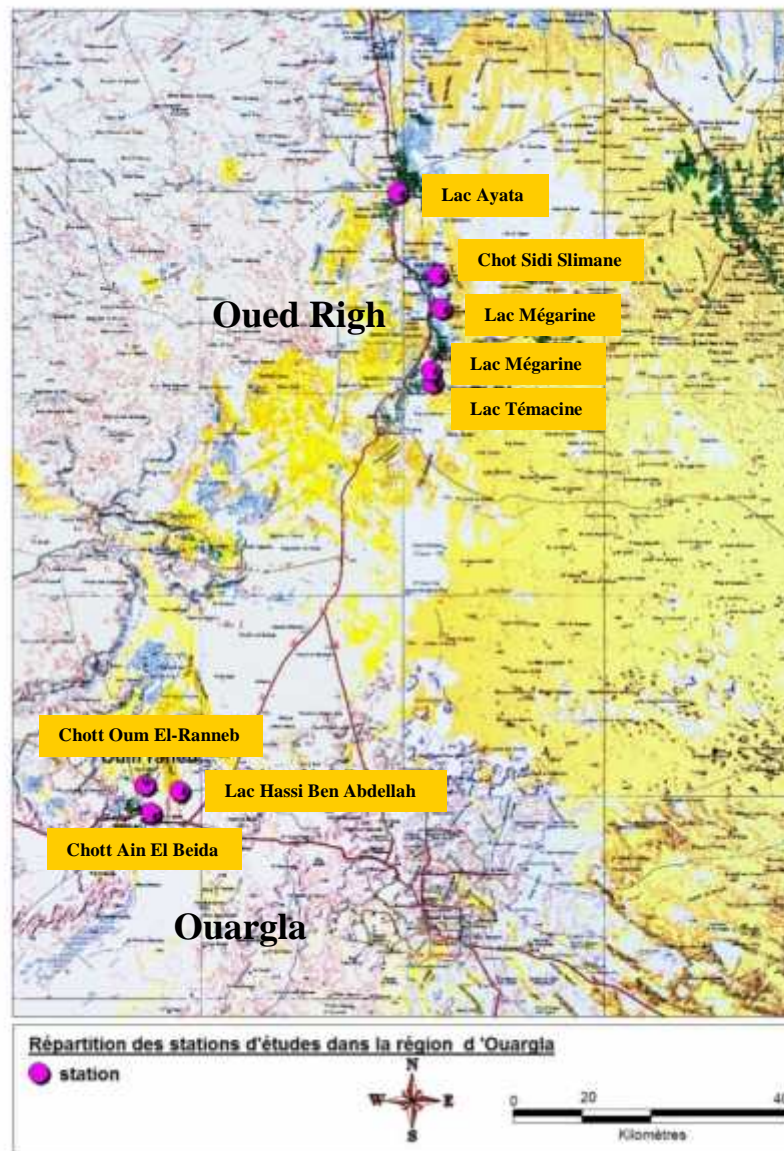


Figure 09: Localisation des zones humides (stations) étudiées.

### **I-6-1- Zones humides de Ouargla**

#### **Chott Aïn El Beida**

Le chott Aïn El Beida se situe à 6 Km à l'Est du Chef-lieu de la Wilaya de Ouargla et à proximité de Chef-lieu de la commune d'Aïn El Beida (longitude 5°22'42'' à 5°21'52'' Est et latitude 31°57'30'' à 31°59'02'' Nord) (photo 01). La route nationale N°49 constitue sa limite inférieure. Le chott est une dépression saline dont la partie inondée est constituée par la sebkha avec une superficie de 6.853 hectares, qui se situent au milieu de la palmeraie et dans la cuvette de Ouargla. Allongé en direction Nord-Ouest, Sud-Est sur une longueur de 5.3 Km, sa largeur varie de 1 à 1.5 Km. Le chott se trouve à une altitude entre 142m et 146m. Il est parcouru par un réseau de drains qui canalisent les eaux excédentaires de la nappe phréatique de la palmeraie de Ouargla ainsi que celles usées de la ville du même nom.

Selon la direction générale des forêts (2004), le site constitue une zone humide bordée de formations végétales halotolérantes, herbacées, forestières et buissonnantes représentées par des formations arborées dégradées et par des buissons épars. Le chott d'Aïn El Beida situé sur la voie de migration des populations d'oiseaux migrateurs des régions Eurasiatique et Africaine, le chott abrite plusieurs espèces d'oiseaux d'eau, tant sédentaires que migratrices, et des espèces de mammifères peu étudiées et par conséquent peu connues.

#### **Chott Oum El-Ranneb**

Sidi Khouiled est la ville la plus proche du site, environ 2Km, traversé par la route reliant la ville à N'Goussa. Le village d'Oum El-Ranneb, distant d'environ 500m est également limitrophe au site. Le chott se situe sur une longitude de 5°22'42'' à 5°21'52'' Est et une latitude de 31°57'30'' à 31°59'2'' Nord. Il est de faible profondeur avec une superficie de 7.155 ha et une altitude de 126m en moyenne (photo 02).

Depuis 23 ans, le chott Oum El-Ranneb est utilisé comme un exutoire pour les eaux de drainage agricole des palmeraies des alentours. En été, ses eaux saumâtres sont exploitées pour leur sel. De nos jours, face à l'exode rurale et à la démographie galopante que connaît la ville de Ouargla, le chott est devenu non seulement un exutoire des eaux de drainage agricole, mais aussi pour les eaux usées provenant de la ville de Ouargla.

#### **Lac Hassi Ben Abdallah**

Le lac Hassi Ben Abdallah est situé au fond d'un creux à l'Ouest de la commune de Hassi Ben Abdallah (32°01'54'' Nord et 5°44'66'' Est), bordé par des dunes de sables au Nord (Erg), par une sebkha au Sud et à l'Est par la route nationale N° 56 (photo 03). Le lac est d'une superficie de 4 ha et une profondeur maximale de 4.7m (Halfaoui, 2009).

## **I-6-2- Zones humides de l'Oued Righ**

### **Lac Témacine**

Ce lac est une dépression remplie d'eaux saumâtres, le niveau de ses eaux varie en fonction des facteurs climatiques. Le site est limité au Nord par des palmeraies, à l'Est par le canal de l'Oued Righ et au Sud et à l'Ouest par l'agglomération de Témacine. Il est alimenté principalement par les eaux de la nappe phréatique et les eaux de drainage. Le lac s'étend sur une superficie de 5 ha avec une latitude de 33°00'54.28'' Nord, une longitude de 6°01'24.23'' Est et une altitude de 77m (photo 04). C'est une très bonne zone touristique.

### **Lac Merdjaja**

Se trouve au Sud-Est de la ville de Touggourt, limité à l'Est par les dunes de sables et au Nord, à l'Ouest et au Sud par les palmeraies. La superficie du lac est d'environ de 3 ha. Le lac se situe sur une longitude de 6°03'56.67'' Est et une latitude de 33°03'11.69'' Nord et une altitude de 65m en moyenne (photo 05). L'eau de ce lac est saumâtre provient des eaux de drainage et de la nappe phréatique, elle est permanente durant toute l'année.

### **Lac Mégarine**

Le lac se trouve au milieu d'une palmeraie, la profondeur est environ de 20m et une superficie de 1,25 ha, les eaux de drainage et de la nappe phréatique constituent la principale source des eaux. Le lac se situe sur une longitude de 6° 5'56.71'' Est et une latitude de 33°12'18.27''Nord et une altitude de 59m en moyenne (photo 06).

### **Chott de Sidi Slimane**

Très beau site de par sa situation géographique, sa proximité immédiate d'une Zaouia, la présence tout autour du plan d'eau d'une palmeraie, la présence d'une très dense roselière et la qualité de ses eaux. C'est un lac saumâtre permanent. L'Eau est permanente durant toute l'année même en été avec une profondeur plus ou moins importante (0,5m).

La zone est située à proximité d'une route, à environ 500m de la commune de Sidi Slimane dont elle dépend (longitude 3°44'44'' E, Latitude 38°17'10''Nord). Le Chott est situé à une altitude de 50m en moyenne avec une superficie de 6.16 ha (photo 07).

### **Lac Ayata**

Le lac Ayata est localisé près de la route nationale N° 3 à environ 6km après Djamaa en direction vers la ville de Touggourt (photo 08). Le site a une superficie d'environ 155ha avec une altitude moyenne de 31m. Il est délimité par les coordonnées géographiques suivantes : Longitude 33°29'17' et 33°29'48''Nord ; Latitude 05°59'10''et 05°59'37''Est. Le

site est situé près de la commune de Sidi Amrane (Daïra de Djamaa) à 150km à l'ouest de la wilaya (département) d'El Oued (Souf) (Chenchouni et Si Bachir, 2010).

Le plan d'eau du lac Ayata (~ 6±0,5 ha de surface) a une profondeur maximale variant de 60 à 90cm; il est alimenté par les excédents hydriques d'irrigation venant d'un canal qui draine les palmeraies de Chemora et Tamerna vers le canal principal de l'Oued Righ. Ce dernier évacue les eaux de la Vallée de l'Oued Righ et les rejette dans Chott Merouane qui communique avec Chott Malghir (Chenchouni et Si Bachir, 2010).



Photo 01: Chott de Aïn El Beida (Ouargla).



Photo 02: Chott Oum El-Ranneb (Ouargla).



Photo 03: Lac Hassi Ben Abdallah (Ouargla).



Photo 04: Lac Témacine (Oued Righ).



Photo 05: Lac Merdjaja (Oued Righ).



Photo 06: Lac Mégarine (Oued Righ)



Photo 07: Chott Sidi Slimane (Oued Righ).



Photo 08: Lac Ayata (Oued Righ).

---

*Chapitre II*  
*Méthodologie du travail*

---

## **Chapitre II- Méthodologie du travail**

### **II-1- Principe adopté**

La présente étude cherche à mettre en relief l'influence des paramètres de l'environnement (sol et eau) sur la végétation des zones humides. Pour atteindre nos objectifs, nous avons adopté la méthodologie suivante:

#### **II-1-1- Choix d'emplacement des relevés de prélèvements**

L'échantillonnage consiste en général à choisir dans un ensemble un nombre limité d'éléments de façon à obtenir des informations objectives et d'une précision mesurable sur l'ensemble (Gounot, 1969). L'étude de la structure spatiale s'appuie sur la technique de l'échantillonnage systématique (Gounot, 1969; Chessel et *al.*, 1975; Frontier, 2008; Pettini, 1992). Il consiste à disposer des échantillons selon un mode répétitif pouvant être représenté par transects (Long, 1974; Daget, 1982; Gounot, 1969).

La prospection des zones humides choisies a facilité le choix de l'emplacement des relevés et de leurs limites. Les critères de ce choix sont : Homogénéité floristique, homogénéité physiologique et homogénéité des conditions écologiques.

-Homogénéité floristique : apparition plus ou moins régulière de combinaisons définies d'espèces, c'est-à-dire répétitivité de la combinaison floristique;

-Homogénéité physiologique : aspect lié à la dominance d'une ou plusieurs espèces;

-Homogénéité des conditions écologiques (notamment les conditions édaphiques): uniformité des conditions apparentes c'est-à-dire homogénéité dans la physiologie et la structure de la végétation ainsi que les conditions édaphiques (Gillet, 2000).

L'échantillonnage est réalisé le long de transects de placettes traversant la communauté des végétaux dans le but d'enregistrer à la fois les variations floristiques et édaphiques (Gul et Weber, 2001; Omer, 2004). Dans chaque station d'étude, nous avons choisi quatre (4) sous stations pour la réalisation des transects des placettes à échantillonner. Les transects sont tracés de façon linéaire traversant ainsi toutes les formations végétales à partir du centre de la zone humide (plan d'eau) vers l'extrémité avec la moindre variation possible de microtopographie (Rogel et *al.*, 2001). Les transects sont d'orientations variables en fonction de la station et de la physiologie des formations végétales présentes (Lenssen et *al.*, 2004 ; Marc et *al.*, 2003). Dans chaque transect, nous avons échantillonné quatre (4) placettes de 25 m<sup>2</sup> séparées de 0.50m entre chaque deux placettes. Ces surfaces à échantillonnées satisfont le principe de l'aire minimale (figures 10,

11, 12 et 13).

La surface du relevé doit être égale à l'aire minimale ou autrement dit une surface suffisamment grande pour contenir la quasi-totalité des espèces présentes sur l'individu d'association (Guinochet, 1973). Gounot (1969) signale que l'aire minimale correspond à l'aire dans laquelle la quasi-totalité des espèces de la communauté végétale est représentée. C'est la plus petite surface sur laquelle ressort la plupart des espèces (Lemee, 1967). Elle varie selon les groupements végétaux (Djebaili, 1984).

Pour la présente étude l'aire minimale est de 100 m<sup>2</sup> du fait d'une part de la forte densité de la végétation, et d'autre part de l'homogénéité des conditions édaphiques régnant dans la totalité des stations étudiées (forte hydro-halomorphie).

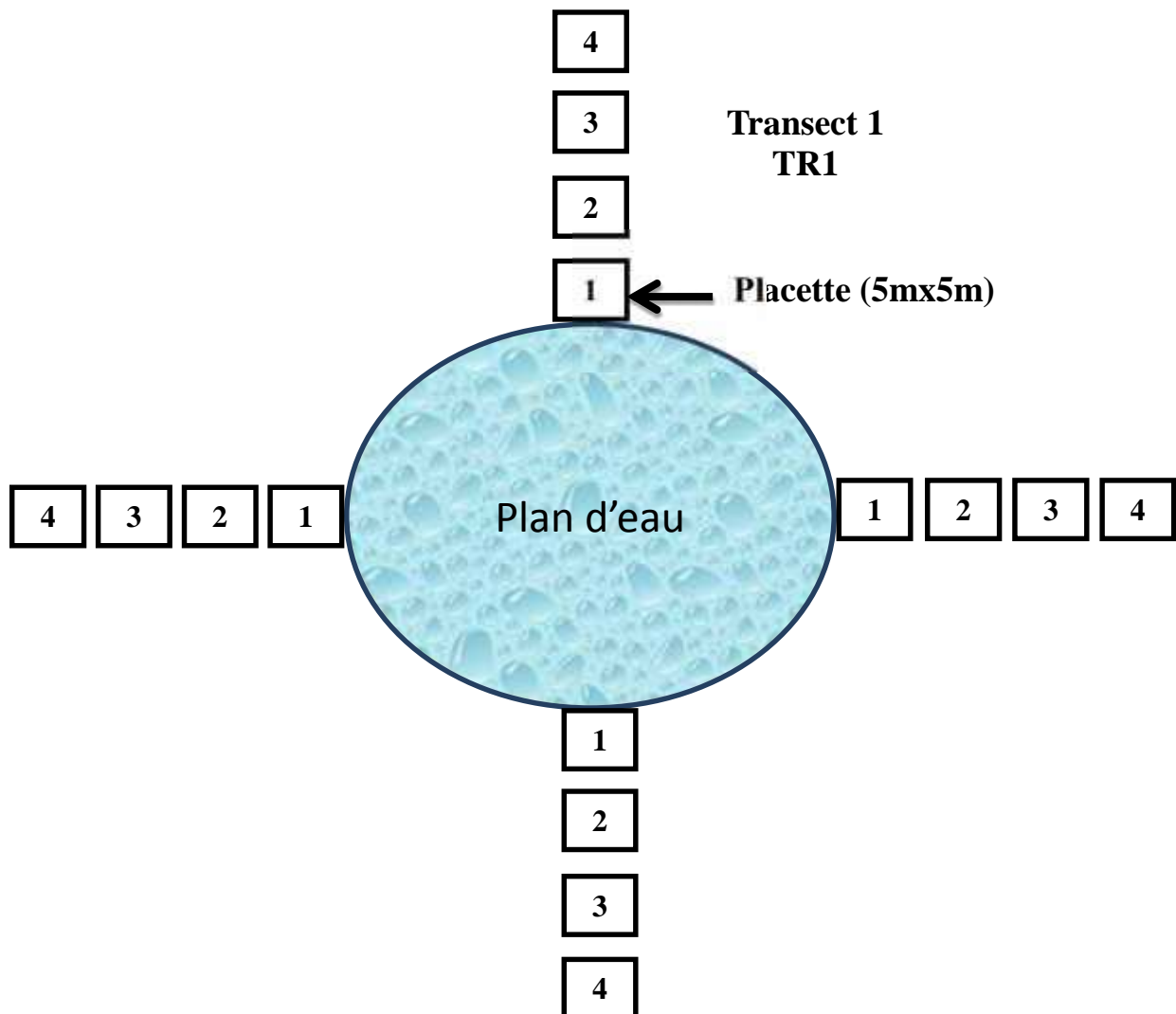


Figure 10: Dispositif de prélèvement des relevés.



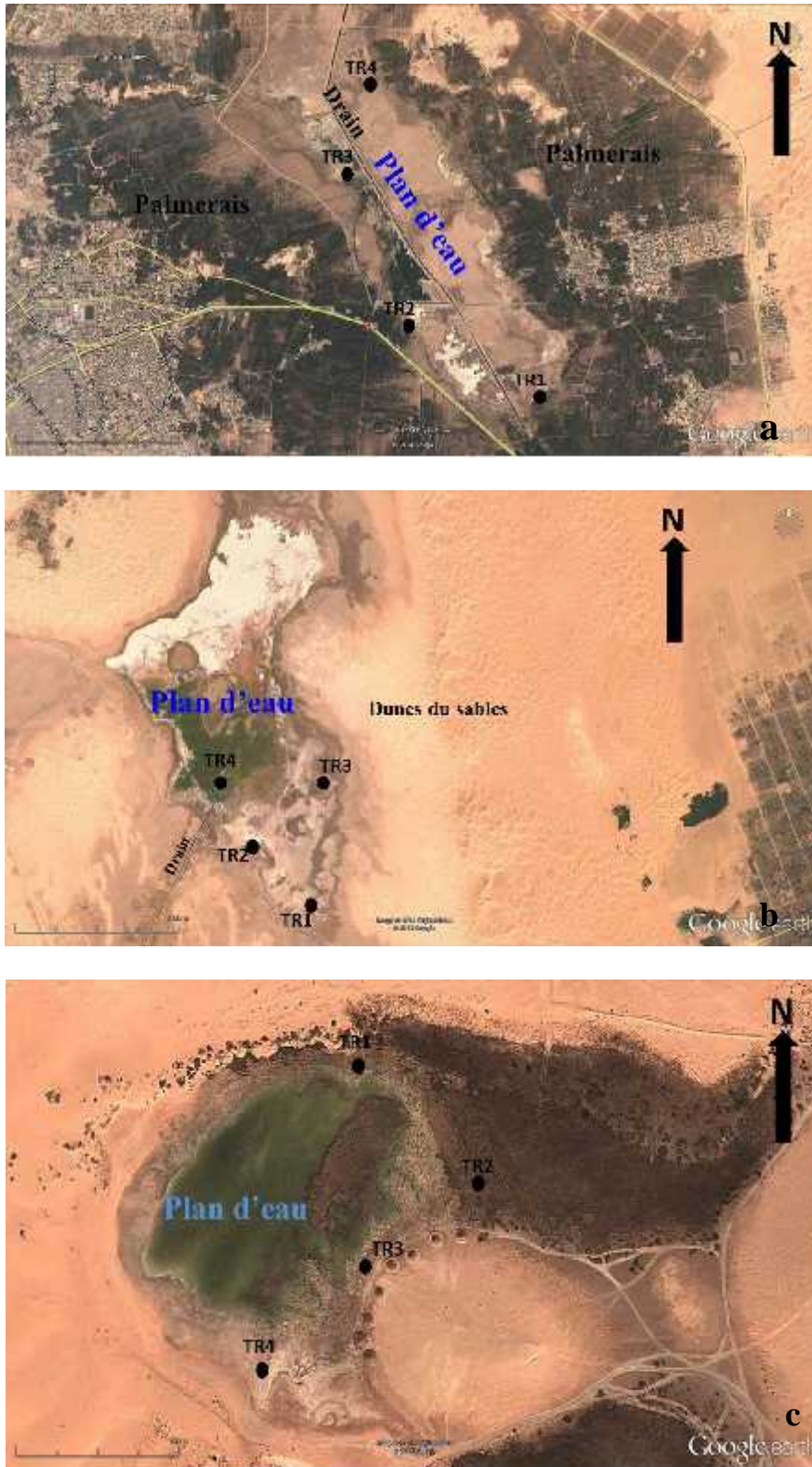


Figure 11: Emplacement des transects (TR) dans les stations :  
a : chott Ain El Beida, b : chott Oum El-Ranneb, c : lac Hassi Ben Abdallah.



Figure 12: Emplacement des transects (TR) dans les stations :  
a : lac Témacine, b : lac Merdjaja, c : lac Mégarine.



Figure 13: Emplacement des transects (TR) dans les stations :  
a : chott Sidi Slimane, b : lac Ayata.

Les observations temporelles ont été réalisées selon 8 relevés pendant les quatre saisons (en raison de deux relevés par saison), indiqués dans le tableau 1.

Tableau 1 : Planning des relevés.

Saisons	Stations (zones humides)							
	Lac Témacine	Lac Merdjaja	Lac Mégarine	Chott Sidi Slimane	Lac Ayata	Chott Aïn El Beida	Chott Oum El-Ranneb	Lac Hassi Ben Abdallah
Automne	12/10/2009	10/10/2009	13/10/2009	11/10/2009	18/10/2009	25/10/2009	30/10/2009	27/10/2009
	09/11/2010	12/11/2010	08/11/2010	05/11/2010	02/11/2010	26/10/2010	28/10/2010	30/10/2010
Hiver	15/01/2010	12/01/2010	17/01/2010	13/01/2010	19/01/2010	09/01/2010	06/01/2010	04/01/2010
	20/01/2011	29/01/2011	20/01/2011	17/01/2011	16/01/2011	10/01/2011	12/01/2011	13/01/2011
Printemps	01/05/2010	30/04/2010	24/04/2010	22/04/2010	20/04/2010	15/04/2010	18/04/2010	17/04/2010
	29/04/2011	01/05/2011	29/04/2011	27/04/2011	25/04/2011	23/04/2011	22/04/2011	20/04/2011
Été	27/07/2010	22/07/2010	29/07/2010	24/07/2010	26/07/2010	19/07/2010	16/07/2010	14/07/2010
	22/07/2011	24/07/2011	21/07/2011	26/07/2011	29/07/2011	31/07/2011	01/08/2011	04/08/2011

## **II-2- Relevés floristiques**

L'étude de la flore porte sur la réalisation des relevés de la végétation et le traitement des résultats par l'application d'indices écologiques.

- 1- La liste des espèces végétales : le but de cet inventaire est de recenser toutes les espèces végétales qui se trouvent dans les zones d'étude que ce soit près du plan d'eau ou sur ses bordures immédiates. L'identification des espèces est facilitée suite à la consultation de plusieurs références Quézel et Santa (1962, 1963), Chehema (2006), Halis (2007), Kherraze et *al.* (2010).
- 2- Le recouvrement: les mesures de recouvrement sont effectuées pour tous les individus de la sous station, en projetant verticalement sur le sol les organes aériens des plantes.
- 3- La densité : les mesures de la densité sont exprimées en nombre d'individus par unité de surface (sous stations de 100 m<sup>2</sup>).
- 4- La fréquence : elle est calculée (en %) selon la formule :  $F(x) = n / N \times 100$ .
  - n : Nombre de relevés de l'espèce x
  - N : Nombre total de relevés réalisés.
- 5- Le coefficient d'abondance dominance : estimé selon l'échelle de Braun-Blanquet (1951).
  - 5: Nombre quelconque d'individus, recouvrement >3/4 de la surface de référence (>75%);
  - 4: Recouvrement entre 1/2 et 3/4 (50–75% de la surface de référence);
  - 3: Recouvrement entre 1/4 et 1/2 (25–50% de la surface de référence);
  - 2: Recouvrement entre 1/20 et 1/4 (5–25% de la surface de référence);
  - 1: Recouvrement <1/20, ou individus dispersés à couvert jusqu'à 1/20 (5%);
  - +: Peu d'individus, avec très faible recouvrement;
  - r : rare.
- 6- **Richesse floristique** : Selon Daget et Poissonet (1991), la notion qui rend compte de la diversité de la flore, c'est-à-dire du nombre de taxons inventoriés dans la station examinée. Elle n'implique aucun jugement de valeur sur la production ou les potentialités de la végétation. Elle est indépendante de la richesse de la végétation. On parlera de la flore :

**Raréfiée** : moins de 5 espèces sur cette station.

**Très pauvre** : de 6 à 10 espèces.

**Pauvre** : de 11 à 20 espèces.

**Moyenne** : de 21 à 30 espèces.

**Assez riche** : de 31 à 40 espèces.

**Riche** : de 41 à 50 espèces.

**Très riche** : de 51 à 75 espèces.

**Exceptionnellement riche** : plus de 75 espèces.

7- Indice de sociabilité de Jaccard : L'association des espèces est calculée par l'indice de similarité de Jaccard (Jaccard, 1908).

$$J = \frac{a}{a+b+c}$$

a : nombre des relevés de présence de deux espèces,

b : nombre de relevés où l'espèce 1 est présente absence de deuxième espèce,

c : nombre de relevés où l'espèce 2 est présente et absence de la première espèce.

8- **Indice de Shannon-Weaver (1949) « H' » et équitabilité « E » de Piélou (1966)**

D'après Lacoste et Salanon (2001) dans l'évaluation de la diversité spécifique, interviennent en principe les dominances des constitutives de la biocénose (ou de la communauté). Cet indice est largement utilisé sa valeur est calculée à partir de données quantitatives ou semi-quantitatives de la végétation. A une valeur d'indice élevée (entre 0 et 1) correspond une diversité élevée.

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

Les logarithmes utilisés étant de base 2. Où

S : le nombre total d'espèces

i : une espèce du milieu d'étude

P<sub>i</sub> : la proportion de recouvrement d'une espèce i par rapport au recouvrement total des espèces dans le milieu d'étude, qui se calcule de la façon suivant :

$$P(i) = n_i/N$$

Où  $n_i$  est le recouvrement moyen de l'espèce  $i$  et  $N$  est le recouvrement total (toutes les espèces).

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte la dominance des espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont codominantes. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominant très largement toutes les autres) à  $\log S$  (lorsque toutes les espèces ont même abondance).

L'indice de Shannon est souvent accompagné de l'indice d'Equitabilité  $J$  de Piélou (1966), appelé également indice d'équi-répartition (Blondel, 1979), qui représente le rapport de  $H'$  à l'indice maximal théorique dans le peuplement ( $H_{max}$ ). Cet indice peut varier de 0 à 1, il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement. Insensible à la richesse spécifique, il est très utile pour comparer les dominances potentielles entre stations ou entre dates d'échantillonnage (Grall et Hily, 2003).

L'interprétation est complétée donc par le calcul de l'Equitabilité ( $E$ ) qui, pour l'indice de Shannon & Weaver, répond à la formule suivante :

$$E = \frac{H'}{\log_2 S}$$

$S$  : richesse spécifique

L'Equitabilité est élevée quand toutes les espèces sont bien représentées. Son évaluation est utile pour détecter les changements dans la structure d'une communauté et, quelquefois, prouvé son efficacité pour déceler les changements d'origine anthropique.

9- **Information mutuelle espèce-variable écologique** : C'est la quantité d'informations apportées par la présence ou l'absence d'une espèce vis-à-vis des modalités d'un facteur écologique. Elle exprime la valeur indicatrice de l'espèce (M'herit, 1982) et permet de mesurer la sensibilité d'une espèce à un descripteur écologique (Blondel, 1979). Elle correspond à l'intersection entre l'entropie espèce et l'entropie facteur (Guillerm, 1971), nous avons alors :

$$I(L,E) = \frac{N(K)}{N(R)} \log_2 \frac{U(K)}{R(K)} + \frac{V(K)}{NR} \log_2 \frac{V(K)}{R(K)}$$

$I(L,E)$  : information mutuelle espèce-variable écologique ;

$N(K)$  : nombre de classes distinguées pour le facteur  $L$  ;

$U(K)$  : nombre de relevés de la classe  $K$ , et où l'espèce  $E$  est présente ;

$V(K)$  : nombre de relevés de la classe K, et où l'espèce E est absente ;

$R(K)$  : nombre de relevés de la classe K ;

$U(E)$  : nombre total de relevés où l'espèce E est présente ;

$V(E)$  : nombre total de relevés où l'espèce E est absente ;

NR : nombre total de relevés.

### II-3- Etude des caractéristiques pédologiques

#### 📌 Prélèvement

Le couple sol-couvert végétal, peut être considéré comme un système à deux compartiments qui échangent en permanence. Le couvert végétal inévitablement temporaire, car vivant, se développe au dépend du sol qui fournit les éléments nutritifs, tandis que les sols se sont développés, dans une partie par incorporation d'une fraction de la matière organique produite par le couvert végétal (Stengel et Soede, 1995).

Pour chaque transect inventorié, nous avons pris de chacune des placettes un échantillon du sol (0-30cm) le long du transect. Les échantillons sont prélevés à l'aide de la tarière. L'échantillon du sol a été pris à partir d'un mélange de trois prélèvements de façon diagonale ( $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$ ) (figure 14). Les échantillons du sol ainsi prélevés sont analysés afin de connaître les caractéristiques des sols.

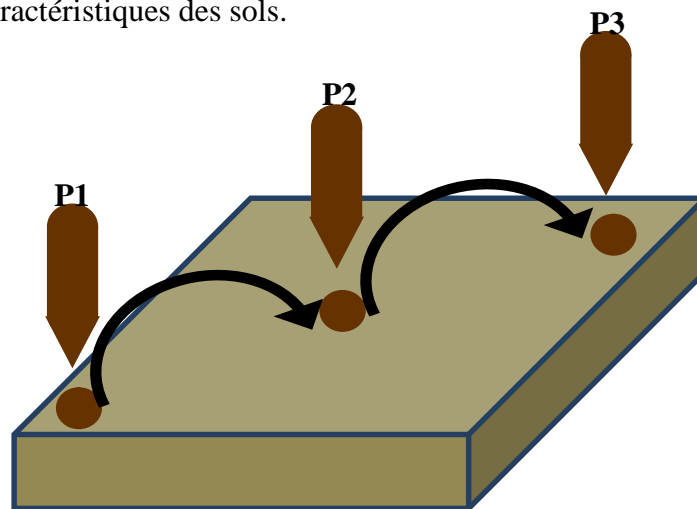


Figure 14: Schéma des prélèvements des échantillons de sols dans une placette.

#### 📌 Analyses du sol

Les analyses du sol ont porté sur la détermination de l'humidité du sol, la salinité, le pH, les cations, les anions, le gypse, le calcaire total et la matière organique.

Pour déterminer le taux d'humidité, les échantillons du sol sont transportés au laboratoire et séchés à l'étuve pendant 24 à 48 heures. Les échantillons du sol sont séchés et



tamisé à 2mm et procédé aux analyses suivantes :

1- La granulométrie: a pour but de quantifier les particules minérales élémentaires groupées en classes, et de définir la composition granulométrique d'un sol. Elle permet de classer les particules minérales constitutives des agrégats en un certain nombre de fractions par catégorie de diamètre, on suppose que ces particules minérales sont sphériques. Elle a été effectuée par la méthode de tamisage à sec au moyen d'une série de tamis avec l'utilisation d'un vibreur. La masse de refus cumulée sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon (AFNOR, 1996). Les particules fines à très fines sont séparées par sédimentation dans un milieu liquide (AFNOR, 1992).

2- Le pH d'eau: mesuré au pH mètre à électrode en verre, avec un rapport sol/eau (1/2.5).

3- La conductivité électrique: déterminée à l'aide d'un conductimètre à 25 C° avec un rapport sol/eau (1/5).

4- Le Calcaire total : déterminé par la méthode volumétrique à l'aide d'un calcimètre de Bernard. La méthode est basée sur la propriété du carbonate de calcium de se décomposer sous l'action d'un acide, en eau et gaz carbonique (Aubert, 1978).

5- La matière organique (M.O) : est dosée par la méthode Anne, dont le carbone organique est oxydé par du bichromate de potassium en milieu sulfurique. Le bichromate doit être en excès, la quantité réduite est en principe proportionnelle à la teneur en carbone organique. L'excès de bichromates de potassium est titré par une solution de sel de Mohr en présence de diphenylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert (Aubert, 1978).

6- Le Gypse: est dosé par la méthode de Viellefon (1979). Cette méthode permet l'estimation des teneurs en gypse et autres formes de sulfate de calcium en fonction de l'humidité du sol.

7- Les sels solubles sont dosés de l'extrait du sol avec un rapport sol/eau de 1/5 :

**Dosage des chlorures :** les Chlorures ont été dosés par la méthode gravimétrique de MOHR qui consiste à précipiter les ions  $\text{Cl}^-$  sous forme de  $\text{AgCl}$  en présence de  $\text{AgNO}_3^-$ .

**Dosage des sulfates :** les sulfates ont été dosés par la méthode gravimétrie que basée sur la précipitation des sulfates sous forme de sulfates de baryum.

**Dosage des carbonates et bicarbonates :** leur dosage est fait par titrimétrie à l'aide de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). La méthode consiste à titrer les carbonates en présence de la phénolphtaléine, et de la même façon pour les bicarbonates en présence de l'orange de méthyle (AFNOR, 1999).

**Dosage des nitrates :** les nitrates sont dosés par spectrophotométrie à absorption atomique.

**Les cations :** les dosages sont réalisés par spectrophotométrie d'émission atomique (Photomètre à flamme) pour le sodium et le potassium, et par spectrophotométrie d'absorption atomique pour le magnésium et le calcium.

### II-4- Etude des eaux

#### **Echantillonnage**

L'objectif de notre étude est de suivre l'évolution des caractéristiques des eaux des zones humides étudiées et son interaction avec le sol et la végétation. Pour cela nous avons pris des échantillons d'eau de quatre points pour chaque zone humide.

Pour les analyses physico-chimiques; des flacons en plastique de 1.5 l ont été utilisés pour le prélèvement des échantillons d'eau. Avant de procéder au prélèvement des échantillons des saumures, les bouteilles seront rincées 3 fois avec de l'eau distillé, puis elles sont rincées sur le terrain avec les saumures, pour éviter toutes erreurs. Après le prélèvement des échantillons, les bouteilles sont fermées pour éviter l'évaporation et transportées au laboratoire dans une glacière.

#### **Analyses sur terrain**

Le pH, l'oxygène et la conductivité électrique sont des paramètres doivent être appréciés au moment de prélèvement puisqu'ils changent pendant le temps de transport et de conservation.

Sur le terrain, la conductivité électrique, le pH et l'oxygène dissous sont mesurés à l'aide d'un appareil multi-paramètre que peut mesurer la conductivité électrique, le pH et l'oxygène dissous.

#### **Analyses au laboratoire**

##### **Les sels solubles**

-Les Chlorures ont été dosés par la méthode gravimétrique de MOHR qui consiste à précipiter les ions  $\text{Cl}^-$  sous forme de  $\text{AgCl}$  en présence de  $\text{AgNO}_3$ .

-Les sulfates ont été dosés par la méthode gravimétrique basée sur la précipitation des sulfates sous forme de sulfates de baryum.

-Les carbonates et bicarbonates ont été dosés par titrimétrie à l'aide de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). La méthode consiste à titrer les carbonates en présence de la phénolphtaléine, et de la même façon pour les bicarbonates en présence de l'orange de méthyle (AFNOR, 1999).

-Les nitrates sont dosés par spectrophotométrie à absorption atomique.

-Les cations sont dosés par spectrophotométrie à émission atomique (Photomètre à flamme) pour le sodium et le potassium, et par spectrophotométrie à absorption atomique pour le magnésium et le calcium.

### La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO correspond à la quantité d'oxygène qui a été consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans un échantillon d'eau de 1 litre (quelle que soit leur origine, organique (biodégradable ou non) ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfate et chlorures). La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel. Elle exprime la quantité d'oxygène fournie par du bichromate de potassium  $K_2Cr_2O_7$ , et nécessaire à l'oxydation de substances organiques pendant deux heures à l'ébullition à  $150^\circ C$  en milieu acide et en présence de catalyseur ( $HgSO_4/H_2SO_4$ ). L'excès de bichromate de potassium est dosé par le sel de Mohr (Sulfate de fer et d'ammonium), Elle est exprimée en  $mg O_2/l$ , et donnée par l'expression suivant :

$$DCO (mg/l) = 8000.CFe.(VT-VE)/E$$

**VT, VE:** volumes en ml de sel de Mohr utilisé pour titrer le témoin et l'échantillon respectivement.

**E:** volume en ml de la prise d'essai d'eau.

**CFe:** est la concentration, exprimée en moles par litre, de la solution de sel de Mohr.

### La demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

La DBO est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante va entraîner une consommation d' $O_2$ ) au cours des procédés d'autoépuration.

La DBO est mesurée au bout de 5 jours (=DBO<sub>5</sub>), à  $20^\circ C$  (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d' $O_2$ ) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse-parasite). Elle est donnée par l'expression suivant :

$$DBO_5 (mg/l) = \text{Lecteur} \times \text{Facteur}$$

### La matière organique (MO)

La plupart des matières organiques ne deviennent polluantes que lorsqu'elles se retrouvent en excès dans le milieu. On distingue :

- les matières organiques biodégradables qui se décomposent dans le milieu naturel,
- les matières organiques non biodégradables (hydrocarbures).

De nombreux micropolluants organiques d'origine industrielle ou urbaine affectent la qualité des cours d'eau. Ils traversent les stations d'épuration sans être altérés, résistent à l'autoépuration et se retrouvent à l'état de traces dans les rivières. Outre la réduction d'oxygène dissous qu'ils entraînent, certains confèrent aux eaux de consommation des propriétés irritantes parfois toxiques ainsi qu'une odeur et un goût désagréables. Ces micropolluants peuvent avoir une action nuisible sur la flore bactérienne et gêner, sinon empêcher le bon fonctionnement des stations d'épuration, Elle est calculée par la formule suivante:

$$\text{MO (mg/l)} = 1/3 \text{ DCO} + 2/3 \text{ DBO}_5$$

### II-5- Traitement statistique

Afin de pouvoir répondre aux attentes concernant la compréhension des interactions entre les différents facteurs écologiques des écosystèmes humides et la distribution des espèces végétales en fonction des facteurs écologiques et anthropiques nous avons réalisé un traitement statistique de toutes les données recueillies. A cet effet, les relevés de toutes les stations ont été disposés sur un tableau (sous Excel) avec les variables en colonnes (variables floristiques, édaphiques et hydriques) et les relevés en lignes. Le tableau constitue la matrice sur laquelle les calculs sont appliqués à l'aide d'un logiciel statistique : STATISTICA.10. Les analyses effectuées sont l'analyse de variance (ANOVA), l'analyse factorielle de correspondance (AFC), l'analyse en composante principale (ACP), l'analyse canonique de correspondance (ACC), les dendrogrammes et les matrices de corrélation.

---

*Chapitre III*  
*Résultats et discussion*

---

## **Chapitre III- Résultats et discussion**

### **III-1- Etude floristique**

Les relevés floristiques effectués dans l'ensemble des sous stations étudiées nous ont permis de recenser 17 espèces appartenant à 10 familles (tableau 2), représentées par 16 espèces permanentes (vivaces) et une espèce éphémère. Les chaméphytes sont les plus abondants avec 41 %, elles sont composées principalement par les Amaranthacées. Les géophytes sont représentés par quatre espèces avec 23,5%. Les thérophytes, les héliophytes et les phanérophytes montrent le même nombre de taxons (2 espèces). Il est à signaler l'absence de plantes supérieures submergées ou flottantes dans le plan d'eau.

Les rigueurs climatiques et l'instabilité structurale du sol (texture sableuse et structure particulière,...) (Khadraoui, 2007), favorisent le développement des espèces à cycle de vie court, surtout les Thérophytes. Or la position de la nappe phréatique salée près de l'horizon superficiel favorise le développement des halophytes dont la famille des Amaranthacées est la mieux représentée en espèces Chaméphytes thermophiles. Ces dernières ont une bonne adaptation aux conditions du milieu (Le Houerou, 1992), ce qui leur permet d'occuper des territoires plus ou moins étendus.

Tableau 2 : Liste systématique et types biologiques des espèces végétales inventoriées.

Familles	Espèces	Types biologiques	Codes
Amaranthaceae	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	Chaméphytes	Hal
	<i>Arthrocnemum glaucum</i> (Del.)	Chaméphytes	Art
	<i>Traganum nudatum</i> (Del.)	Chaméphytes	Tra
	<i>Salicornia fruticosa</i> (Forssk)	Chaméphytes	Sal
	<i>Cornulaca monacantha</i>	Chaméphytes	Cor
	<i>Suaeda fruticosa</i>	Chaméphytes	Sue
Juncaceae	<i>Juncus maritimus</i>	Hélophytes	Jun
Poaceae	<i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.	Géophytes	Ael
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Géophytes	Cyn
	<i>Phragmites communis</i>	Hélophytes	Phr
Asteraceae	<i>Sonchus maritimus</i> L.	Géophytes	Son
Tamaricaceae	<i>Tamarix gallica</i>	Phanérophytes	Tam
Zygophyllaceae	<i>Zygophyllum album</i>	Chaméphytes	Zyg
Molluginaceae	<i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.	Thérophytes	Mol
Plombaginaceae	<i>Limoniastrum guyonianum</i>	Phanérophytes	Lim
Convolvulaceae	<i>Cressa cretica</i> L.	Thérophytes	Cre
Orobanchaceae	<i>Cistanche tinctoria</i> (Forssk) Beck.	Géophytes	Cis

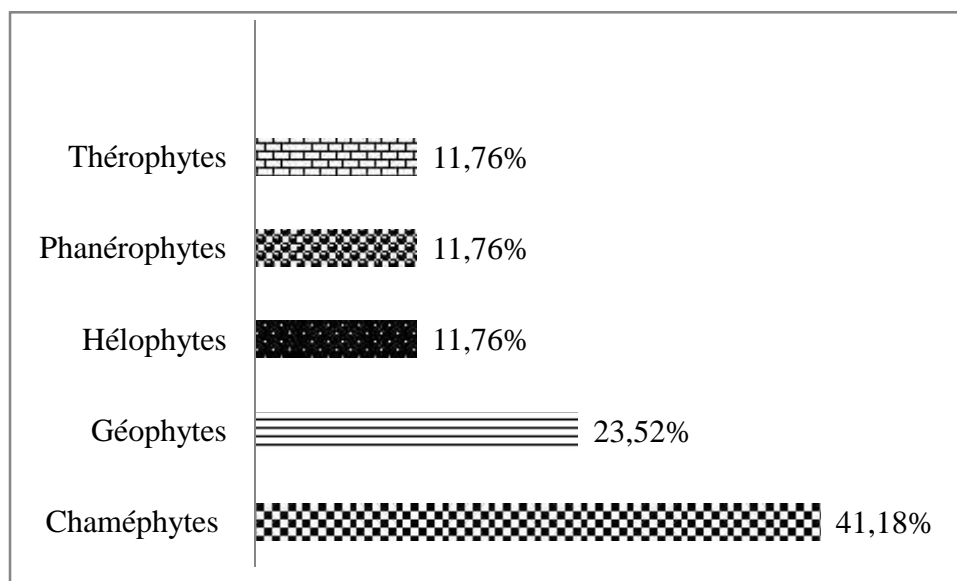


Figure 15: Répartition du nombre d'espèces par type biologique.

### **III-1-1- Étude quantitative**

L'étude de la richesse totale appliquée aux différentes espèces caractéristiques des stations étudiées nous a démontré que le nombre des espèces recensées est très faible.

Du point de vue spatial, la répartition des espèces rencontrées varie selon les stations étudiées (tableau 03). Ainsi le lac Mégarine et le lac Ayata qui sont relativement les plus riches et les plus diversifiés avec 10 espèces vivaces, ensuite devient le lac Témacine avec 08 espèces vivaces. Le lac Merdjaja, lac Hassi Ben Abdallah et chott Oum El Ranneb renferment 07 espèces. Le chott Sidi Slimane héberge 06 espèces vivaces. Le chott Aïn El Beida vient en dernier avec 05 espèces vivaces.

Le nombre de 06 espèces est important si on le compare à la richesse floristique recensée dans d'autres travaux dans le chott Sidi-Slimane. A ce titre, l'étude faite en octobre et janvier 2002 par la DGF, montre que la flore du lac comprend 3 espèces (Boumezbeur, 2004). La même étude montre l'existence de deux espèces seulement dans le chott Oum El-Ranneb et 30 espèces dans le chott Aïn El Beida. Ce nombre d'espèces peut être expliqué par la superficie inventoriée qui inclue les palmeraies sous-jacentes. Gauthier-Lièvre (1931) a montré l'existence de six espèces dans les deux lac Merdjaja et Témacine. D'autre part, Chenchouni (2012) a indiqué l'existence de 13 espèces dans le lac Ayata. La différence entre les stations est essentiellement due aux conditions édaphiques qui diffèrent d'une station à l'autre. D'ailleurs, il est connu que les sols salés ne peuvent être habités que par les plantes vivaces (Chehema et *al.*, 2005).

D'une manière générale, selon l'échelle de Daget et Poissonet (1991), la richesse floristique stationnelle des sites étudiés est classée comme très pauvre, car elles ne renferment que de 05 à 10 espèces vivaces, Chehema (2005) annonce que les sols salés apparaissent avec un état de flore raréfiée avec 2 familles et 2 espèces vivaces.



Tableau 03: Espèces inventoriées suivant les stations étudiées.

<p><b>Lac Ayata</b></p> <p><i>Phragmites communis</i></p> <p><i>Juncus maritimus</i></p> <p><i>Halocnemum strobilaceum</i></p> <p><i>Tamarix gallica</i></p> <p><i>Suaeda fruticosa</i></p> <p><i>Limoniastrum guyonianum</i></p> <p><i>Zygophyllum album</i></p> <p><i>Arthrocnemum glaucum</i> (Del.)</p> <p><i>Traganum nudatum</i> (Del.)</p> <p><i>Salicornia fruticosa</i> (Forssk)</p>	<p><b>Lac Mégarine</b></p> <p><i>Phragmites communis</i></p> <p><i>Juncus maritimus</i></p> <p><i>Halocnemum strobilaceum</i></p> <p><i>Tamarix gallica</i></p> <p><i>Mallugo nudicaulis</i> Lam.</p> <p><i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.</p> <p><i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.</p> <p><i>Suaeda fruticosa</i></p> <p><i>Cressa cretica</i> L.</p> <p><i>Sonchus maritimus</i> L.</p>	<p><b>Lac Témacine</b></p> <p><i>Phragmites communis</i></p> <p><i>Juncus maritimus</i></p> <p><i>Halocnemum strobilaceum</i></p> <p><i>Tamarix gallica</i></p> <p><i>Mallugo nudicaulis</i> Lam.</p> <p><i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.</p> <p><i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.</p> <p><i>Suaeda fruticosa</i></p>
<p><b>Lac Merdjaja</b></p> <p><i>Phragmites communis</i></p> <p><i>Halocnemum strobilaceum</i></p> <p><i>Tamarix gallica</i></p> <p><i>Cistanche tinctoria</i> (Forssk) Beck.</p> <p><i>Limoniastrum guyonianum</i></p> <p><i>Zygophyllum album</i></p> <p><i>Cornulaca monacantha</i></p>	<p><b>Chott Oum El-Ranneb</b></p> <p><i>Halocnemum strobilaceum</i></p> <p><i>Juncus maritimus</i></p> <p><i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.</p> <p><i>Phragmites communis</i></p> <p><i>Tamarix gallica</i></p> <p><i>Zygophyllum album</i></p> <p><i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.</p>	<p><b>Lac Hassi Ben Abdellah</b></p> <p><i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.</p> <p><i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.</p> <p><i>Phragmites communis</i></p> <p><i>Sonchus maritimus</i> L.</p> <p><i>Juncus maritimus</i></p> <p><i>Tamarix gallica</i></p> <p><i>Zygophyllum album</i></p>
<p><b>Chott Sidi Slimane</b></p> <p><i>Phragmites communis</i></p> <p><i>Juncus maritimus</i></p> <p><i>Halocnemum strobilaceum</i></p> <p><i>Tamarix gallica</i></p> <p><i>Suaeda fruticosa</i></p> <p><i>Cressa cretica</i> L.</p>	<p><b>Chott Aïn El Beida</b></p> <p><i>Halocnemum strobilaceum</i></p> <p><i>Juncus maritimus</i></p> <p><i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.</p> <p><i>Phragmites communis</i></p> <p><i>Tamarix gallica</i></p>	

### III-1-2- Les densités et les taux de recouvrement

Les résultats relatifs aux densités et aux taux de recouvrement des plantes des différentes stations sont regroupés dans le tableau 04.

Tableau 04: Taux de recouvrement et densités des plantes des zones humides étudiées.

	Mégarine	Témacine	Merdjaja	Sidi Slimane	Ayata	Aïn El Beida	Oum El-Ranneb	Hassi Ben Abdallah
Taux de recouvrement	20.24%	09.45%	27.49%	40.88%	28.81 %	31.84%	24.72%	36.36%
Densité (pieds/100m <sup>2</sup> )	714	534	544	1233	500	1613	981	1165

Les valeurs enregistrées pour les différentes zones humides nous montrent que la densité des espèces au niveau de chott Aïn El Beida représentent les nombres les plus élevés suivis par chott Sidi Slimane, lac Hassi Ben Abdalla, Chott Oum El-Ranneb, lac Mégarine, lac Merdjaja, lac Témacine et enfin vient le lac Ayata (figure 16). Ces différences sont dues essentiellement à la richesse de certaines zones humides en phragmites qui peut couvrir des grandes surfaces.

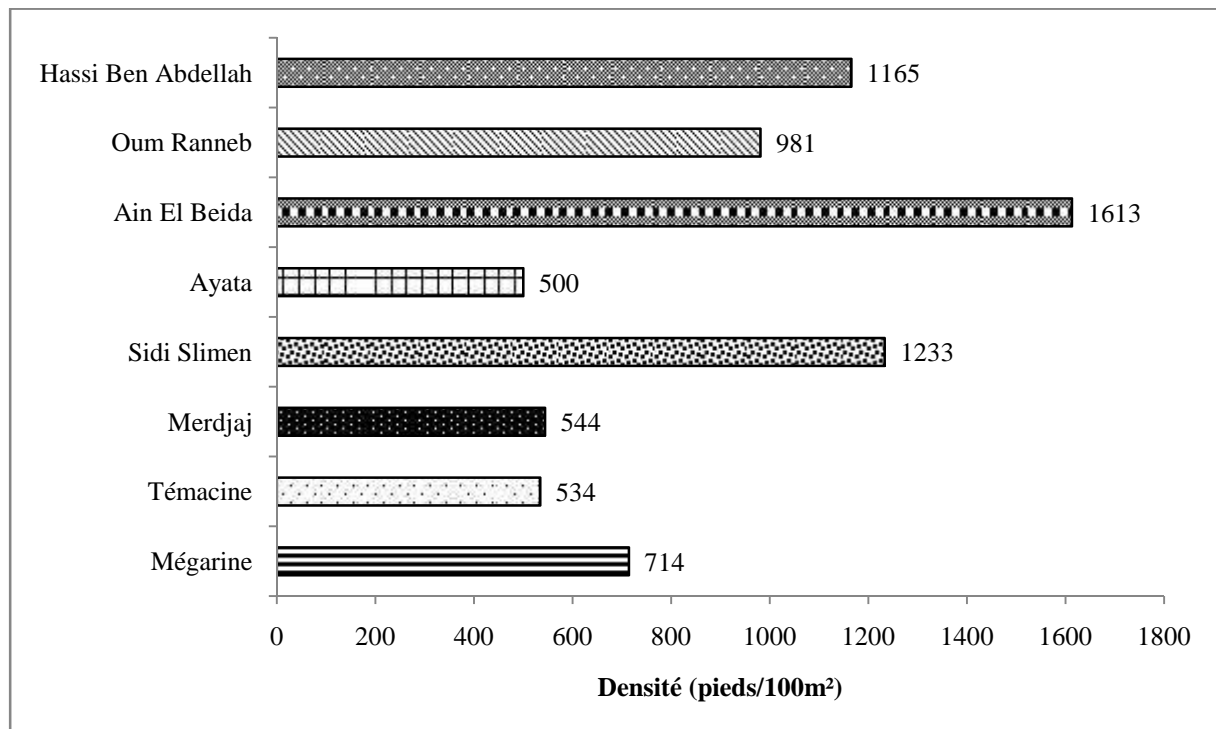


Figure 16: Densités des espèces (pieds/100m<sup>2</sup>) en fonction des stations.

D'une façon générale, on remarque que le recouvrement est très variable d'une station à l'autre (figure 17), cela est directement lié à la diversité floristique, à la densité des espèces et aux conditions édapho-climatiques du milieu (Boudet, 1978 ; Forti et *al.*, 1987 et Saadani et El Ghezal, 1989).

En effet, on note que le chott Sidi Slimane, avec un taux de recouvrement de 40.88%, vient en première position suivi du lac Hassi Ben Abdallah, chott Aïn El Beida, lac Ayata, lac Merdjaja, chott Oum El-Ranneb, lac Mégarine et en dernier lieu vient le lac Témacine.

Concernant les taux de recouvrement des zones humides étudiées (figure 17), on remarque qu'il n'y a pas de forte corrélation avec celles de densités (coefficient de corrélation  $r = 0.61$ ). Cette disproportion entre les densités et les recouvrements peut s'expliquer par la différence de taille des espèces occupant les différentes stations étudiées, du fait que parmi les espèces inventoriées il y a des touffes, des arbustes et même des arbres qui présentent des recouvrements totalement différents (Chehma, 2005).

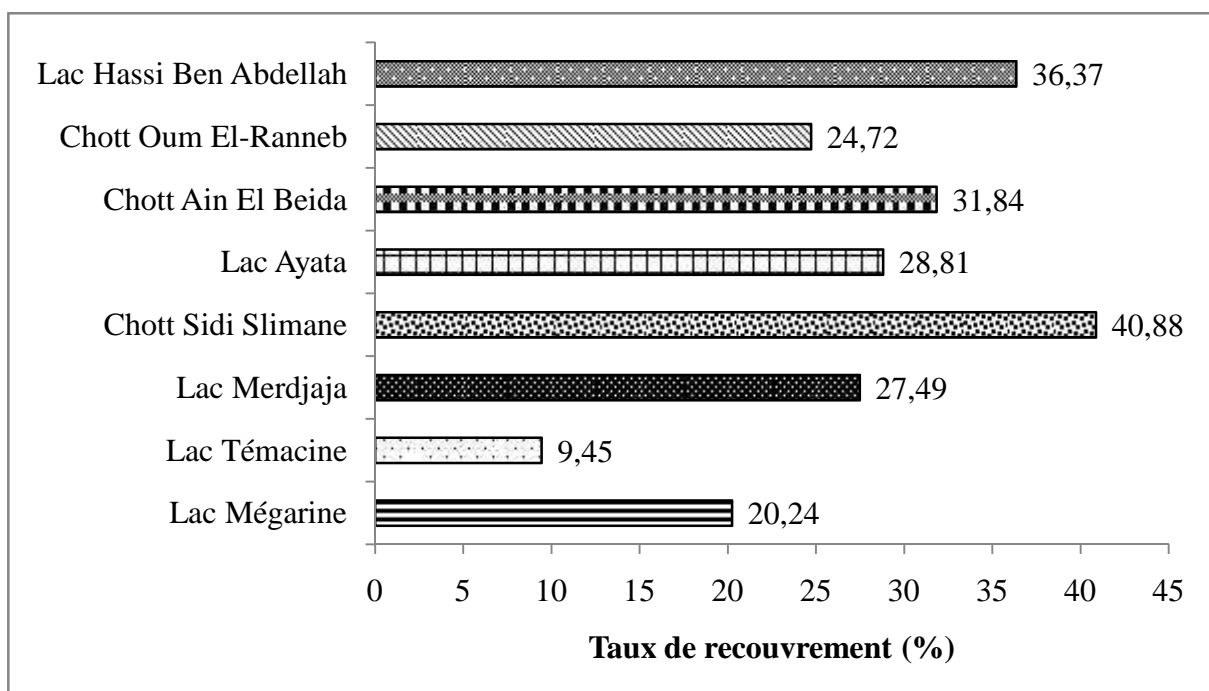


Figure 17: Taux du recouvrement des espèces (%) en fonction des stations.

Pour ce qui est de la densité et du recouvrement en fonction des saisons (figure 18 et 19), on remarque qu'il y a une certaine variation saisonnière, dans le sens où les plus grandes valeurs sont enregistrées au printemps et en été avec une moyenne de 2.23 ha de recouvrement et 734000 pieds/ha de densité.

Cette variation est directement liée aux caractéristiques du cycle floristique et au mode d'adaptation des espèces vivaces désertiques (Ozenda, 1991), qui développent leur partie aérienne en fonction des conditions climatiques (Gardi, 1973; Poupon, 1980), et plus spécialement de l'apport d'humidité et de la faiblesse de l'intensité des vents. En effet, Butterworth (1967) admet que la diversité des climats et des sols suscite des adaptations particulières des espèces et pour Isbell et Mc Cown, (1976), c'est surtout les ressources en eau qui constituent le facteur limitant essentiel pour le développement de la végétation

Dans notre cas, les variations de recouvrements et de densités peuvent s'expliquer par les caractéristiques du climat du Sahara algérien caractérisé par une période pluvieuse irrégulière et s'étalant de la fin de l'automne à la fin du printemps, avec une intensité souvent remarquable en hiver (Seltzer, 1946; Dubief, 1959, 1963; Toutain, 1979 et O.N.M, 1991). En effet, le climat a une influence prépondérante sur la vie des plantes, tant par la pluviosité que par la température et la luminosité (Fitzpatrick et Nix, 1970)

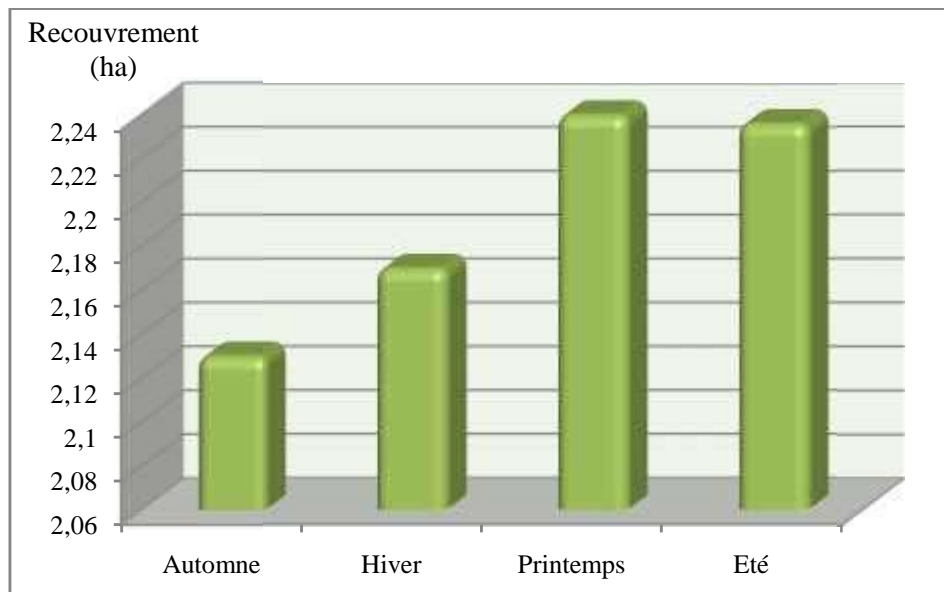


Figure 18: Recouvrements (ha) de l'ensemble des stations en fonction des saisons.

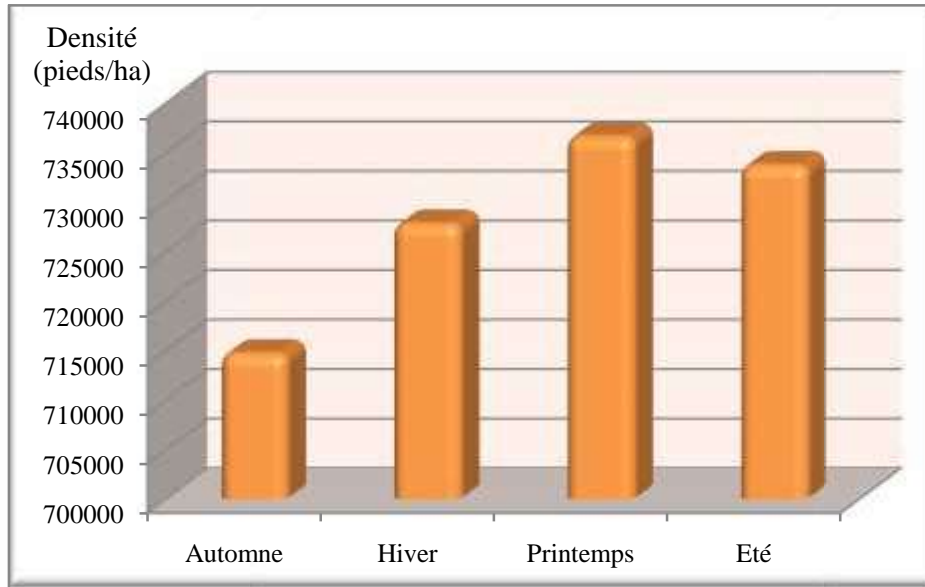


Figure 19: Densités (pieds/ha) de l'ensemble des stations en fonction des saisons.

### III-1-3- Distribution spatiale

L'Analyse Factorielle de Correspondance (AFC) des espèces recensées, montre que la répartition des taxons le long du plan factoriel (axe 1-2) peut être considérée comme significative vue l'importance de son taux d'inertie (29.83% et 26.94%). Nous sommes guidés par les valeurs des coordonnées et les codes des espèces pour leurs densités et leurs recouvrements.

#### La densité

La représentation graphique de l'AFC des valeurs de densité est illustrée par la figure 20.

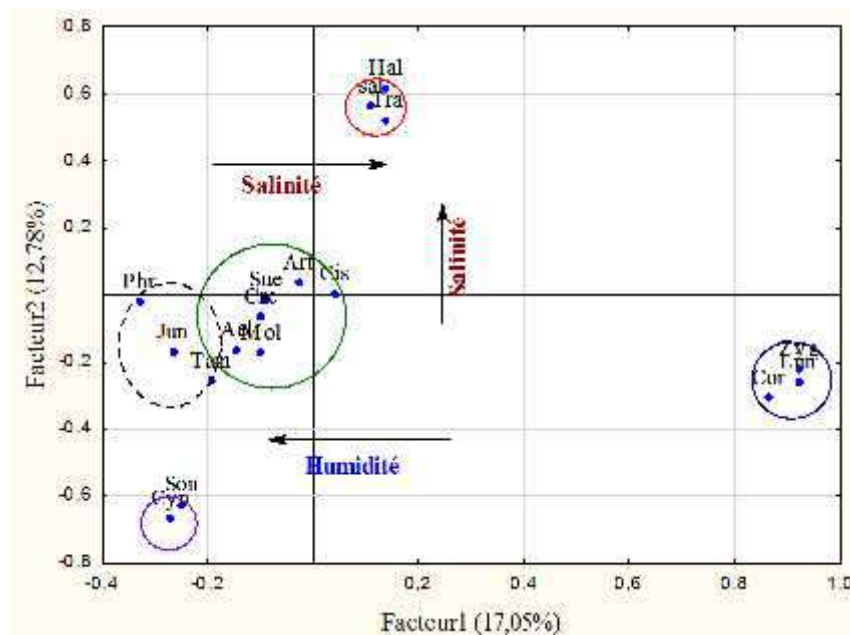


Figure 20: Représentation graphique (plan factoriel 1-2) des relevés floristiques de densités.

Le premier axe présente une inertie de 17.05% (figure 20). Dans le côté négatif de l'axe 2, on a un groupe composé de trois espèces (*Zygophyllum album*, *Limoniastrum guyonianum* et *Cornulaca monacantha*) liées aux sables limoneux fortement chargés en gypse et sels solubles. Un deuxième groupe présente dans ce côté composé de trois espèces halohydrophiles (*Phragmites communis*, *Juncus maritimus* et *Tamarix gallica*).

Le deuxième axe présente une inertie de 12.78% (figure 20). Du côté positif de l'axe s'individualise un groupe d'espèces hyper-halophiles composé de trois espèces : *Halocnemum strobilaceum*, *Salicornia fruticosa*, et *Traganum nudatum*, indiquant un milieu très salin. Elles se localisent aux bordures des plans d'eaux.

Du côté négatif, on a un groupe de deux espèces *Sonchus maritimus* et *Cynodon dactylon* indiquant un milieu salé humide. Dans ce cas, on peut dire que ce côté de l'axe 1 exprime un gradient décroissant de salinité et croissant d'humidité.

Au centre du plan factoriel, on a un groupe de six (06) espèces : *Cistanche tinctoria*, *Mallugo nudicaulis*, *Aeluropus littoralis*, *Suaeda fruticosa*, *Cressa cretica* et *Arthrocnemum glaucum*.

### Le recouvrement

La représentation graphique de l'AFC des valeurs de recouvrement est illustrée par la figure 21.

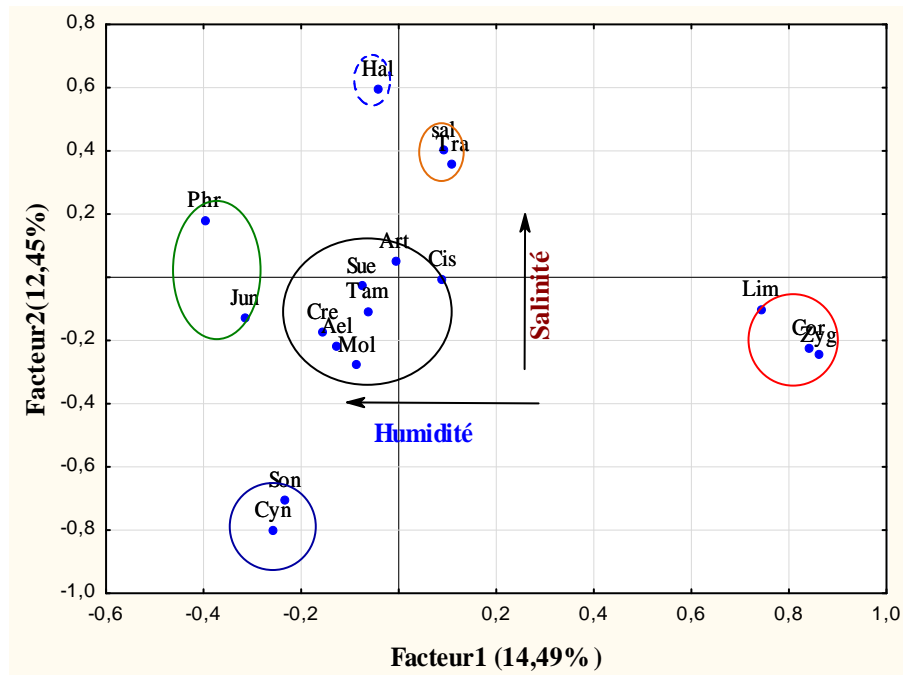


Figure 21: Représentation graphique (plan factoriel 1-2) des relevés floristiques de recouvrements.

Le premier axe présente une inertie de 14.49% (figure 21). Cet axe compte sur le côté négatif un groupe des halo-gypsophytes (*Zygophyllum album*, *Limoniastrum guyonianum* et *Cornulaca monacantha*). Sur l'axe se trouve des espèces hyper-hydrohalophiles : *Phragmites communis* et *Juncus maritimus* caractéristiques des sols hydromorphes et se localisent aux bordures immédiates des plans d'eaux.

Le deuxième axe présente une inertie de 12.45% (figure 21). Au niveau de cet axe nous trouvons sur le côté positif en haut un groupe de deux espèces : *Traganum nudatum* et *Salicornia fruticosa*. Sur le côté négatif de l'axe, un groupe d'une seule espèce hyper-halophile (*Halocnemum strobilaceum*) se distingue. En bas, un autre groupe composé de deux espèces *Sonchus maritimus* et *Cynodon dactylon* montrant un milieu humide et salé.

Au milieu du plan factoriel, se regroupent les espèces *Tamarix gallica*, *Arthrocnemum glaucum*, *Suaeda fruticosa*, *Cressa cretica*, *Cistanche tinctoria*, *Mallugo nudicaulis* et *Aeluropus litoralis*.

On peut dire au total que dans ce plan, on a un gradient de salinité en allant vers le haut du plan et un gradient d'humidité en allant vers la gauche.

Les représentations graphiques des AFC sur les tableaux de densités et de recouvrements montrent la présence de cinq groupes d'espèces ;

- Le premier se compose des espèces halo-gypsophiles : *Zygophyllum album*, *Limoniastrum guyonianum* et *Cornulaca monacantha* ;
- Le deuxième se compose de *Phragmites communis* et *Juncus maritimus* qui sont des plantes hyper-hydrohalophiles ;
- Le troisième se compose d'une espèce hyper-halophile (*Halocnemum strobilaceum*)
- Le quatrième groupe se compose de deux halophytes : *Salicornia fruticosa* et *Traganum nudatum* ;
- Le cinquième groupe composé de *Sonchus maritimus* et *Cynodon dactylon* ;
- Le sixième groupe regroupe le reste des espèces inventoriées.

La représentation superposée des espèces et des classes de stations (figure 22) permet de lier les associations entre les espèces et les différents types de stations. Elles nous montrent que :

- Le chott Sidi Slimane se caractérise par la dominance des espèces de cinquième groupe.

- Le lac Ayata se distingue par la présence des espèces de quatrième groupe.
- Le chott Aïn El Beida se caractérise par la dominance de l'espèce de troisième groupe (*Halocnemum strobilaceum*).
- Les autres stations se trouvent au centre du plan factoriel, elles habitent notamment les espèces de sixième groupe.

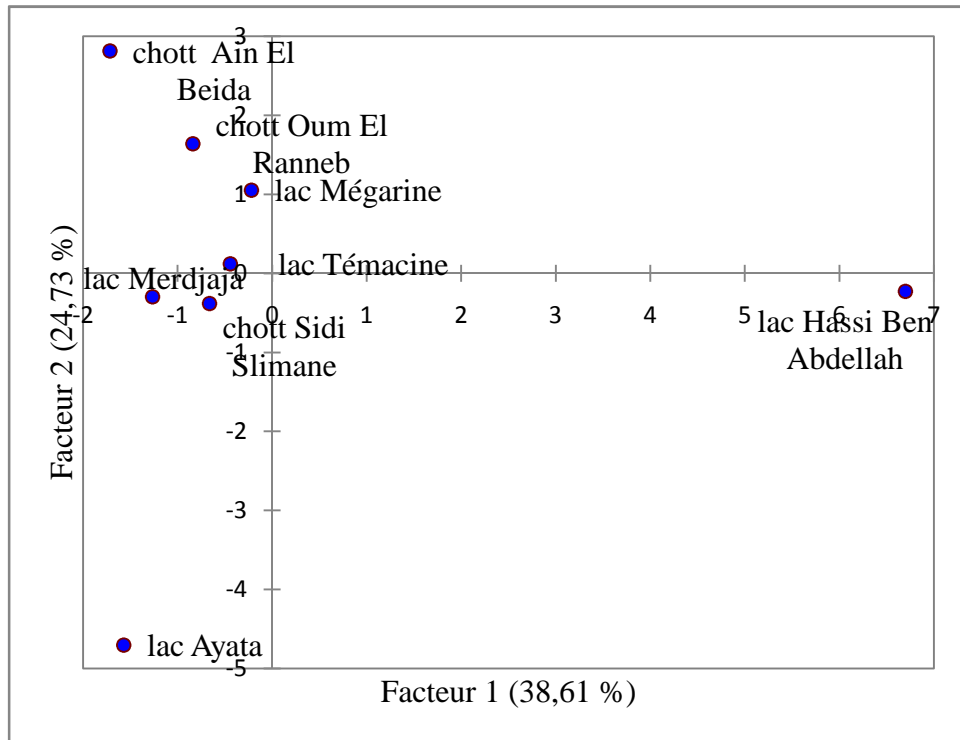


Figure 22: Représentation graphique superposée des groupes des espèces et des classes de stations sur le plan factoriel 1-2 des relevés des densités et recouvrements.

#### III-1-4- Association entre espèces (Indice de Jaccard)

La similarité entre espèces de Jaccard illustrée par un dendrogramme (figure 23) montre l'existence de cinq groupes d'association des espèces:



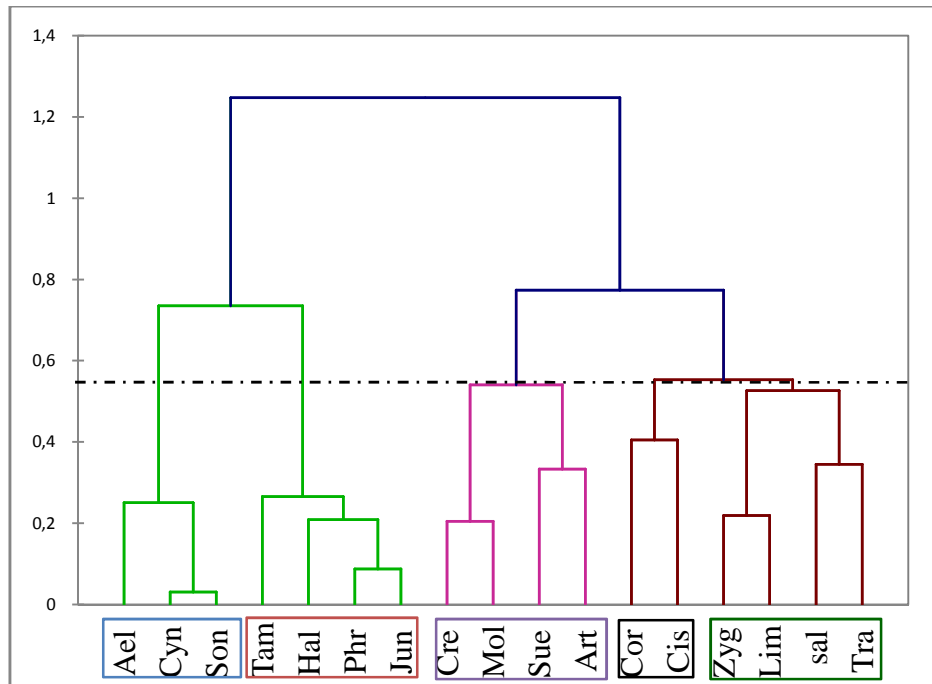


Figure 23: Dendrogramme des groupes d'espèces.

Le premier groupe composé de trois espèces hydrophiles *Aeluropus littoralis*, *Cynodon dactylon*, et *Sonchus maritimus* caractéristiques du lac Hassi Ben Abdallah. Le deuxième groupe composé des espèces halohydrophiles (*Phragmites communis*, *Juncus maritimus*, *Halocnemum strobilaceum*, *Tamarix gallica*). Le troisième groupe constitué de quatre halophytes : *Mallugo nudicaulis*, *Cressa cretica*, *Arthrocnemum glaucum* et *Suaeda fructicosa*. Le quatrième groupe composé de deux espèces seulement *Cornulaca monacantha* et *Cistanche tinctoria* caractéristiques du lac Merdjaja. Le cinquième groupe composé des espèces halo-gypsophiles (*Limoniastrum guyonianum*, *Zygophyllum album*, *Traganum nudatum* et *Salicornia fructicosa*).

### III-1-5- Indice de Shannon-Wievert (1949) « H' » et équitabilité de Pielou « E »

Dans l'ensemble, l'indice d'équitabilité de Pielou est relativement moyen à faible, ce qui stipule le déséquilibre entre les espèces c'est-à-dire la dominance d'une et/ou deux (des) espèces dans chaque station. Le lac Témacine et le chott Oum El-Ranneb présentent les indices d'équitabilité les plus grands donc ils sont les plus équilibrés par rapport aux autres stations (figure 24). Néanmoins, l'indice d'équitabilité pour le chott Sidi Slimane est le plus petit, ce qui suggère qu'il y a certainement une (des) espèce(s) dominante(s) dans le lac, à savoir *Juncus maritimus*.

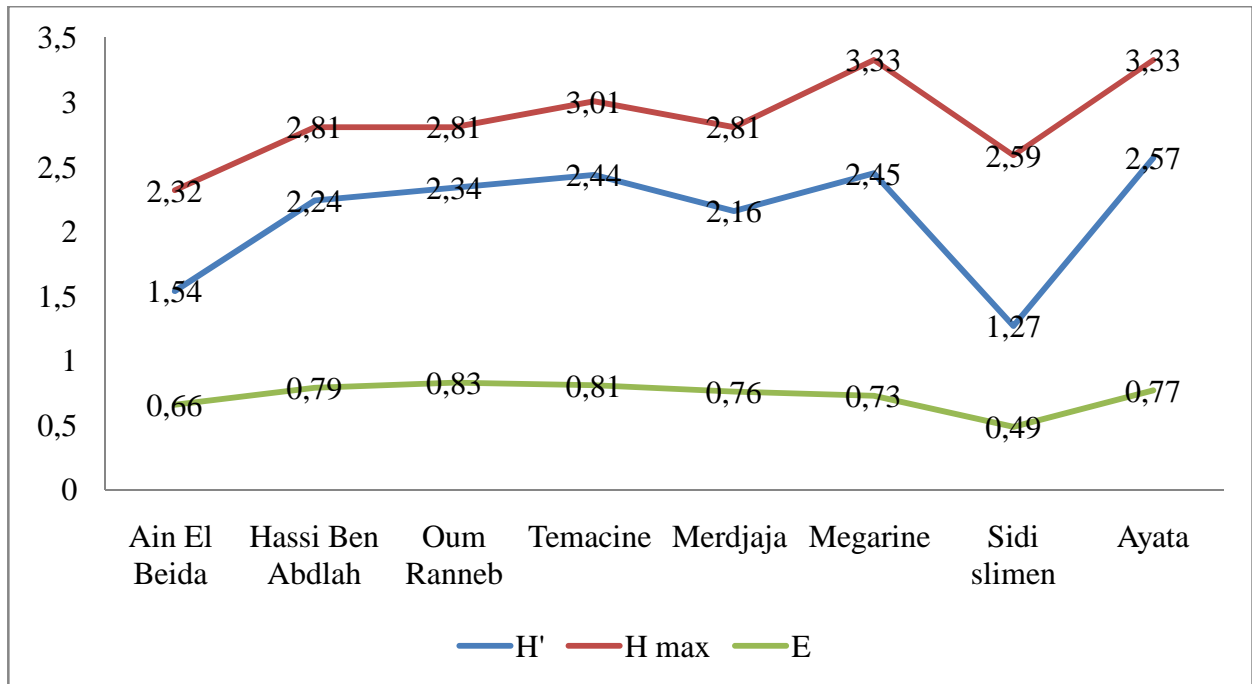


Figure 24 : Indice de Shanon-Wieverr et équitabilité des stations étudiées.

### III-1-5- Abondance dominance des espèces

#### Lac Merdjaja

L'échelle de l'abondance-dominance de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1951), appliquée aux différentes espèces constituant le lac Merdjaj montre que *Limoniastrum guyonianum* (figure 25), est classée à l'échelle **3** puisqu'elle représente à elle seule plus de 36 % du taux recouvrement et 62.5% de fréquence. Les espèces *Halocnemum strobilaceum*, *Zygophyllum album*, *Phragmites communis* et *Tamarix gallica* classées à l'échelle **2**. L'espèce *Cornulaca monacantha* est classée à l'échelle **1** avec un faible taux de recouvrement 1.46%. En dernier vient *Cistanche tinctoria* classée à l'échelle « **r** », puisqu'elle représente un très faible taux de recouvrement (<0.0001%).

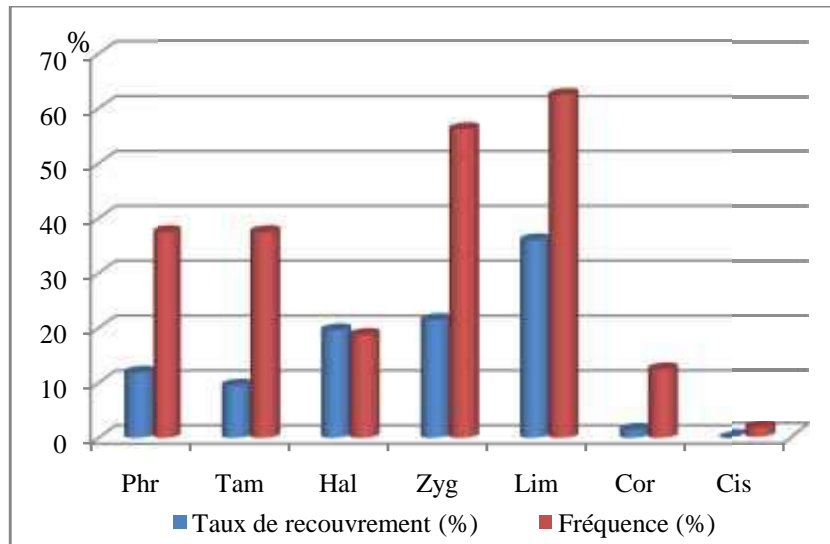


Figure 25: Recouvrements et fréquences du lac Merdjaja

### Lac Témacine

Pour le lac Témacine, le *Phragmites communis* présente un taux de recouvrement le plus élevé (plus de 29%) et une fréquence de 68.75%. Il est classé à l'échelle 3. Les autres espèces *Halocnemum strobilaceum*, *Phragmites communis*, *Tamarix gallica*, *Aeluropus littoralis* et *Suaeda fruticosa* classées à l'échelle 2. Le *Mallugo nudicaulis* et *Cynodon dactylon* classées à l'échelle 1 avec respectivement 1.69% et 4.15% de taux de recouvrement (figure 26).

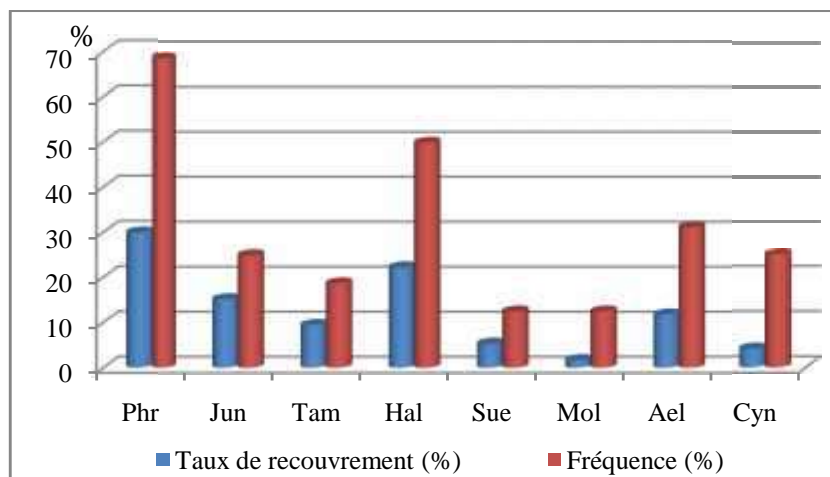


Figure 26: Recouvrements et fréquences du lac Témacine.

### Lac Mégarine

En ce qui concerne la zone humide de Mégarine, nous avons remarqué qu'elle est dominée par la présence de *Halocnemum strobilaceum*, avec un coefficient d'abondance-dominance classé à l'échelle 3 représentant ainsi plus de 36 % du taux de recouvrement (figure 27) suivi par les autres espèces classées à l'échelle 2 et 1.

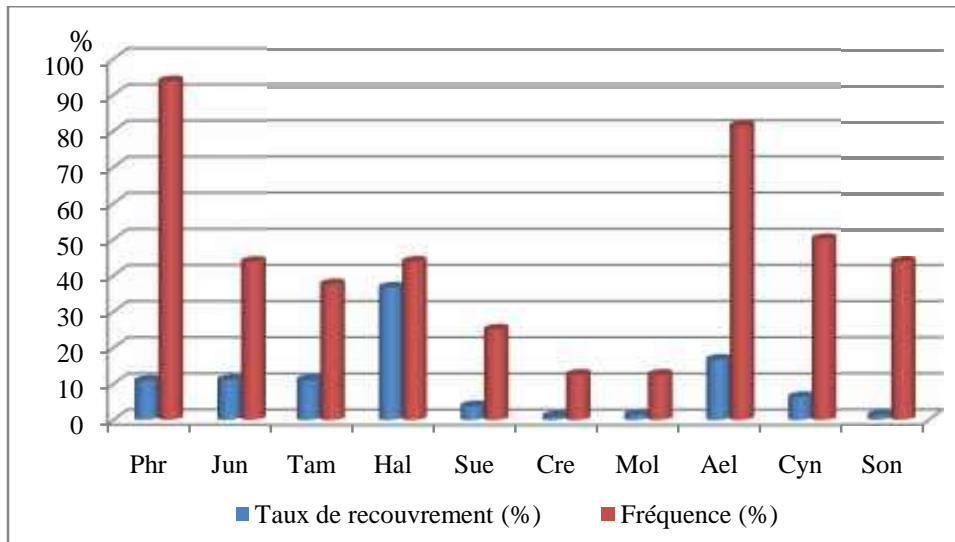


Figure 27: Recouvrements et fréquences du lac Mégarine.

### Chott Sidi Slimane

Le chott Sidi Slimane est dominé par la présence de *Juncus maritimus* avec un coefficient abondance-dominance classé à l'échelle 4, elle présente à elle seule un taux de recouvrement de plus de 68 % (figure 28). Le *Phragmites communis* et *Tamarix gallica* classés à l'échelle 2 présente respectivement 19.9% et 8.04% de taux de recouvrement. Les autres espèces sont classées à l'échelle 1.

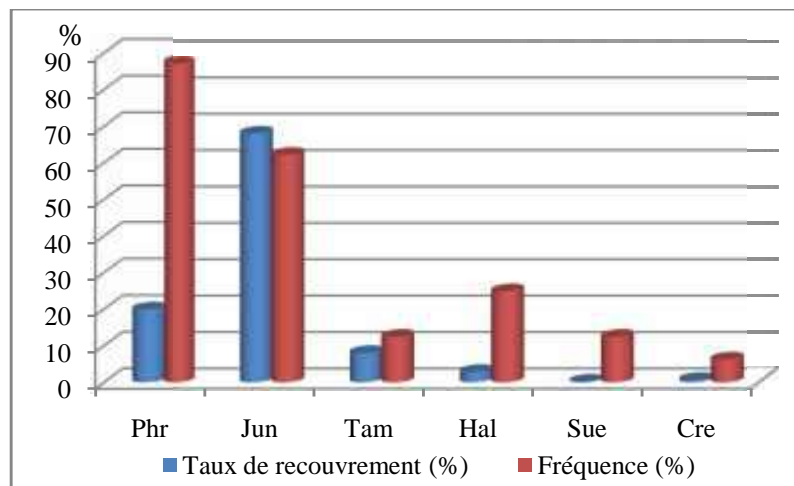


Figure 28: Recouvrements et fréquences du chott Sidi Slimane.

### Lac Ayata

L'échelle de l'abondance-dominance de Braun-Blanquet, appliquée aux différentes espèces constituant le lac Ayata montre que *Salicornia fruticosa* est la plus abondante avec plus de 39% de taux de recouvrement (figure 29), classée à l'échelle 3. Les espèces *Halocnemum strobilaceum*, *Arthrocnemum glaucum*, *Traganum nudatum*, *Phragmites*

*communis* et *Tamarix gallica* classées à l'échelle 2. Les autres espèces sont classées à l'échelle 1.

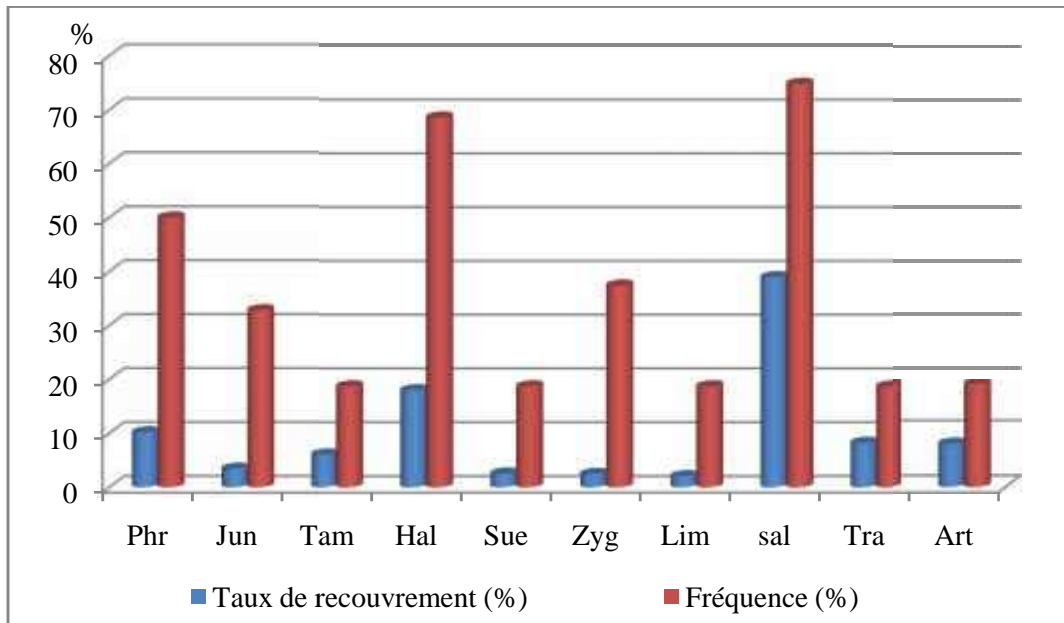


Figure 29: Recouvrements et fréquences du lac Ayata.

#### Chott d'Ain El Beida

L'échelle de l'abondance-dominance de Braun-Blanquet appliquée aux différentes espèces constituant le chott Ain El Beida montre que *Halocnemum strobilaceum* (figure 30), classée à l'échelle 4 et représentant à elle seule plus de 56.81 % du taux recouvrement et 87.5% de fréquence. L'espèce *Phragmites communis* classée à l'échelle 3. *Aeluropus littoralis* classée à l'échelle 2 vient ensuite. En dernier lieu viennent *Tamarix gallica* et *Juncus maritimus* classées à l'échelle 1.

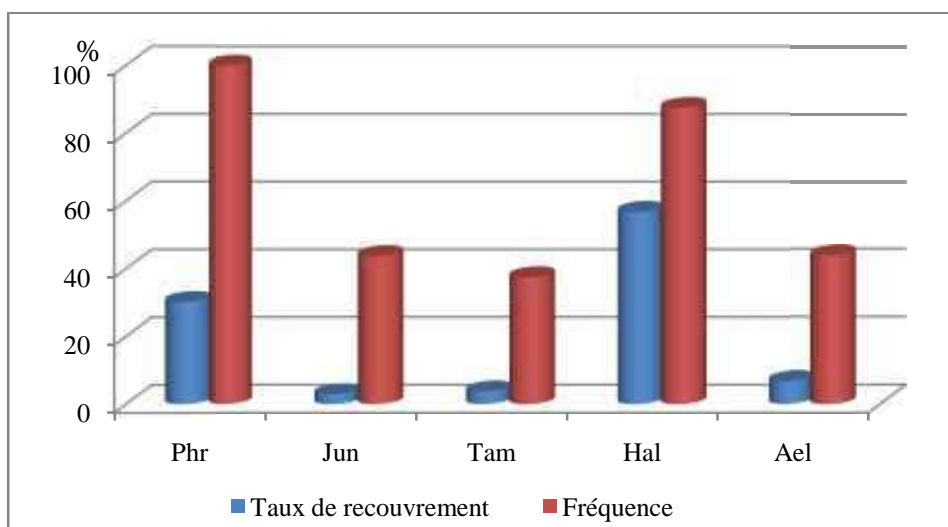


Figure 30 : Recouvrements et fréquences du chott d'Ain El Beida

**Chott d'Oum El-Ranneb**

Le chott Oum El-Ranneb (figure 31), est dominé par la présence de *Halocnemum strobilaceum*, avec un coefficient d'abondance dominance de 3. Elle représente un taux de recouvrement dépassant les 33 %. Les autres espèces *Juncus maritimus*, *Aeluropus littoralis*, *Phragmites communis*, *Tamarix gallica* et *Zygophyllum album* classées à l'échelle 2. Le *Mollugo nudicaulis* vient en dernier avec un très faible taux de recouvrement (0.65%) classée à l'échelle « + ».

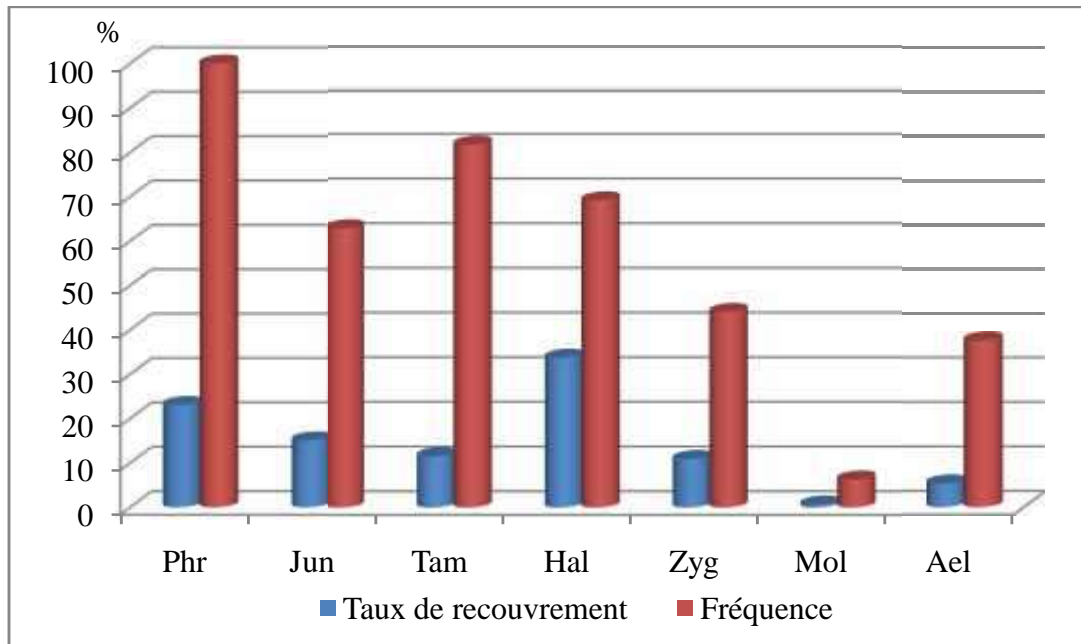


Figure 31 : Recouvrements et fréquences du chott Oum El-Ranneb.

**Lac Hassi Ben Abdallah**

Le lac Hassi Ben Abdallah dominé par la présence de *Sonchus maritimus* et *Juncus maritimus* classées à l'échelle 3 avec des taux de recouvrement de 35% et 27%, respectivement. Les autres espèces classées à l'échelle 1 et 2 avec des taux de recouvrement ne dépassant pas 20% (figure 32).

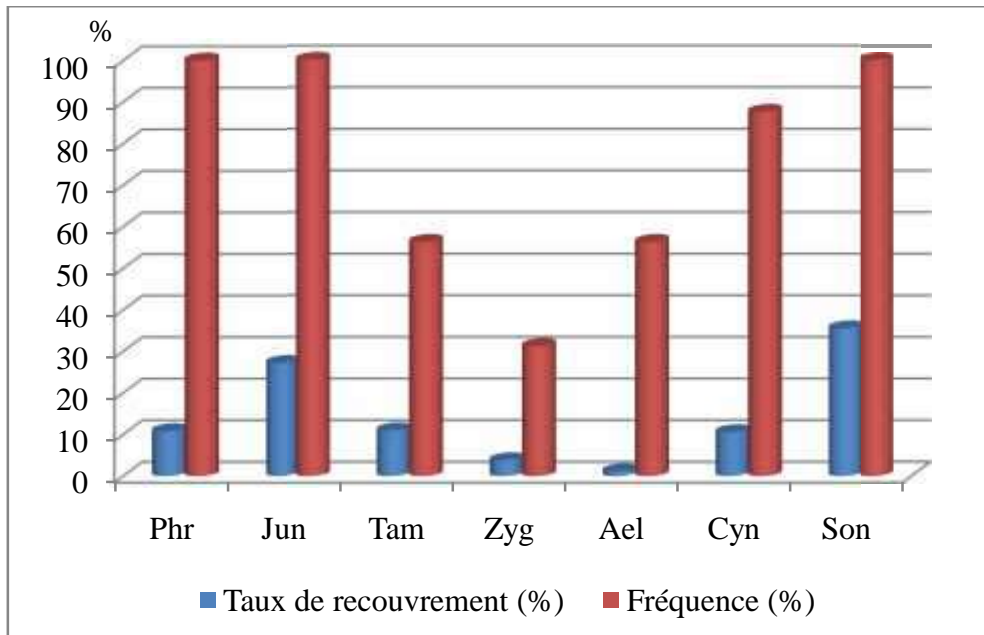


Figure 32: Recouvrements et fréquences du lac Hassi Ben Abdallah.

### Discussion générale

L'inventaire floristique comporte 17 espèces végétales (16 espèces vivaces et 01 espèce éphémère) appartenant à 10 familles botaniques différentes de plantes vasculaires (phanérogames) réparties de 05 à 10 espèces suivant les zones humides étudiées. Les deux lacs Ayata et Mégarine sont les plus riches avec dix espèces. Cet inventaire reflète une diversité très pauvre qui est déjà connue pour les régions arides. La famille des Amaranthacées regroupe le nombre le plus élevé d'espèces avec six plantes différentes ce qui dénote la capacité de ces espèces à résister à la salinité et à la sécheresse qui règne dans les milieux humides salés à climat hyperaride. Ces espèces présentent, par ailleurs, des recouvrements importants dans ces milieux. En outre l'abondance des espèces Amaranthacées dans les alentours des lacs justifie également la dominance des Chaméphytes sur les autres types biologiques.

La majorité des espèces inventoriées dans les cinq stations sont soit des espèces à affinité halophytique (*Arthrocnemum glaucum*, *Halocnemum strobilaceum*, *Salicornia fruticosa*, *Suaeda fruticosa*); soit des plantes hydrophytes représentées notamment par des espèces caractéristiques telles *Phragmites communis*, *Juncus maritimus* et *Tamarix gallica*. La présence de ces deux catégories d'espèces est un bon indicateur des habitats humides salés. La présence des halo-gypsophiles (*Zygophyllum album* et *Limoniastrum guyonianum*) indique l'hétérogénéité des sols des lacs Merdjaja et Ayata.

Les zones humides étudiées présentent une richesse floristique très pauvre. Cette rareté floristique est directement liée aux conditions édaphiques et climatiques contraignantes à la survie des plantes dans la région.

L'étude quantitative, montre que densité et recouvrement varient dans l'espace et dans le temps, dans le sens où il y a des relations entre la densité et le recouvrement des espèces à travers les saisons.

La composition spécifique de la flore terrestre rencontrée dans les zones humides de Ouargla et de la région de l'Oued Righ est hétérogène; elle change d'une zone à l'autre, voire dans le même habitat au cours de l'année.



### **III-2- Etude édaphique (sol)**

Le climat avec ses caractéristiques exerce une action sur la formation des sols du Sahara algérien.

Ces sols présentent une grande hétérogénéité et diffèrent entre eux par leur texture, leur morphologie, leur mode d'évolution pédo-génétique et par leur niveau et mode de salinisation (Halitim, 1988).

La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible (inférieure à 1%) et ne permet pas une bonne agrégation. Ces sols squelettiques sont très peu fertiles car leur rétention en eau est très faible, environ 8% en volume d'eau disponible, en plus d'autres facteurs qui interviennent dans ce phénomène (Daoud et Halitim, 1994).

#### **III-2-1- Granulométrie**

Les résultats d'analyses granulométriques (figure 33) des sols des zones humides étudiées montrent qu'elles sont caractérisées par des sols à prédominance de la texture sableuse, riche en fractions sableuses fines qui peuvent dépasser les 70% (sols de lac Mègarine). En effet, dans la région de l'Oued Righ, les chotts représentent les zones les plus basses de la vallée et jouent le rôle de cuvettes de décantation. Les sols de ces dépressions sont de texture grossière, à dominance sableuse mais pouvant comporter de fines particules plus limoneuses (CDARS, 1998). Selon Khadraoui (2007), la texture des sols dans la vallée est très grossière et la teneur en sable fin et grossier peut dépasser les 90%.

Les sols des chotts d'Ain El Beida et Oum El-Ranneb sont caractérisés par des teneurs de fractions fines (limon + argile) supérieures à 20%. Hamdi-Aissa (2001) a indiqué que sur les sols de la dépression, la masse basale argileuse présente un aspect poussiéreux. Elle est constituée d'un mélange de micrite détritique et de quelques paillettes de micas. Rouvilois-Brigole (1975) a noté que la région de Ouargla est caractérisée par des sols légers à prédominance sablonneuse et à structure particulière.

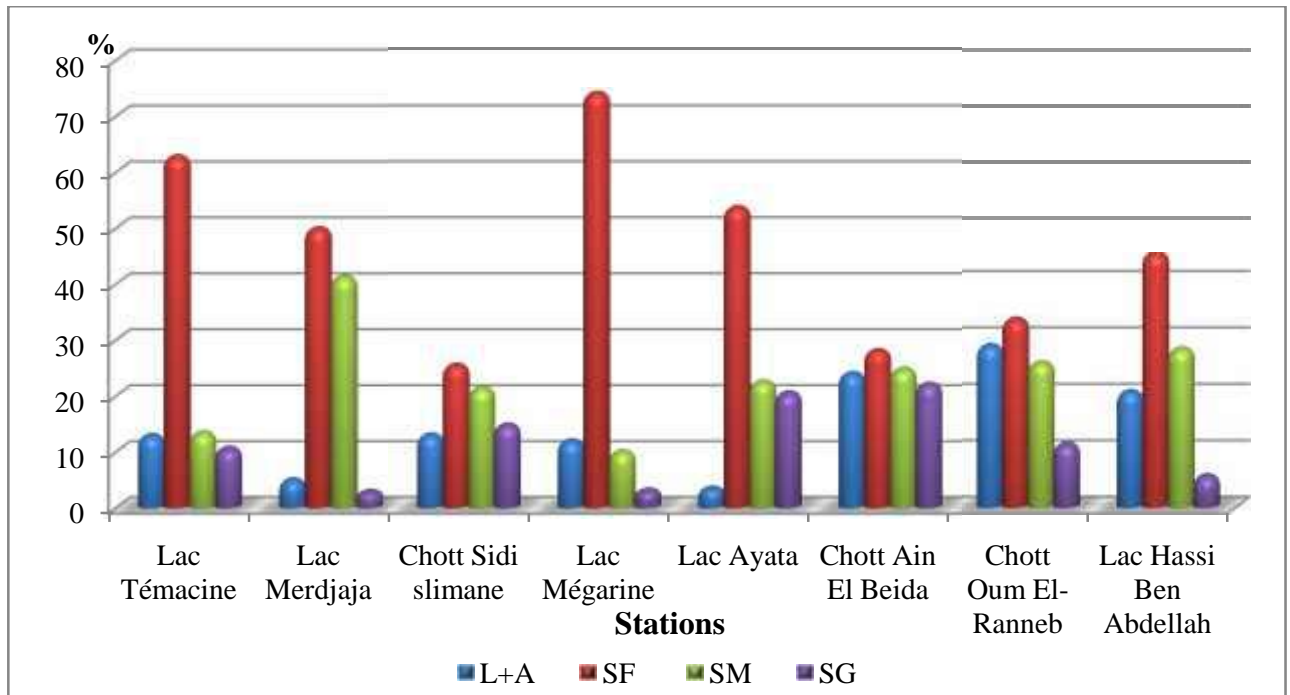


Figure 33: Granulométrie des sols des stations étudiées (L+A : limon + argile, SF : sable fin, SM : sable moyen, SG : sable grossier)

### III-2-2- La salinité du sol

La salinité est l'un des facteurs physique dominant, structurant les écosystèmes terrestres et aquatiques, avec surabondance ou manque de sels créant un stress physiologique (Pitman et Lauchli, 2002). Certains organismes ont développé des mécanismes adaptatifs pour faire face aux stress qui peuvent affecter les modèles de végétation successoraux, les interactions compétitives, la diversité et la distribution des espèces (Bertness et Hacker, 1994).

La salinité de n'importe que l'environnement données commandée par des processus physiques et biologiques et varie sur des échelles spatiotemporelles (Pitman et Lauchli, 2002).

Les résultats d'analyses des sols des zones humides étudiées montrent qu'ils sont caractérisés par une conductivité électrique supérieure à 4dS/m (figure 34). Ces sols sont classés comme des sols très salés (lac Merdjaja et lac Hassi Ben Abdallah) à extrêmement salés (pour le reste des autres zones humides). Nos résultats sont similaires à ceux de Youcefi (2011) qui a indiqué que le sol du chott Ain El Beida est extrêmement salé et le sol du lac Hassi Ben Abdallah est très salé. L'analyse de variance montre une différence très hautement significative entre les sols des stations ( $P < 0,0001$ ).

Cette salinisation provient de l'altération d'une roche mère salée ou de la présence d'une nappe d'eau de surface dans les parties inférieures du chott et sebkha induite à la salinisation très intense, ce qui entraîne la formation de saumures et croûtes de sel (Hamdi-Aissa, 2004).

La variabilité de la salinité des sols entre les stations est fonction des caractéristiques hydro-pédologiques et géomorphologiques par rapport aux axes naturels d'écoulement et de concentration des eaux (Zidi et Hachicha, 1997). Le caractère de la salinité des sols peut varier d'une façon quantitative et qualitative surtout en présence d'un plan d'eau en relation étroite avec la dynamique des nappes saumâtres imposées par les conditions géomorphologiques et climatiques de la région (Khadraoui, 2007).

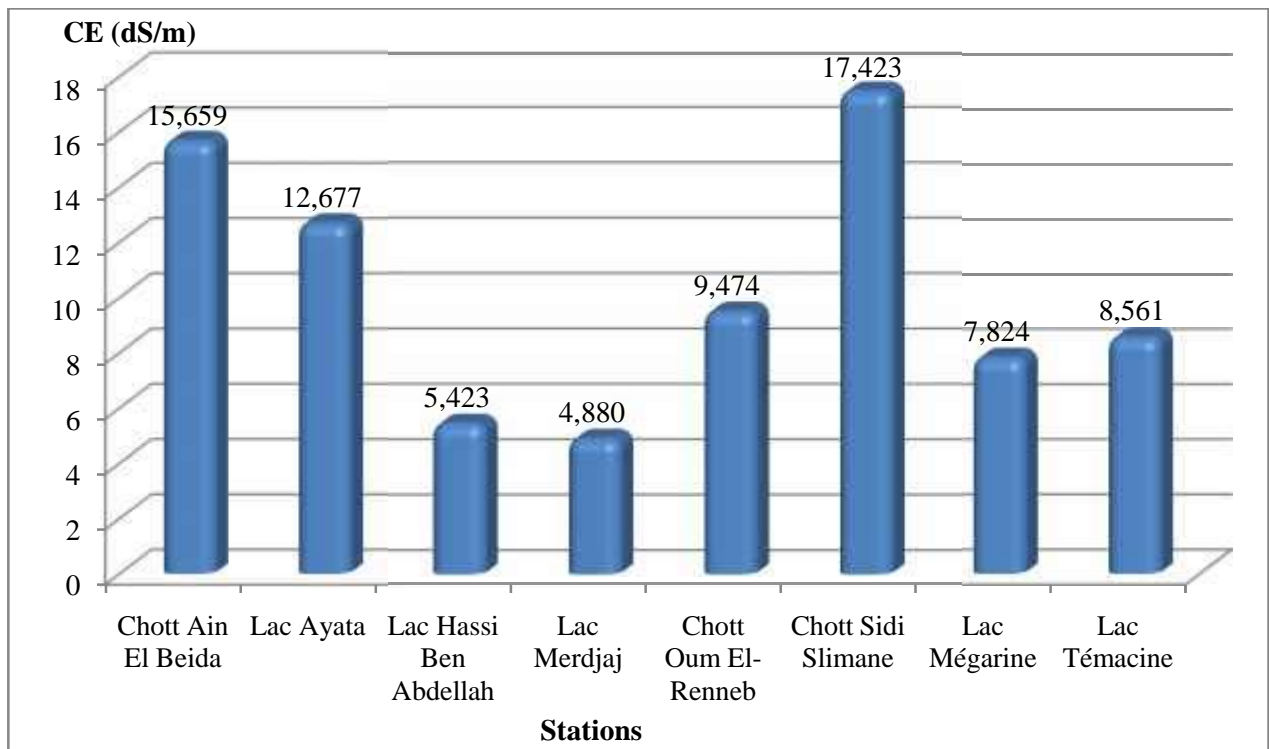


Figure 34 : Salinité moyenne des sols des zones humides étudiées

Concernant l'évolution temporelle de la salinité qui paraît très hautement significative ( $P < 0,0001$ ). Les résultats de la CE (figure 35) montrent qu'elle a diminué en hiver sous l'effet de la remontée de la nappe phréatique ensuite elle augmente au printemps et en été par la précipitation des sels solubles sous l'effet des fortes évaporations (2600 mm/an en moyenne). Les paramètres « nappe-sol-salinité-évaporation » sont intimement liés et le plus souvent la courbe linéaire de la salinité dans un graphique est inversement proportionnelle au plan d'eau (niveau hydrostatique de la nappe phréatique) ; lorsque le niveau de la nappe

décroit (drainage naturel) la salinité de l'eau et du sol augmentent principalement en surface (concentration). Par contre, lorsque le niveau d'eau augmente vers la surface du sol la salinité des eaux et des sols diminuent (Khadraoui, 2007).

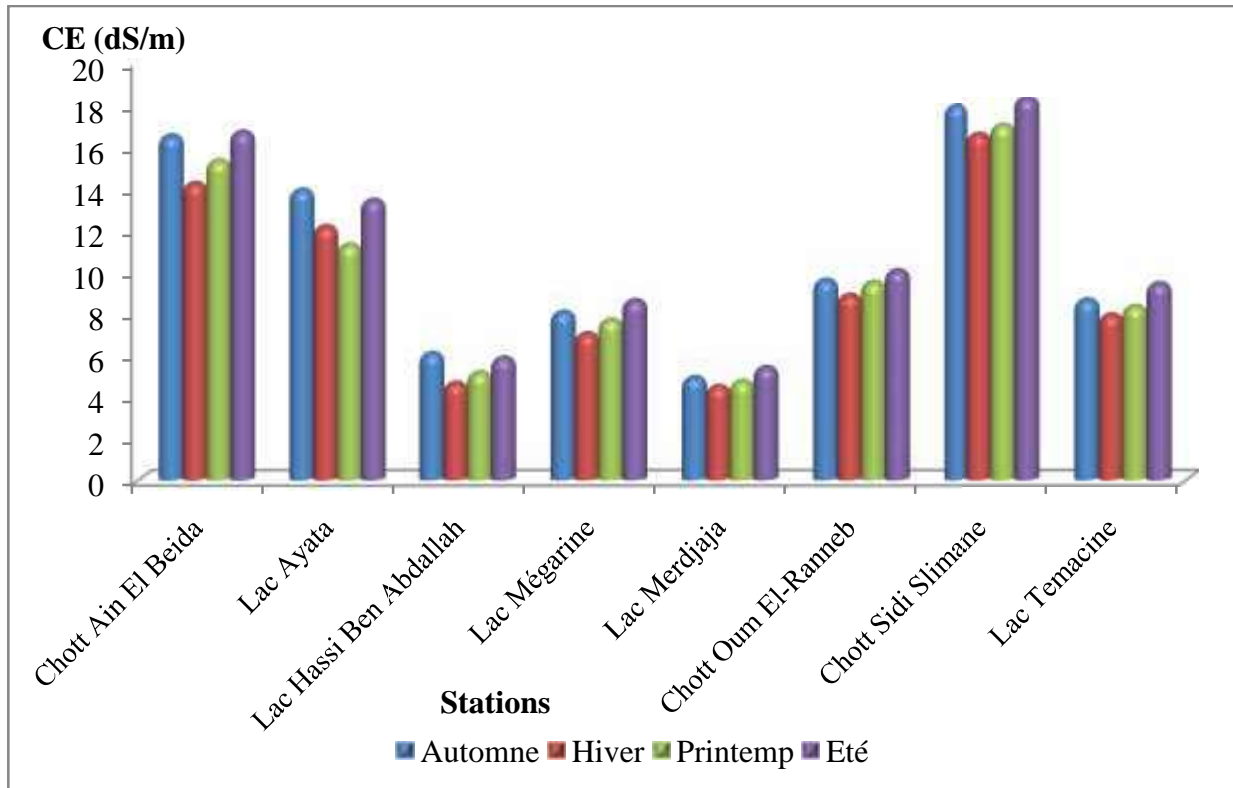


Figure 35 : Variations saisonnières de la salinité des sols des zones humides étudiées.

Les résultats d'analyses de la CE ont permis de suivre les fourchettes de variations de la salinité des sols au niveau de la couche 0-30 cm, entre les transects et le long des transects échantillonnés. Les résultats obtenus sont représentés graphiquement dans la figure 36.

Les résultats présentés dans la figure (37) montrent que la salinité des sols varie d'un transect à l'autre dans la même station. Au niveau de la station de chott Ain El Beida, le deuxième transect, au Sud de chott, présente les sols les plus salés (extrêmement salés) par rapport aux autres transects. On note une diminution de la salinité du sol en allant vers le Nord. Ainsi dans le lac Ayata, nous remarquons la diminution de la salinité du sol du Sud au Nord alors que dans le chott Sidi Slimane les sols les plus salés se localisent du côté Ouest. Ils sont caractérisés par la dominance de *Halocnemum strobilaceum*. Par contre les sols les plus salés présentent au côté Est (transect N°02) dans le lac Hassi Ben Abdallah. Les lacs Mégarine, Merdjaja et Témacine se caractérisent par une salinisation du sol qui diminue du Sud vers le Nord due à la présence d'une croute gypseuse au sud des lacs en favorisant l'accumulation des sels dans le sol. Les sols de chott Oum El-Ranneb se caractérisent par une

forte salinité au milieu et au Nord du chott. Cette forte salinité est expliquée par la présence de drain d'évacuation des eaux de drainage et des eaux usées au voisinage de ce transect.

En effet, la teneur en sels solubles des différents horizons d'un sol salé, est très variable d'un sol à l'autre, et, pour un même sol, d'une saison à l'autre. Cependant ces variations sont dues à un certain nombre de facteurs, climatiques, topographiques, biotiques, tels que les caractéristiques des sols et des sels, la présence ou absence d'une nappe phréatique salée etc ...(Aubert, 1976).

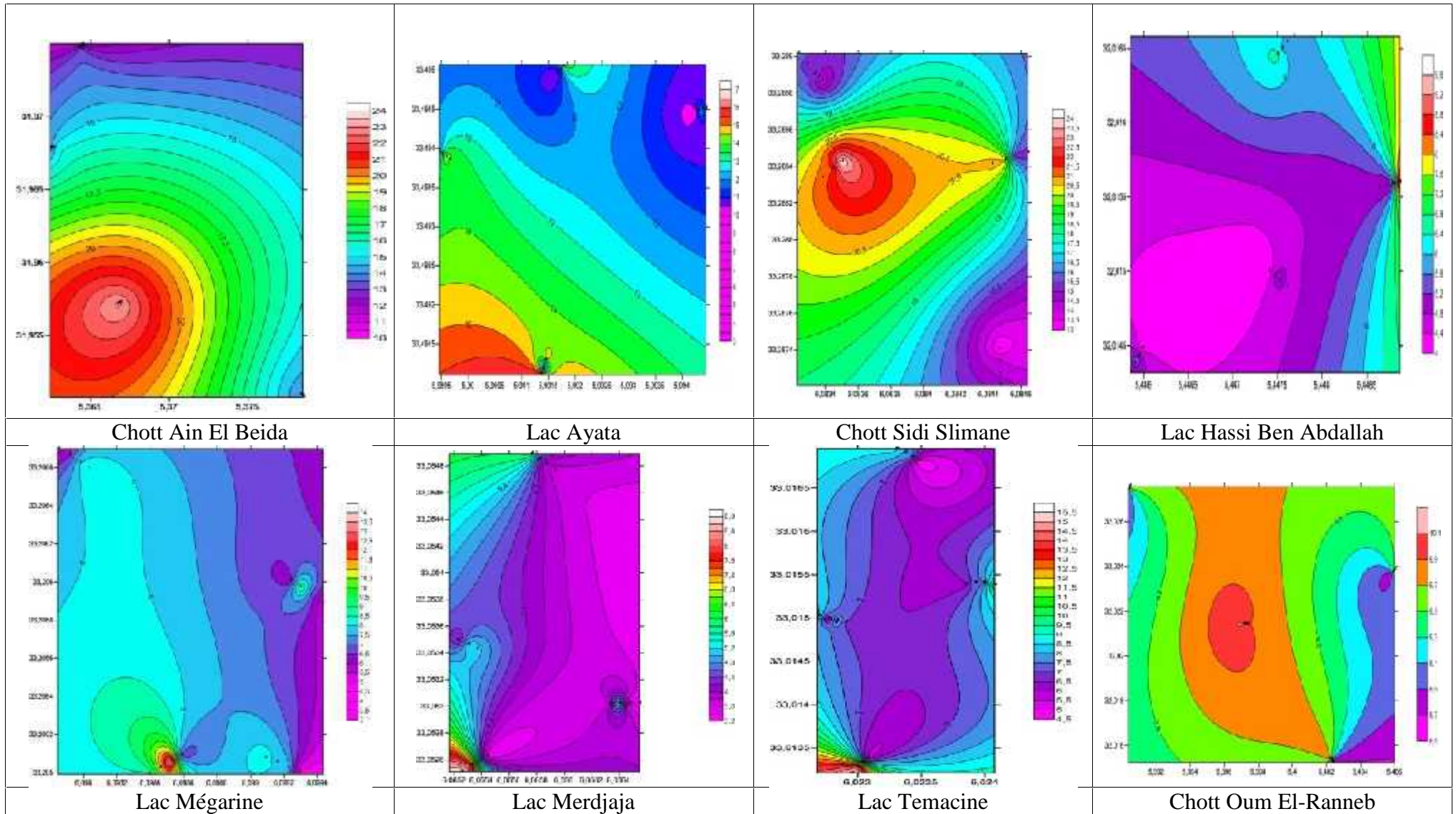


Figure 36 : Cartes de variations de la salinité des sols le long des transects échantillonnés.

Les résultats d'analyses des sols prélevés montrent une variabilité très hautement significative des conditions d'halomorphie le long des transects échantillonnés ( $P < 0,0001$ ).

Nous remarquons que pour les premières placettes, distantes de 5 à 10m du plan d'eau, la salinité du sol prend une allure descendante (figure 37). Cela peut se traduire par la diminution de degré d'inondation (du fait que la nappe est salée). Par la suite, entre 10 à 15m du plan d'eau la salinité du sol augmente dans les transects 1, 2 et 3 du chott Ain El Beida. Au-delà de 15m, la salinité du sol décroît sous l'effet de la diminution de l'humidité.

Les résultats d'analyses des sols prélevés aux rivages du lac Hassi Ben Abdallah (figure 37) montrent une variabilité de la salinité du sol le long des quatre transects échantillonnés. Nous remarquons une légère variation au niveau des transects 1, 3 et 4 (la CE varie entre 4 et 6 dS/m) le sol reste toujours dans la classe des sols très salé. Cela peut se traduire par la faible salure de la nappe phréatique à cette zone, qui selon Youcefi (2011) elle atteint 8,98g/l. A partir de 15m, dans le transect 2, la salinité augmente et rend le sol extrêmement salé. Ceci est dû à la diminution du couvert végétal, amplifiant l'évaporation et l'accumulation des sels.

Les résultats présentés dans la figure 37 montrent que la salinité des sols du chott Oum El-Ranneb est variable entre et le long des transects ; pour les transects 1 et 4, la salinité diminue légèrement tout en s'éloignant du centre de la sebkha, proportionnellement au niveau de la nappe phréatique. En ce qui concerne les transects 2 et 3, nous remarquons une faible augmentation de la salinité du sol le long des transects qui est peut-être dû au couvert végétal qui influe sur l'intensité d'évaporation.

Les résultats obtenus (figure 37) montrent une allure descendante de la salinité du sol dans le premier et le troisième transect du chott Sidi Slimane. Cela peut être expliqué par la diminution du niveau des eaux phréatiques tout en s'éloignant du plan d'eau. Par contre nous remarquons une légère augmentation de la salinité dans le deuxième et le quatrième transect, qui peut être due à la variation du recouvrement de la végétation et/ou à la microtopographie de ses côtés.

Les résultats d'analyses de sol de lac Ayata (figure 37) indiquent un accroissement de la salinité au niveau du premier et le quatrième transects mais elle diminue par la suite à partir de 15m du plan d'eau dans le premier transect. Dans le deuxième transect, la salinité du sol décroît au niveau de la placette de 10m ensuite elle augmente dans les

placettes suivantes. Par contre, dans le troisième transect, la salinité augmente aux premières placettes distantes de 5 à 10m, par la suite elle prend un aspect descendant.

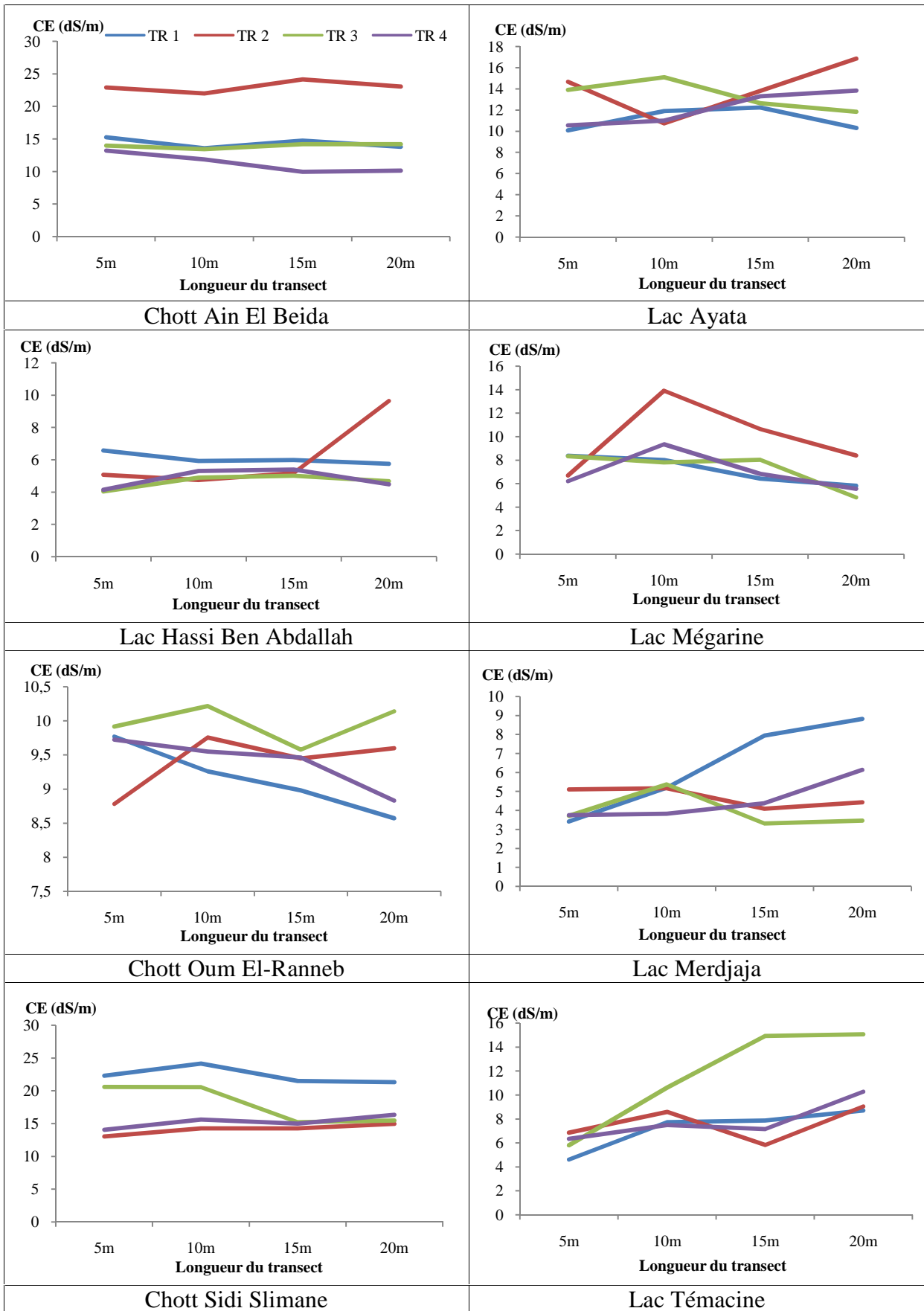
Les résultats d'analyses des sols du lac Mégarine (figure 37) montrent d'une manière générale que la salinité du sol décroît tout en s'éloignant du plan d'eau. Cela se traduit par la diminution du niveau de la nappe phréatique en conséquence de la pente qui caractérise les rives de ce lac.

Le sol prélevé des rives du lac Merjaja se caractérise par une salinité ascendante le long du premier et le quatrième transect (figure 37). Ceci peut être expliqué par la présence de la croute gypseuse dans ces transects et qui accentue l'accumulation des sels solubles dans le sol. Dans les deux autres transects 2 et 3, la salinité du sol diminue légèrement vers les dernières placettes suivant le niveau des eaux phréatiques, qui ressemble à celle remarquée au Chott Oum El-Ranneb.

Dans le lac Témacine, la salinité du sol augmente tout en s'éloignant du plan d'eau. Ceci peut être expliqué par la diminution ou l'absence du couvert végétal aux dernières placettes ce qui accentue l'intensité d'évaporation et par conséquent l'accumulation des sels dans le sol.

D'une manière générale, la salinité du sol des stations étudiées varie en fonction du niveau et de la qualité des eaux phréatiques, de la topographie des alentours des plans d'eaux ou sebkhas, et du couvert végétal. En effet, selon Khadraoui (2007), le caractère de la salinité des sols peut varier d'une façon quantitative et qualitative surtout en présence d'un plan d'eau en relation étroite avec la dynamique des nappes saumâtres imposées par les conditions géomorphologiques et climatiques de la région.





### III-2-3- L'humidité du sol

L'eau joue un rôle considérable; elle est d'abord un facteur fondamental de la genèse du sol et de son évolution. Elle est considérée comme un vecteur des éléments nutritifs et un produit indispensable à la vie des plantes.

Les résultats d'humidité des sols des zones étudiées montrent qu'ils sont humides avec un taux supérieur à 14% (figure 38). Les sols du chott Ain El Beida et du chott Sidi Slimane sont les plus humides ( $H > 24\%$ ). Ensuite vient le sol du lac Mégarine avec un taux d'humidité de 20%. Le taux d'humidité des sols du chott Oum El-Ranneb et du lac Hassi Ben Abdallah est de l'ordre de 18%. En dernier, viennent les sols des lacs Témacine, Merdjaja et Ayata avec des taux d'humidité entre 14 et 16%. La différence très hautement significative d'humidité ( $P < 0,0001$ ) entre les stations peut être expliquée par la variation de la texture et la structures des sols, la présence d'une croute gypseuse qui bloque l'infiltration des eaux et le niveau des eaux phréatiques.

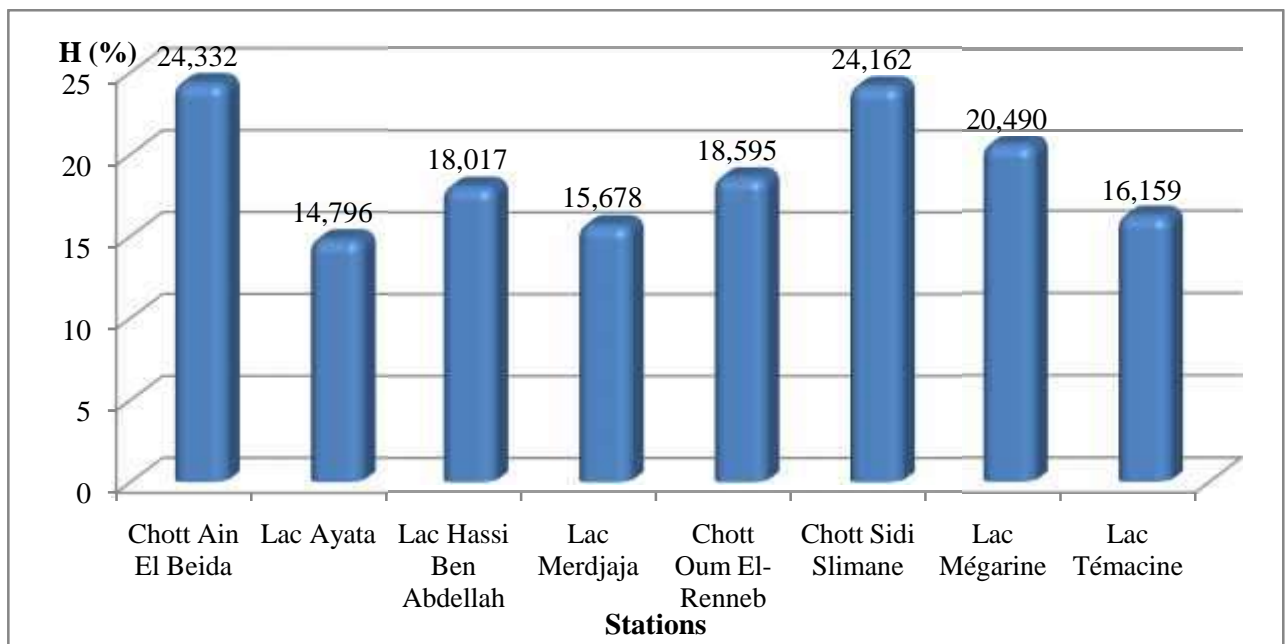


Figure 38 : Humidité moyenne des sols des zones humides étudiées.

Les résultats obtenus (figure 39) montrent une variation saisonnière de l'humidité des sols. Il apparaît qu'elle augmente en hiver et elle diminue ensuite au printemps et en été dans toutes les stations. L'analyse de variance montre que cette variation est très hautement significative ( $P < 0,0001$ ). Cette variation est liée directement aux eaux de drainage et à la fluctuation de la nappe phréatique qui monte à la surface du sol en hiver et descend à la profondeur en été. Durant les périodes de chaleur, les surfaces de la sebka inondées en hiver s'assèchent ou se réduisent considérablement sous l'effet de l'évaporation (Gautier, 1953).

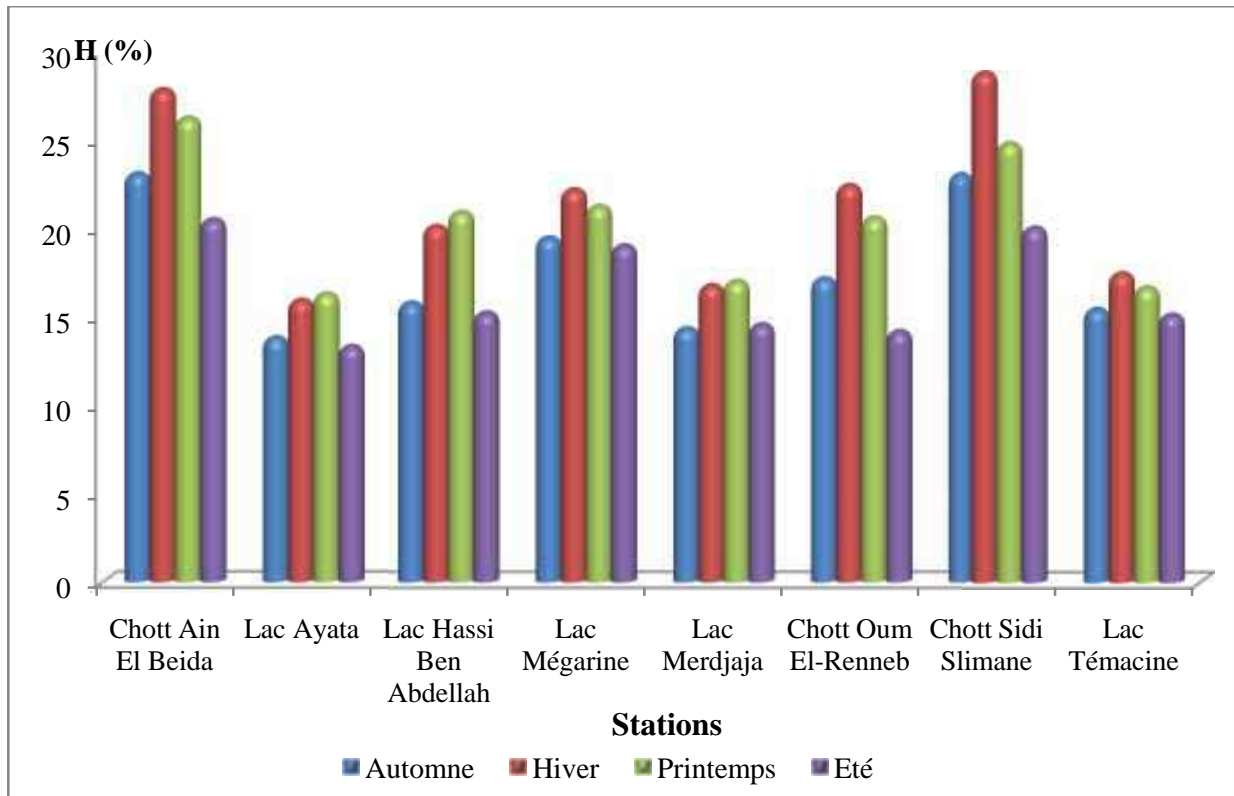


Figure 39 : Variations saisonnières d’humidité du sol des zones humides étudiées.

Les résultats d’analyses des sols (figures 40) montrent une variabilité très hautement significative ( $P < 0,0001$ ) de l’hydro-morphie entre et le long des transects échantillonnés.

Les résultats obtenus (figures 40 et 41) montrent que, dans la même station, l’humidité des sols varie d’un transect à l’autre. Au niveau de la station de chott Ain El Beida, le deuxième transect, au Sud de chott, présente les sols les plus humides (extrêmement salés) par rapport aux autres transects. On note une diminution d’humidité du sol en allant vers le Nord. Dans le lac Ayata, nous remarquons la diminution d’humidité du sol au Sud du plan d’eau (deuxième transects) et au Nord-Est du plan d’eau (le premier transect) alors que dans le lac Hassi Ben Abdallah le sol devient moins humide en allant vers l’Est (deuxième et troisième transect). En ce qui concerne les autres stations (Mégarine, Merdjaja, Témacine, Sidi Slimane et Oum El-Ranneb) l’humidité du sol diminue tout en s’éloignant du plan d’eau. Ceci est lié aux niveaux de la nappe phréatique.

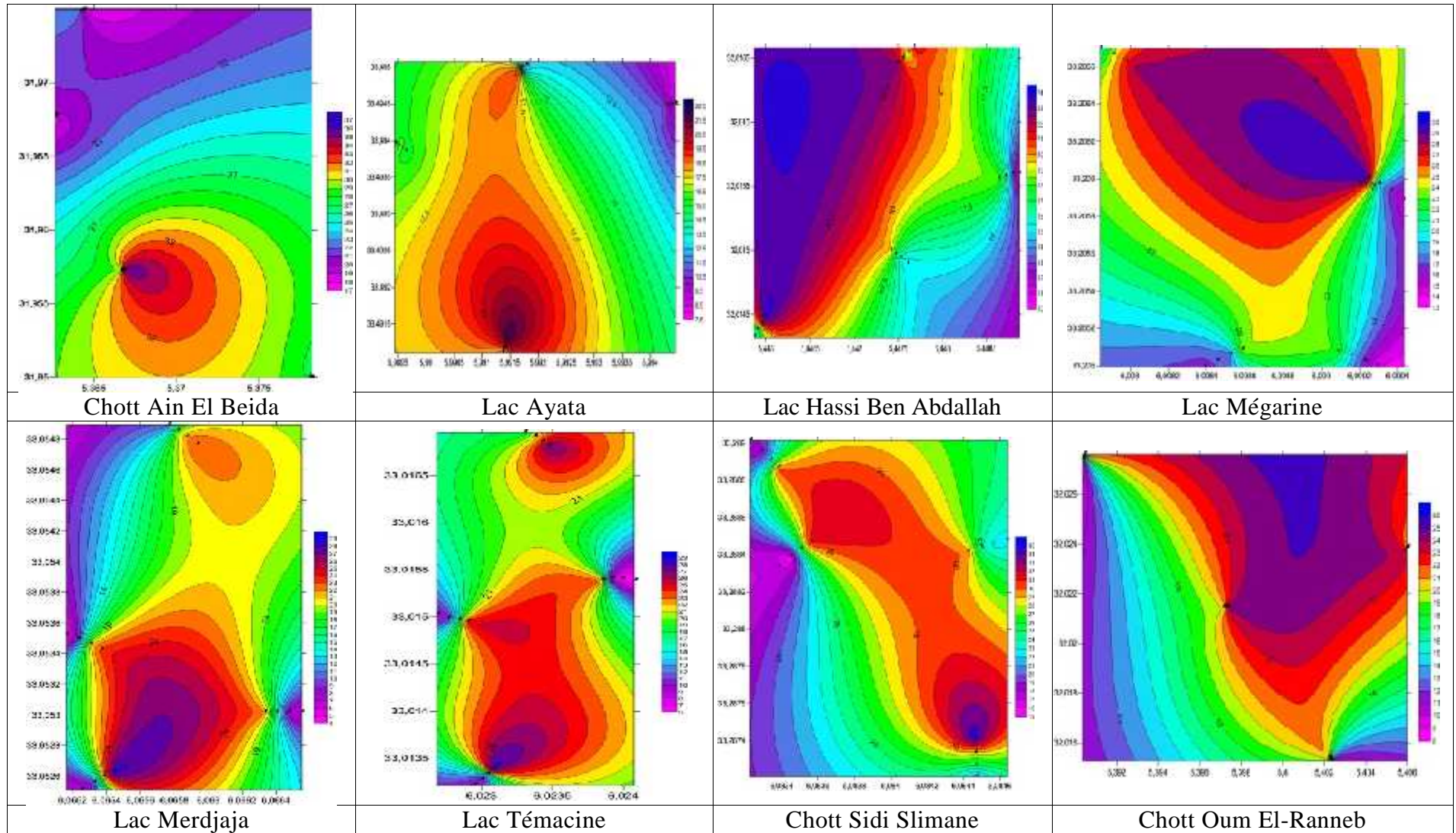


Figure 40 : Cartes de variations d'humidité des sols le long des transects échantillonnés.

Les résultats d'analyses des sols prélevés montrent une variabilité hydro-morphique le long des transects échantillonnés.

Nous remarquons (figure 41) que l'humidité du sol dans toutes les stations prend une allure descendante tout en s'éloignant du centre de la sebkha ou du lac, proportionnellement à la variation du niveau de la nappe phréatique. La diminution d'humidité est plus ou moins considérable dans les lacs (Sidi Slimane, Merdjaja et Témacine). Ceci peut être expliqué par la morphologie des rives de ces lacs avec une pente considérable par rapport aux autres zones humides. La variation de l'humidité peut être due aussi à la diminution de couvert végétal accentuant l'évaporation surtout à la surface du sol.

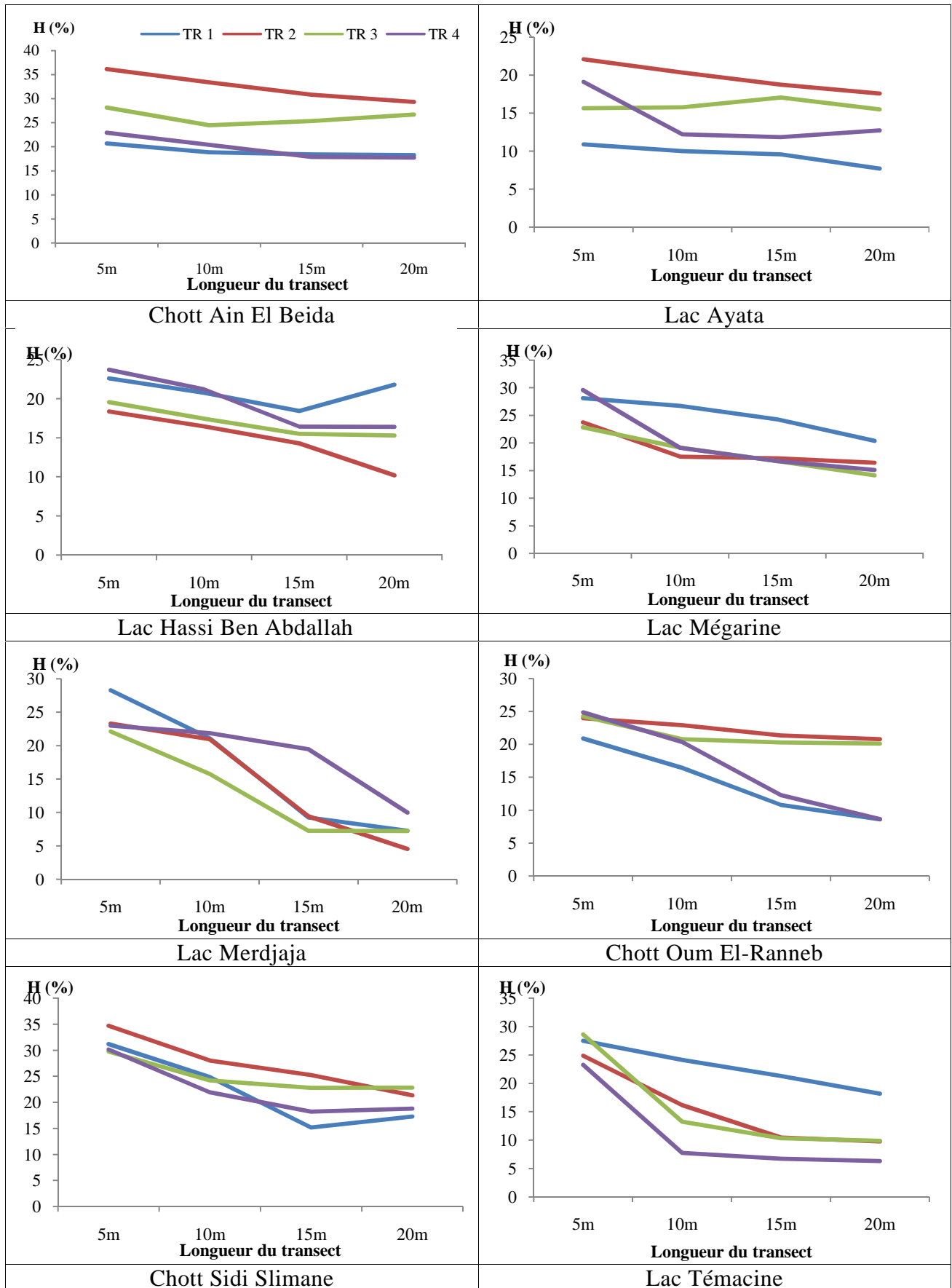


Figure 41 : Variations de l'humidité des sols le long des transects échantillonnés.

### III-2-4- Le pH

Dans les régions arides, les sols sont généralement alcalins ( $7,5 < \text{pH} < 8,5$ ) (Daoud et Halitim, 1994). Les sols halomorphes ont un pH supérieur à 7. Il augmente en corrélation avec le rapport  $\text{Na}^+ / \text{C.E.C.}$  (Duchaufour, 1977).

Dans les sols salins, quand ils sont prédominés dans leur milieu par des acides forts et des bases fortes (sulfates, chlorures, nitrates de calcium, magnésium et sodium), le pH reste inférieur à 8.5 et le sol modérément alcalin. Par contre, quand les sels de base faible (carbonates) sont présents, le pH s'élève au-dessus de 8.5 jusqu'à 10 (Duchaufour, 1977).

Les analyses de sols des zones humides étudiées montrent que selon l'échelle de Morand (2001), elles sont caractérisées par des sols neutres à alcalins avec un pH variant de 7.08 à 7.66 (figure 42). La différence entre les stations est très hautement significative ( $P < 0.0001$ ). En effet, selon Khadraoui (2007), les sols halomorphes de la région de l'Oued Righ ont un pH souvent alcalin, résultant surtout d'une importante teneur en gypse.

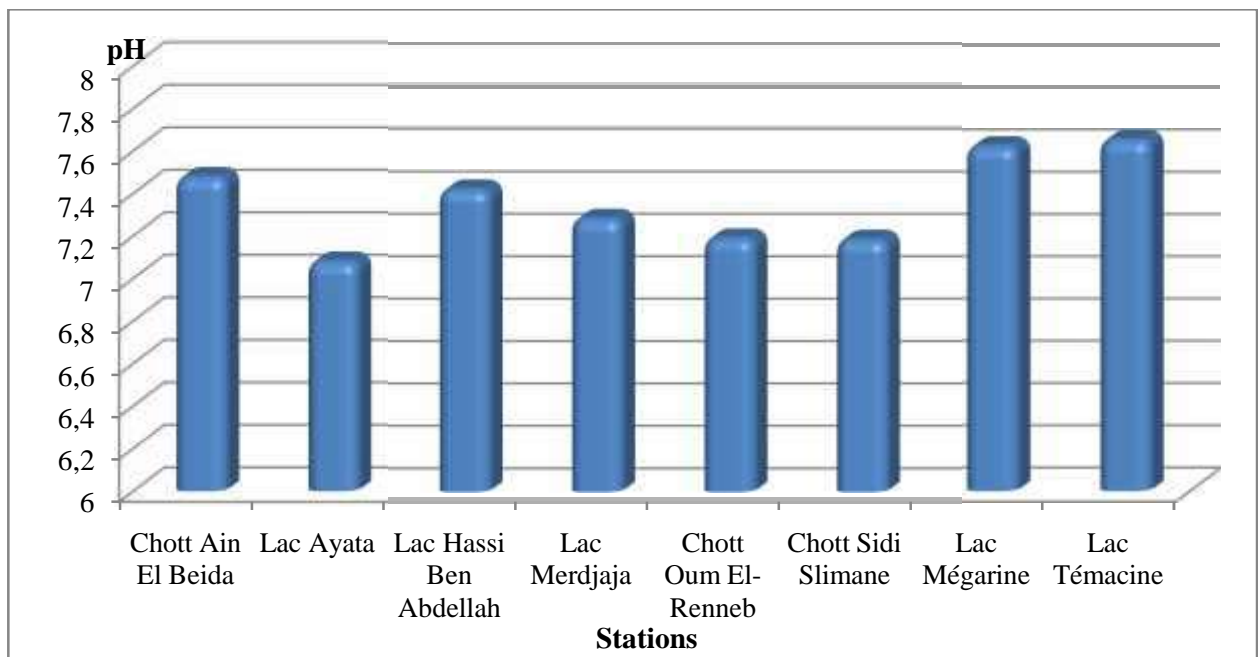


Figure 42 : pH moyen des sols des zones humides étudiées.

La variation saisonnière du pH des sols est très hautement significative ( $p=0.0001$ ) (figure 43). Il paraît que le pH diminue en hiver dans la plus part des stations, ensuite il augmente au printemps et en été dans toutes les stations. Cette variation est liée directement à la réaction de la solution du sol qui est influencée aussi bien par la faune que par sa couverture végétale.

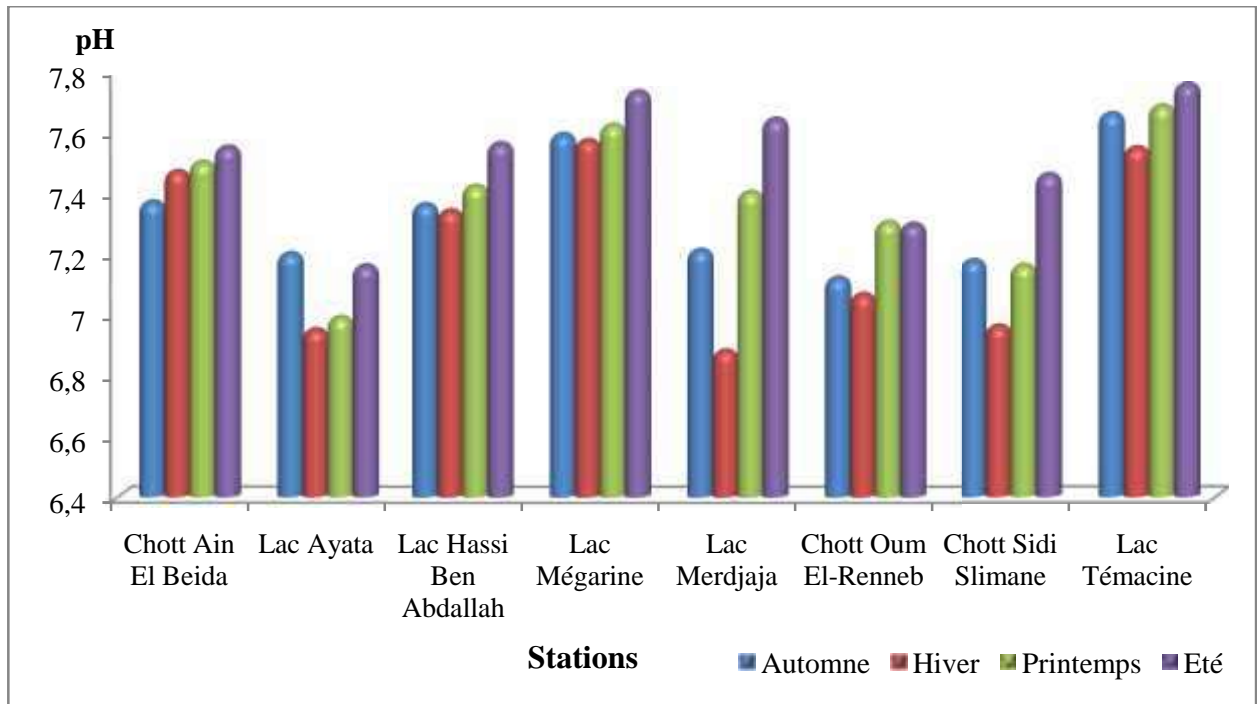


Figure 43 : Variations saisonnières du pH des sols des zones humides étudiées.

Le pH du sol entre les transects de chaque station est variable (figure 44). D'une manière générale, il apparaît que le pH a une tendance à augmenter légèrement tout en s'éloignant du plan d'eau sans le rendre alcalin. Cette variation est due au type des sels solubles et à l'activité microbienne du sol.



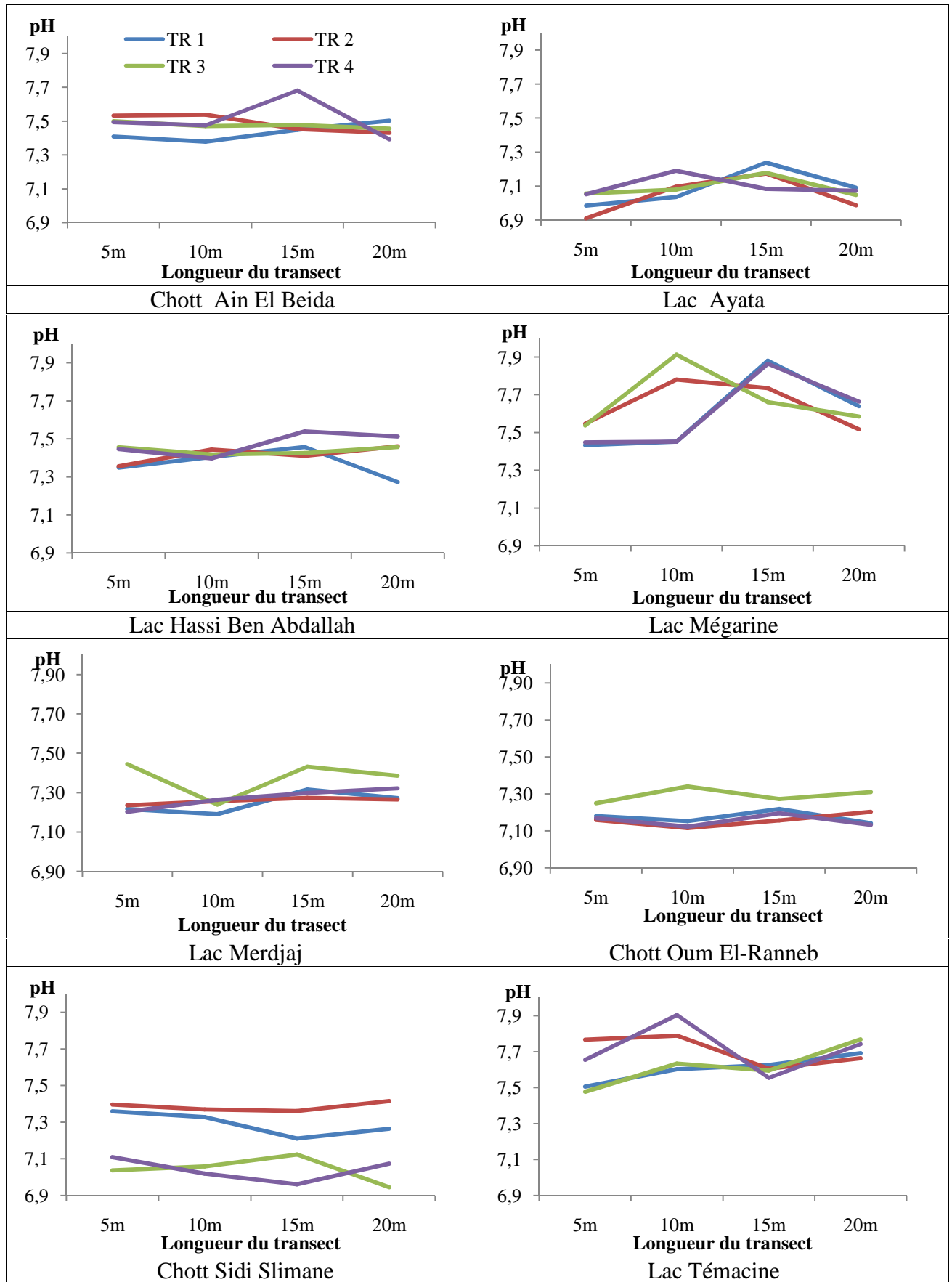


Figure 44 : Variations du pH des sols le long des transects échantillonnés.

### III-2-5- Les sels solubles

Les résultats d'analyses des sols des stations étudiées montrent qu'ils sont caractérisés par la dominance du chlorure et du calcium (figure 45). Le lac Merdjaja est caractérisé par la dominance des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) et du calcium. Le sol du chott Oum El-Ranneb est dominé par le Chlorure et le sodium. A partir de cela, on peut dire que les sols des zones humides étudiées ont un faciès chloruré calcique, carbonaté calcique et chloruré sodique. A cet effet, Khadraoui (2007) a signalé que les sols halomorphes de l'Oued Righ sont dominés par le chlorure et le sodium. L'origine des sels solubles de ces sols est ; soit la roche mère du sol ou les eaux de la nappe phréatique chargée en sels. La richesse relative en ces divers sels varie sous l'effet des réactions d'échange cationique entre le sol et sa solution, mais aussi par suite des taux et vitesse de dissolution, ainsi que la viscosité différentes des divers ions et sels (Aubert, 1976).

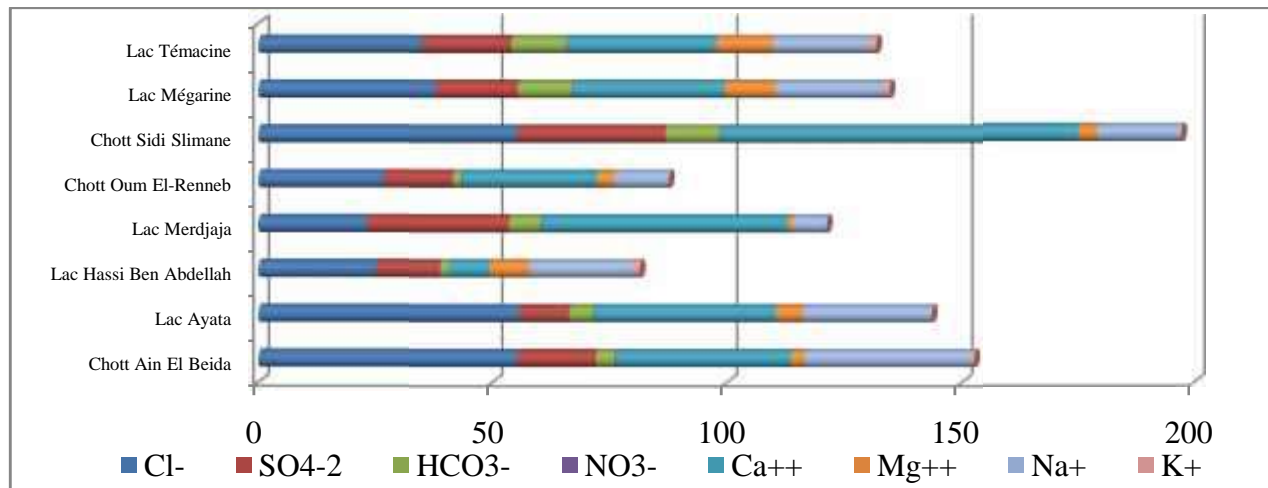


Figure 45 : Teneurs moyennes de la solution des sols en sels solubles (en méq/l) des zones humides étudiées.

Les résultats obtenus montrent que le faciès du sol ne change pas pendant les quatre saisons (figure 46). Toutefois, il y a une variation très hautement significative ( $P < 0,0001$ ) des teneurs en sels solubles à travers les saisons liée directement à la conductivité électrique du sol. D'une façon générale, on note une diminution des teneurs en sels solubles en hiver, par la dilution de la solution du sol due à la remontée des eaux phréatiques, ensuite elles augmentent en été sous l'effet des fortes évaporations. En effet, la teneur en sels solubles d'un sol sodique ou salé est, bien entendu, très variable d'un sol à l'autre et, pour un même sol, d'une saison à l'autre. Cependant ces variations sont dues à un certain nombre de facteurs, climatiques, topographiques, biotiques, ou les caractéristiques des sols et des sels, la présence ou absence d'une nappe phréatique salée etc ... (Aubert, 1976).

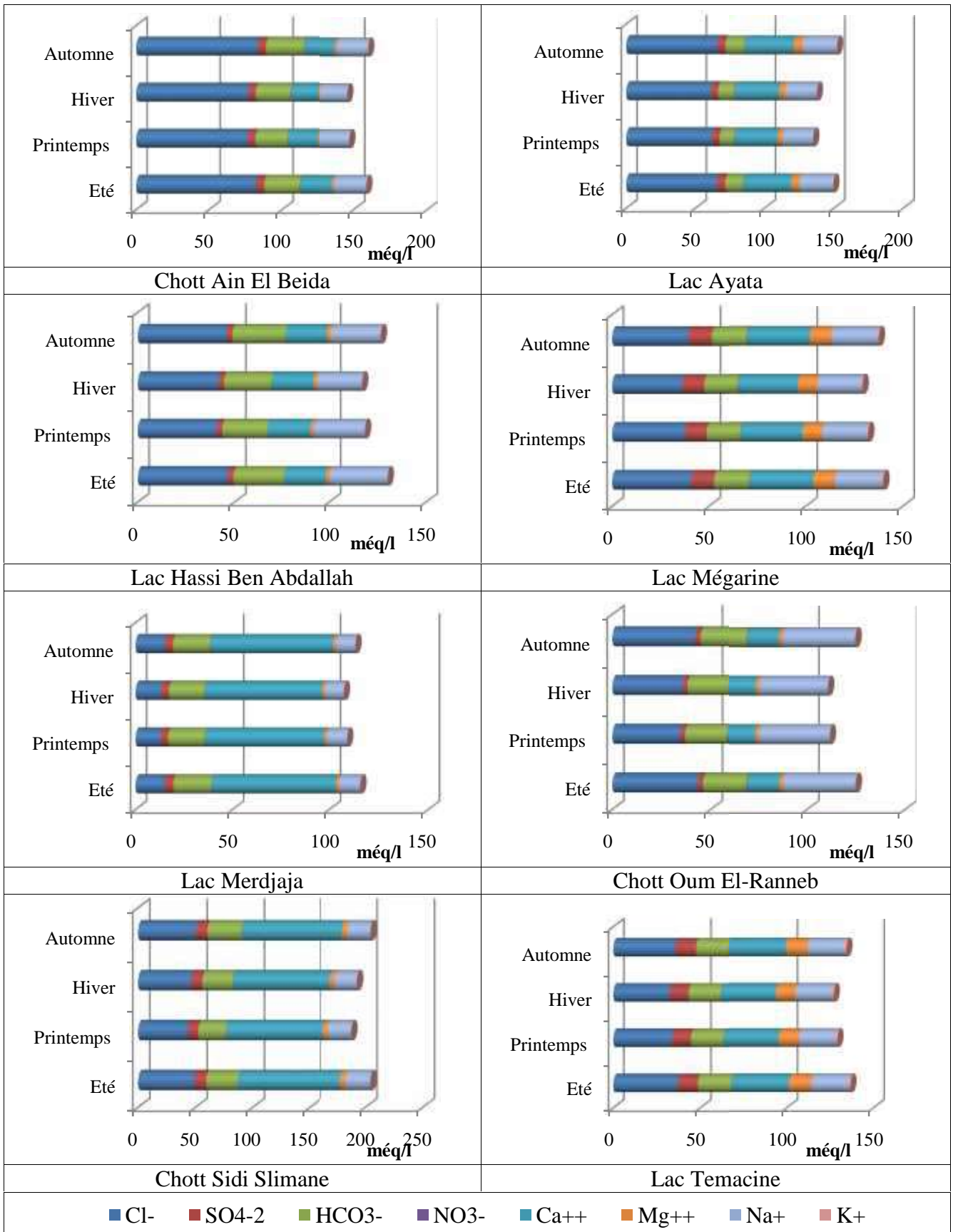


Figure 46 : Variations saisonnières des teneurs en sels solubles (még/l) des sols des zones humides étudiées.

Les résultats d'analyses des sols prélevés montrent une variabilité des teneurs en sels solubles le long des transects échantillonnés qui apparaît très hautement significative avec  $P < 0,0001$ .

Nous remarquons qu'aux premières placettes distantes de 5 à 15m (figure 47), la teneur en sels du sol prend une allure descendante combinée avec une diminution de la salinité. Cela peut être due, comme il a été signalé, préalablement à la diminution du degré d'inondation (du fait que la nappe est salée). Au-delà de 15m, la concentration en sels solubles augmente sous l'effet de la diminution de l'humidité.

Les résultats d'analyses de sol de lac Ayata sont représentés dans la figure 47. Il nous apparaît un accroissement de la teneur en sels dans la solution du sol tout en s'éloignant du plan d'eau. Ceci est expliqué par les résultats de la salinité qui prend la même allure.

Les résultats d'analyses des sols prélevés aux rivages du lac Hassi Ben Abdallah et Mégarine (figure 47) montrent une variabilité des concentrations en sel solubles le long des transects échantillonnés. Nous remarquons une augmentation des teneurs entre les premières et les deuxièmes placettes (5 à 10m), ensuite elles diminuent aux dernières placettes. Cette variation peut s'expliquer par l'abaissement du niveau de la nappe phréatique et par conséquent la salinité du sol.

Le sol prélevé des rives du lac Merjaja et du lac Témacine se caractérise par une teneur des sels solubles ascendants tout en s'éloignant du plan d'eau (figure 47). Ceci est expliqué par la présence de croute gypseuse et/ou l'absence du couvert végétal aux dernières placettes, ce qui accentue l'intensité d'évaporation et par conséquent l'accumulation des sels dans le sol.

Les résultats présentés dans la figure 47 montrent que les sels solubles dans la solution du sol du chott Oum El-Ranneb sont variables le long des transects. On note une légère diminution de la teneur en sels entre les placettes distantes de 5 à 10m. Ensuite, elle augmente faiblement aux dernières placettes, ce qui suit la variation de la salinité du sol.

Les sols du chott Sidi Slimane (figure 47) se caractérisent par une teneur en sels qui montre une allure descendante le long des transects échantillonnés. Cela peut être expliqué par la diminution du niveau des eaux phréatiques tout en s'éloignant du plan d'eau.

En général, les teneurs des sols en sels solubles varient spatialement d'une station à l'autre et dans la même station. Ces teneurs sont importantes dans les sols étudiés. Halilat (1998) a indiqué que les sols de la zone saharienne d'Algérie contiennent des quantités importantes de sels solubles.

La variabilité de la qualité et quantité des sels est fonction des caractéristiques hydro-pédologiques et géomorphologiques. Lorsqu'il y'a de l'eau, la dissolution des sels et la remontée capillaire sont rapides ; sous l'effet d'une forte évaporation. Ainsi parmi les sels dissouts appartenant à une nappe phréatique, certains sont facilement ramenés en surface et d'autres sont précipités lorsque la concentration atteinte le permet. Il apparait ainsi que le climat désertique favorise la concentration des solutions et la cristallisation des sels, tant en surface qu'en profondeur selon les conditions du milieu.

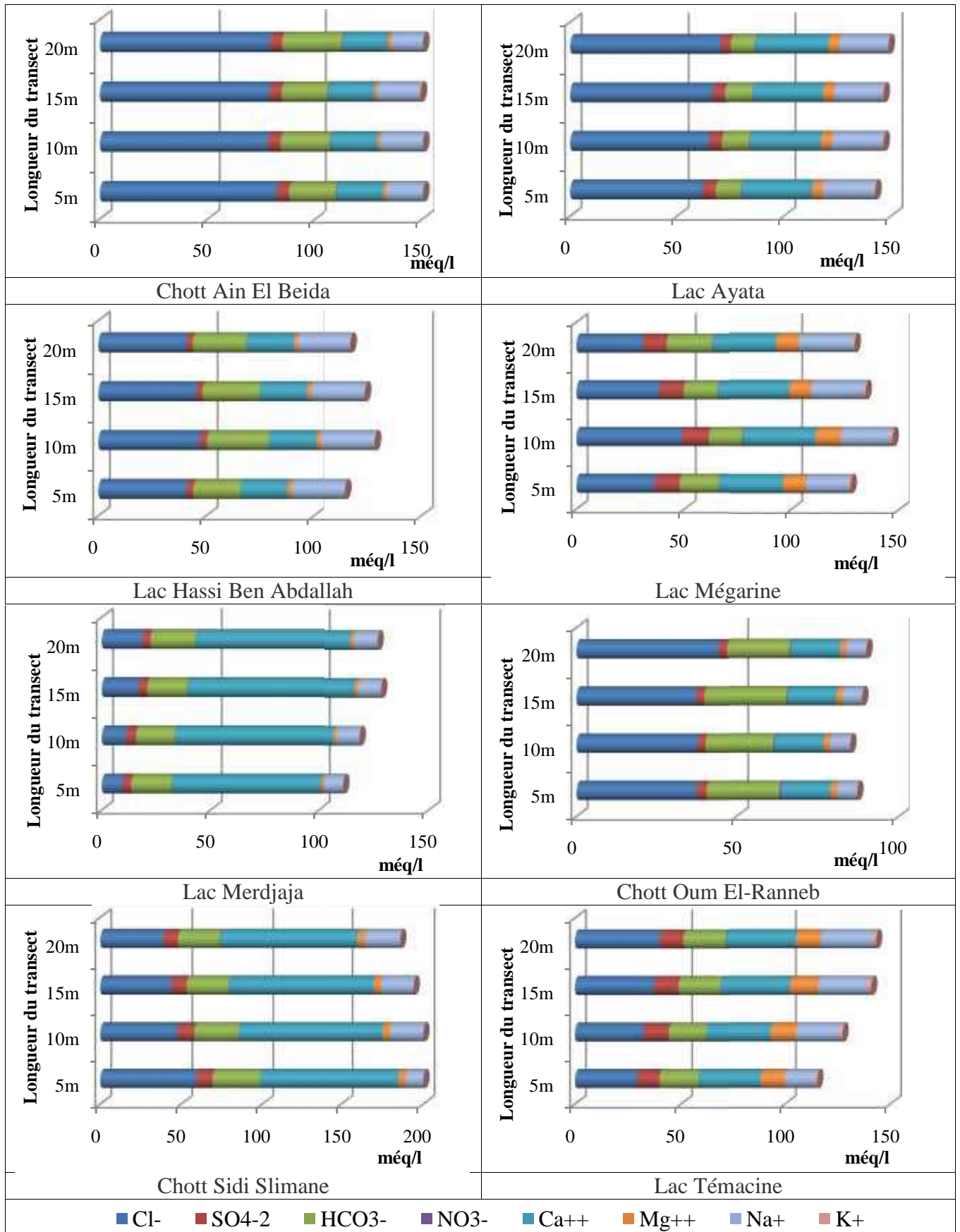


Figure 47 : Variations des teneurs en sels solubles ( $\text{mg/l}$ ) des sols le long des transects échantillonnés.

### **III-2-6- Le gypse**

Les résultats d'analyses des sols prélevés des rivages des zones humides étudiées (figure 48) montrent qu'ils sont caractérisés par de fortes teneurs en gypse. Ces teneurs varient de façon très hautement significative ( $P < 0,0001$ ) d'une station à l'autre. Suivant la classification de Barzadji (1973), les sols du lac Hassi Ben Abdallah et du chott Oum El-Ranneb sont classés comme des sols modérément gypseux avec des taux de gypse de 13,75% et 11,98% respectivement. Les sols des autres stations sont classés comme des sols extrêmement gypseux avec des taux de gypse supérieurs à 19%. Le taux de gypse le plus important est enregistré dans le sol du chott Sidi Slimane avec plus de 45%. Boumezbour (2004) a indiqué la présence de quantités importantes de gypse dans les sols de chott Sidi Slimane. D'après Guyot et Durand, (1955), les sols de la vallée d'oued Righ contiennent de fortes proportions de gypse. La raison principale de cette accumulation dans les sols est due à la précipitation du gypse provenant des sels contenus dans la nappe aquifère et dans les ruissellements (Bennett et Adams, 1972). La variation saisonnière du niveau piézométrique de la nappe phréatique peut atteindre dans la vallée de l'oued Righ l'amplitude d'un mètre et plus sous l'effet d'une intense évaporation (Sogreah, 1971).

En effet, la solubilité du gypse est généralement influencée par la présence de sels solubles, car le gypse est un électrolyte faible et sa solubilité est modifiée lorsque la solution contient des électrolytes forts ayant ou non des ions communs (Pouget, 1968).

Selon Pouget (1968), l'origine du gypse en quantité importante dans les sols est en relation avec :

- la présence des roches sédimentaires gypseuses. Le gypse est dissous, transporté à l'état de solution dans les nappes et dans les couvertures pédologiques ; il peut être repris sous forme solide et transporté par le vent.
- les apports éoliens.
- la présence des eaux souterraines et superficielles chargées en  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{SO}_4^{-2}$ .

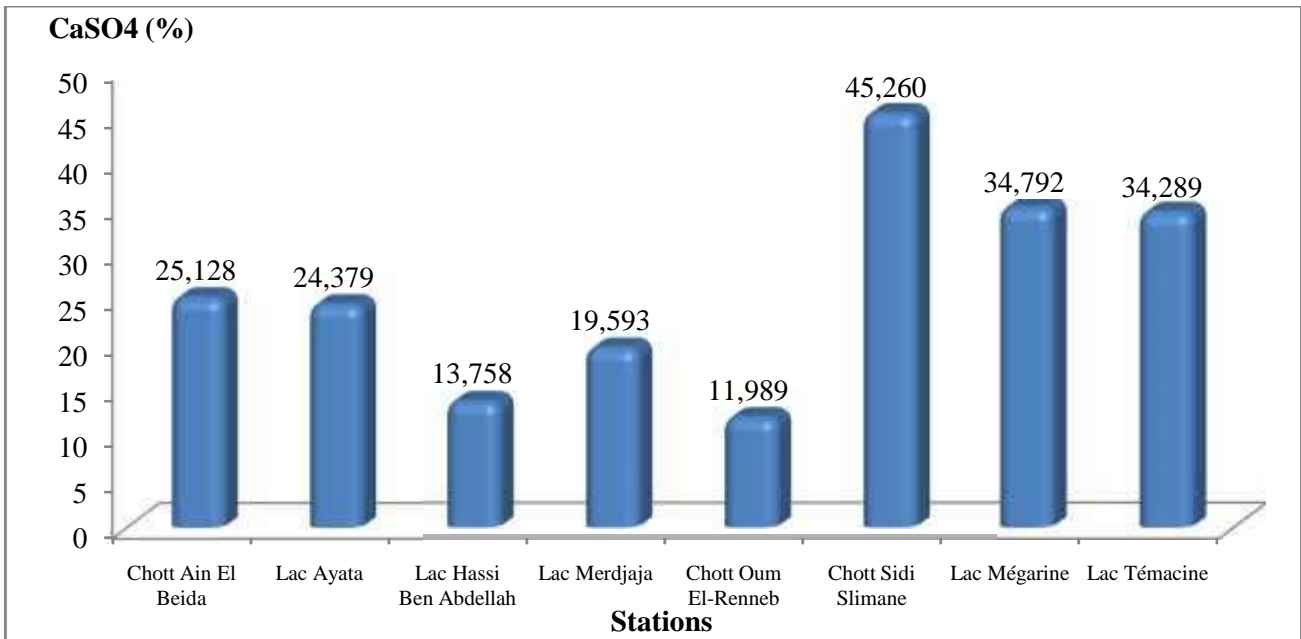


Figure 48 : Teneurs moyennes en gypse des sols des zones humides étudiées.

Il apparaît, dans les sols analysés, une faible variation saisonnière de taux de gypse et significative ( $P= 0,014$ ) (figure 49). Selon Hamdi-Aïssa (2001), ceci est lié au processus de dissolution/re-précipitation de gypse qui est dans une instabilité permanente dans le système pédologique salin de la sebkha sans qu'il y ait formation d'un horizon gypsique. Ce processus est soumis à plusieurs facteurs :

- Apports d'eaux légèrement sous-saturées vis-à-vis du minéral
- Intensité de l'évaporation
- Evolution des conditions géochimiques des eaux par rapport aux sels sodiques NaCl et  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ; le premier augmente la solubilité de gypse, le second, contrairement, diminue sa solubilité. Cette évolution dépend des variations de températures et donc, du facteur temps à courte et à très courte échelle (Hamdi-Aïssa et al., 1997).



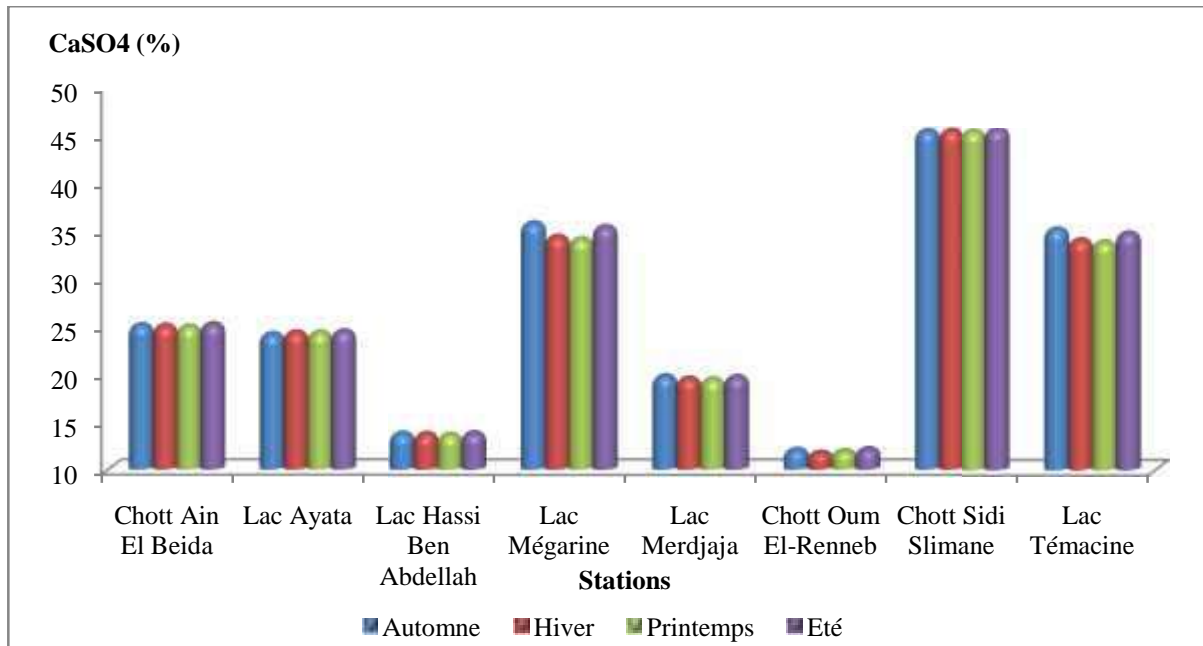


Figure 49 : Variations saisonnières des teneurs en gypse des sols des zones humides étudiées.

La présentation des résultats d'analyses du sol montre une variation spatiale significative ( $P= 0,006$ ) du taux de gypse dans la même station (figure 50 et 51). Dans la station de Chott Ain El Beida, le troisième transect au Sud-est du chott présente un taux de gypse plus important que les autres transects. Alors que dans les lacs Ayata, Mégarine et Hassi Ben Abdallah, c'est le deuxième transect qui se caractérise comme le sol le plus gypseux. Au niveau du chott Oum El-Ranneb, le premier transect présente le taux le plus élevé de gypse dans le sol, donc c'est le côté sud du chott qui est le plus gypseux. Ainsi, dans le chott Sidi Slimane, le premier transect, qui localise la partie ouest du chott, est le plus gypseux. Les sols des deux lacs Merdjaja et Témacine présentent une certaine homogénéité de répartition de gypse entre les transects (figure 50 et 51). En effet, selon Hamdi-Aïssa et *al.*, (1997, 1999), ces accumulations de gypse dans les sols du chott et de sebkha varient considérablement latéralement aussi bien que verticalement, et cela malgré une faible pente et une homogénéité de la topographie et de l'état de surface du sol dans certains cas. En revanche, le micro-relief joue un rôle important dans l'orientation de la pédogénèse de ces sols.

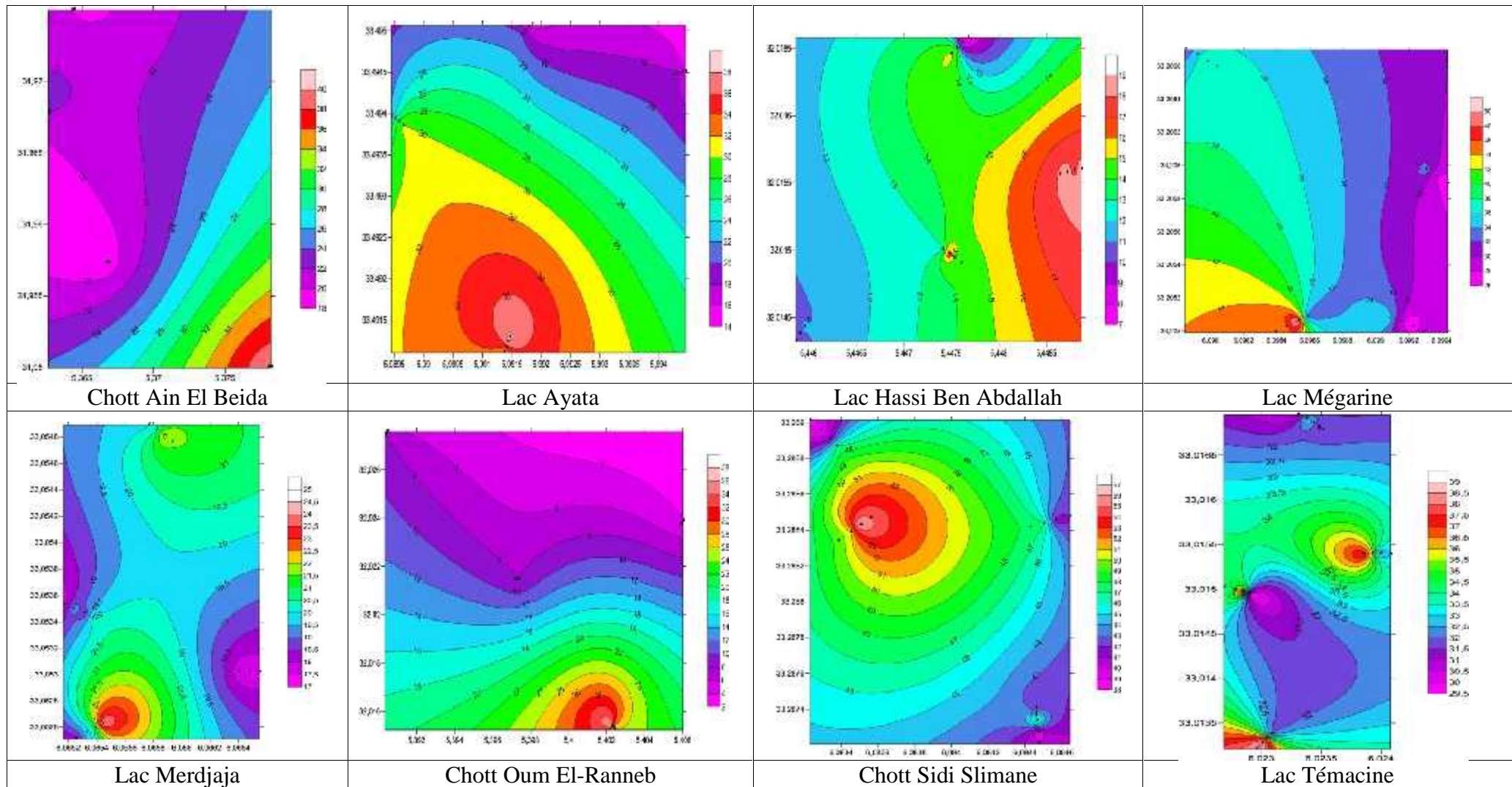


Figure 50 : Cartes de variations des teneurs en gypse des sols le long des transects échantillonnés.

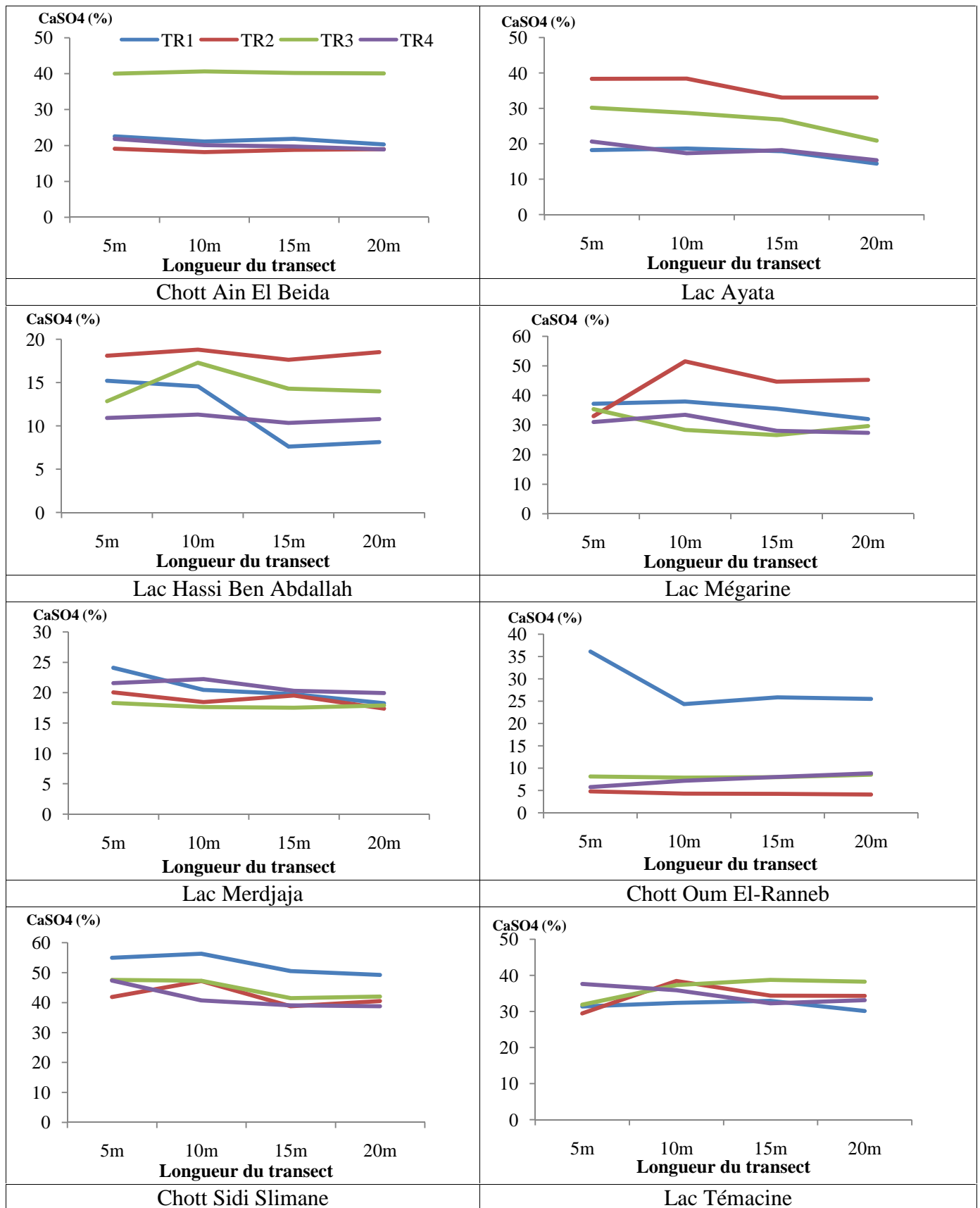


Figure 51 : Variations des teneurs en gypse des sols le long des transects échantillonnés.

### III-2-7- Le calcaire

De nombreux sols, notamment ceux qui sont développés en climat aride et semi-aride, renferment des quantités plus ou moins importantes de carbonates de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Celui-ci, couramment appelé calcaire prend son origine soit : de la roche mère pédologique ou géologique ; de l'apport par l'eau de ruissellement et de percolation ; ou de l'apport de l'eau.

Le calcaire est toujours présent, sauf au centre de certaines sebkhas sur sable siliceux. Il est sous forme diffuse, pseudo-mycélium ou amas friables pouvant être aussi gypso-calcaires (Halitim, 1988).

Les résultats d'analyses des sols des zones humides étudiées montrent qu'ils sont peu calcaires avec des taux variant entre 2 et 5% (figure 52). La différence très hautement significative entre les stations ( $P < 0,0001$ ) est expliquée par la qualité des eaux phréatiques et les conditions édaphiques (types de sels solubles) propres à chaque station.

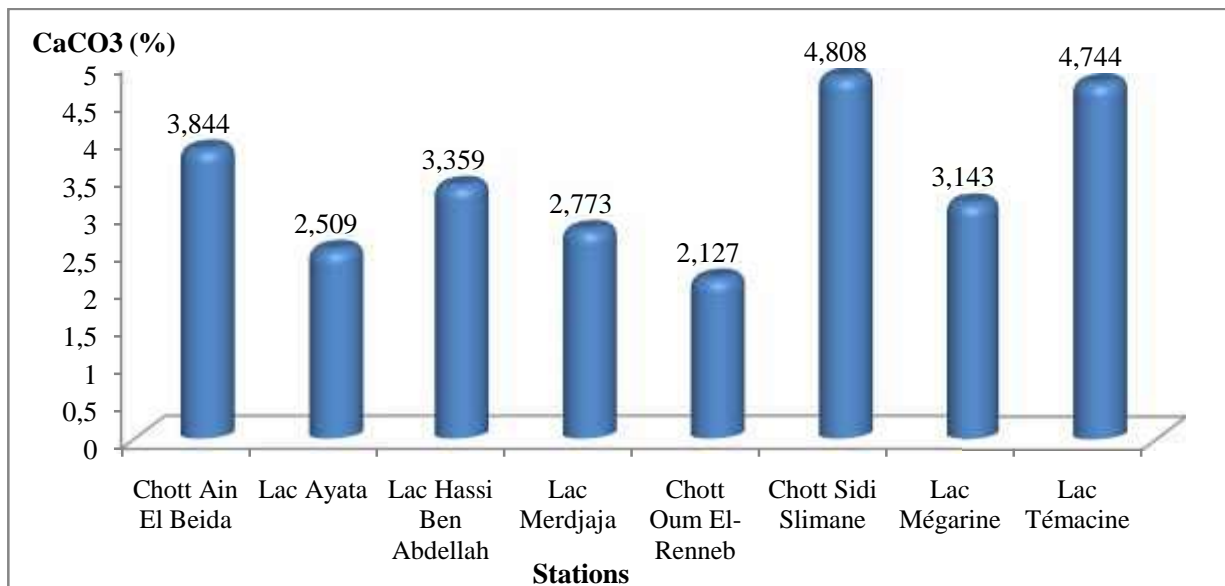


Figure 52 : Teneurs moyennes en calcaire des sols des zones humides étudiées.

La variation du taux de calcaire dans le sol à travers les saisons est présentée dans la figure 53. Il apparaît qu'il y a un faible changement du taux de calcaire pendant les quatre saisons. Cette variation est très significative avec  $P = 0,002$ . Elle est influencée par la fluctuation de la nappe phréatique et les conditions édapho-climatiques des régions arides.

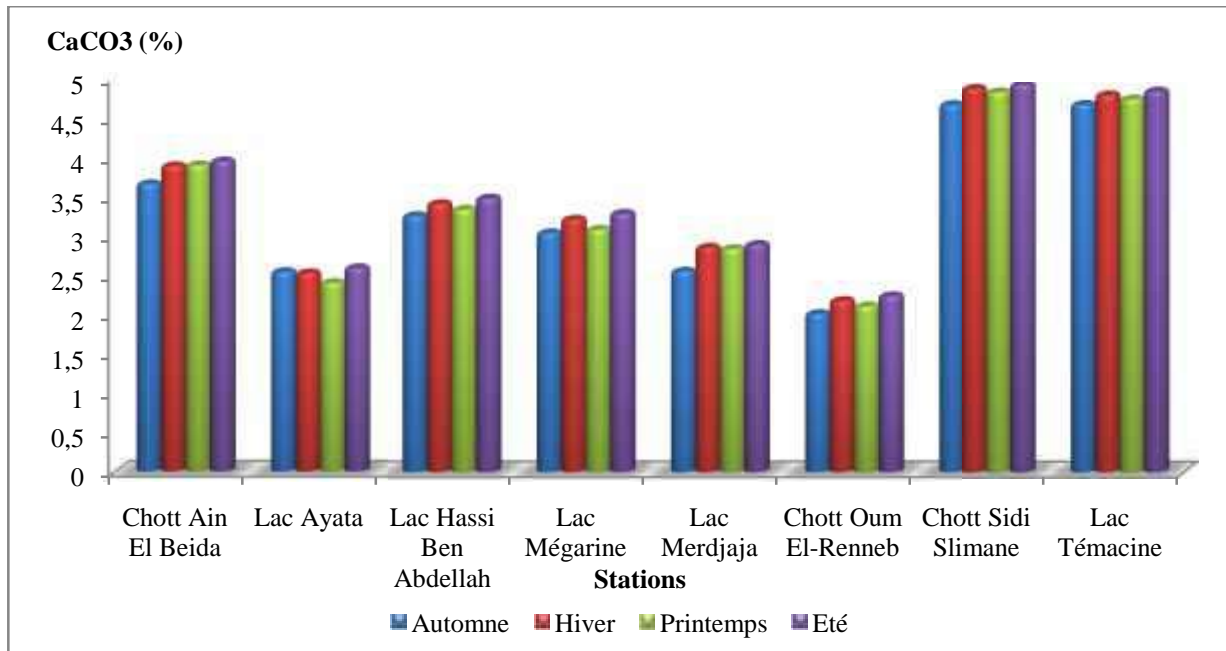


Figure 53 : Variations saisonnières des teneurs en calcaire des sols des zones humides étudiées.

Du point de vue spatial, nous remarquons qu'il y a une différence très hautement significative ( $P < 0,0001$ ) du taux de calcaire dans le sol entre les différents transects des stations (figure 54). Selon l'échelle de Baize (1988), ils varient de sol non calcaire (transect TR1) dans le chott Ain El Beida à des sols peu calcaires (chott Ain El Beida (TR4), chott Sidi Slimane (TR1 et TR2), lac Témacine (TR1 et TR2) et tous les transects des autres stations (Ayata, Hassi Ben Abdallah, Mégarine et Merdjaja) et des sols modérément calcaires (TR3 et TR2 de chott Ain El Beida, TR3 et TR4 de chott Sidi Slimane et lac Témacine). Ces variations peuvent s'expliquer par la variation de la microtopographie et des processus géochimiques qui règnent dans le sol.

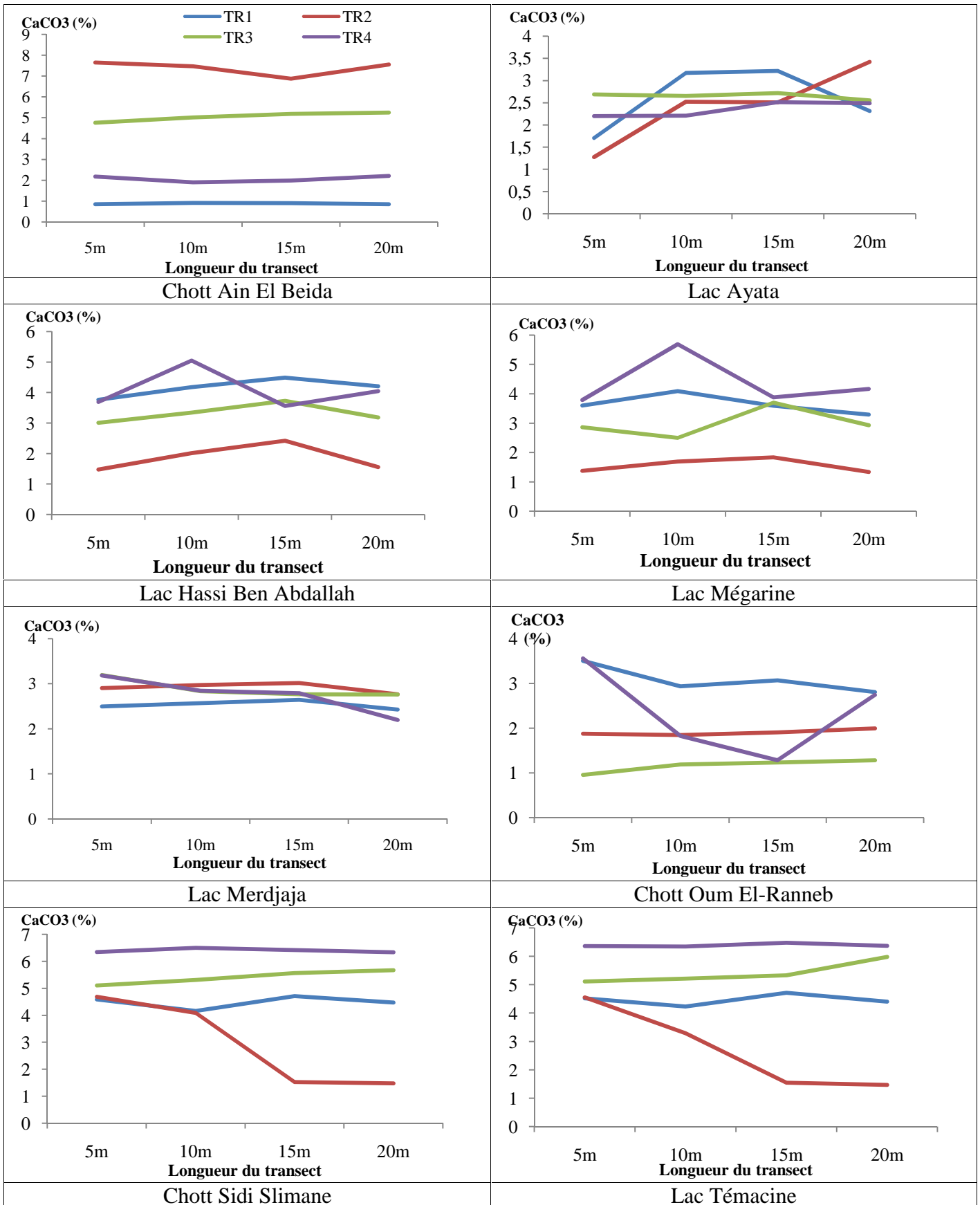


Figure 54 : Variations des teneurs en calcaire des sols le long des transects échantillonnés.

### III-2-8- La matière organique

Les sols sahariens sont réputés pour être, dans leur ensemble, pauvres en matière organique (M.O) et en éléments minéraux indispensables aux végétaux. La teneur en M.O de ces sols est souvent inférieure à 0,1 % (Durant 1954, 1959 ; Dutil, 1971 ; Rognon 1994 ; Daoud et Halitim, 1994 ; Halilat, 1998). Cette faible teneur résulte de la rareté de la végétation et de la faible biomasse.

Les résultats d'analyses des sols des zones humides de la région de Ouargla et de l'Oued Righ montrent que le taux de matière organique diffère d'un sol à l'autre (figure 55). En effet, c'est le sol de lac Merdjaja qui est plus riche en matière organique avec un taux de plus de 4%. Ensuite vient le sol de chott Sidi Slimane avec 3.79% de matière organique. Suivant l'échelle de Morand (2001), ces sols sont donc classés comme riches en matière organique. Les sols de chott Sidi Slemen, lac Ayata, lac Mégarine, lac Témacine et lac Hassi Ben Abdallah sont classés comme des sols moyen et à faible teneurs avec 3.79%, 2.81%, 1.48%, 1.44% et 1.39% de matière organique, successivement. Les sols des chotts Ain El Beida et Oum El-Ranneb présentent de faibles taux en matière organique (inférieur à 1%). Ils sont classés comme des sols pauvres en matière organique. La différence très hautement significative entre les stations ( $P < 0.0001$ ) peut être expliquée par la variation du type et de la densité du couvert végétal.

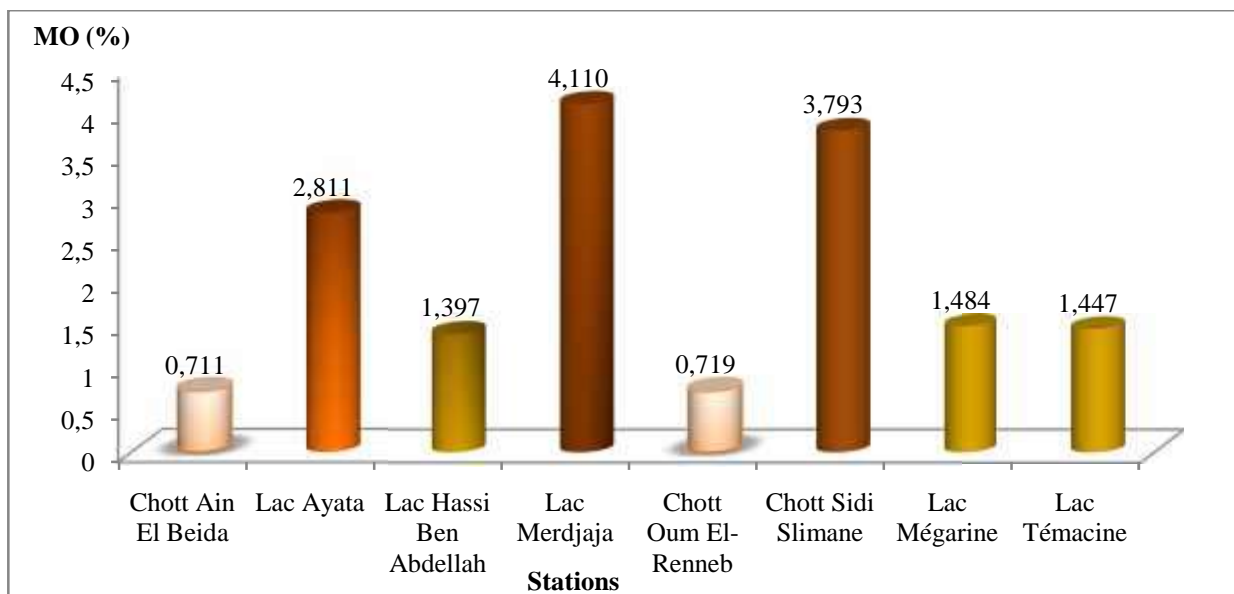


Figure 55 : Teneurs moyennes en matière organique des sols des zones humides étudiées.

L'évolution temporelle de la teneur en matière organique des sols échantillonnés est présentée dans la figure 56. Il apparaît que la variation des taux de matière organique est non significative ( $P=0.921$ ). Ceci peut s'expliquer par la stabilité du couvert végétal (plantes vivaces) qui apporte la matière organique au sol. Aussi, la dégradation de la matière organique est difficile dans ces conditions édaphiques très contraignantes à la vie microbienne (forte salinité et hydromorphie). Jacquin et *al* (1979) ont montré qu'une forte salinité d'un sol ralentit la biodégradation des composés organiques et amplifie le transfert des fractions humiques.

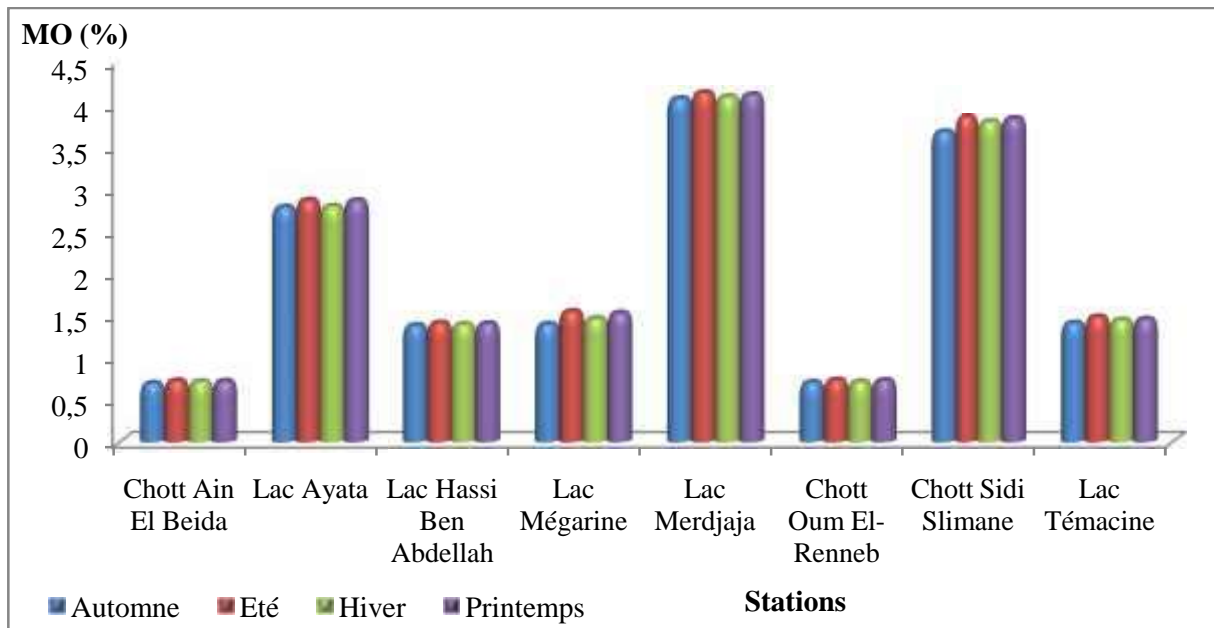


Figure 56 : Variations saisonnières des teneurs en matière organique des sols des zones humides étudiées.

Les résultats d'analyses des sols de rivages des zones humides étudiées (figure 57) montrent que le teneur des sols en matière organique varie d'un transect à l'autre et le long des transects. D'une manière générale, nous remarquons une diminution significative de la matière organique tout en s'éloignant du plan d'eau ( $P=0.013$ ), cette diminution est très remarquable au niveau du sol du lac Témacine, du fait que les dernières placettes sont dépourvues de végétation.



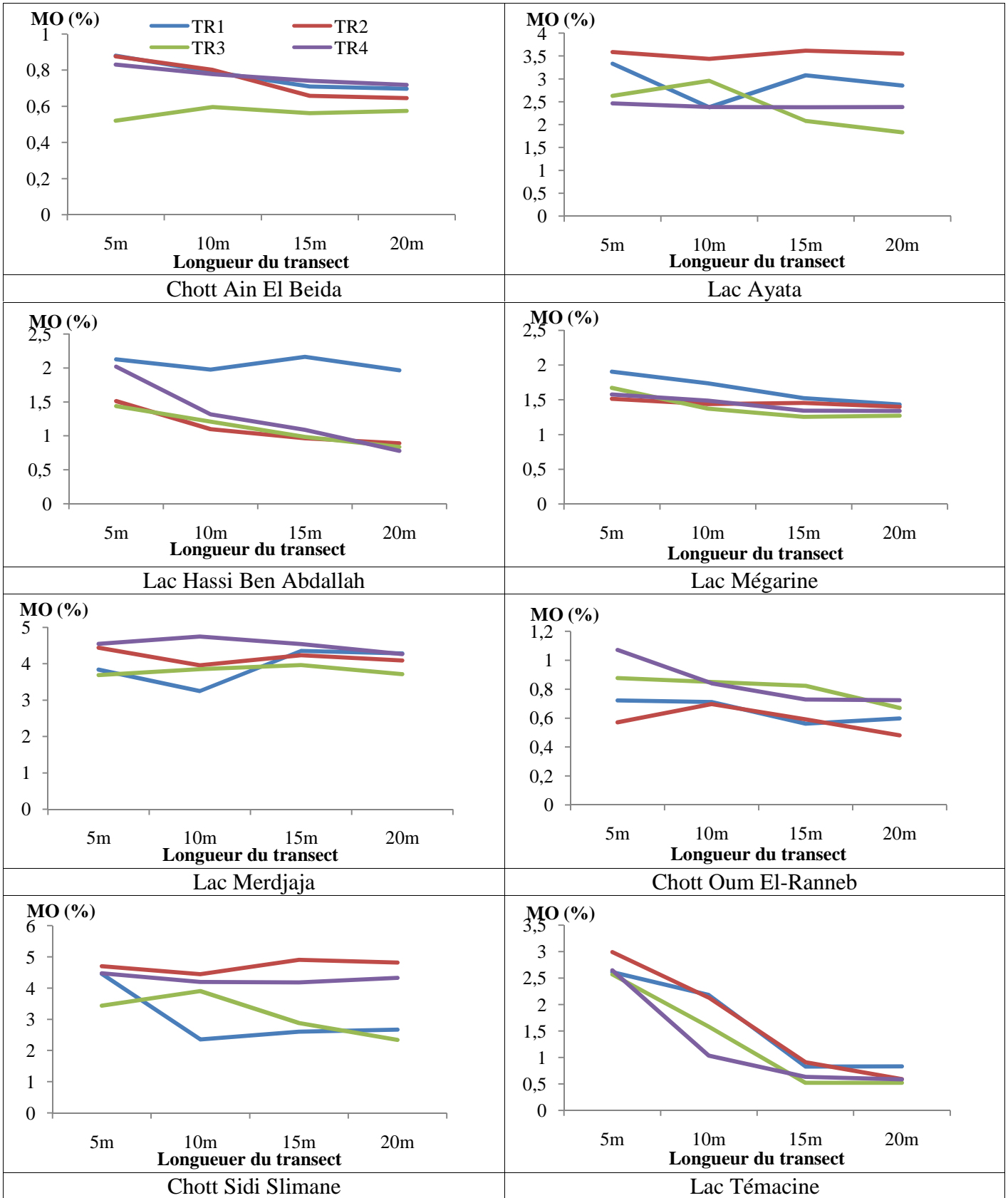


Figure 57 : Variations des teneurs en matière organique des sols le long des transects échantillonnés.

### **III-2-9- Approche statistique des données chimiques des solutions de sols.**

Les échantillons des sols prélevés des rivages des zones humides ont fait l'objet de mesures de plusieurs paramètres. L'objet de ce traitement des données est de déterminer les différentes sources de variabilité de la chimie des solutions des sols.

Afin de faire une analyse plus profonde de nos résultats, nous avons privilégié une approche synthétique globale, grâce à l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Cette méthode permet d'étudier les sources indépendantes de la variabilité de tous les paramètres confondus, au lieu d'étudier paramètre par paramètre.

#### **Matrice des corrélations**

Les résultats montrent que les corrélations sont positives et significatives entre  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  et  $\text{Ca}^{+2}$  (tableau 05). Habituellement dans le contexte de solutions salées, lorsque la concentration des solutions par évaporation est la principale source de variation de la qualité des solutions, il est fréquent d'obtenir des coefficients de corrélation plus élevés entre les éléments solubles tels que  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  comme il est le cas de nos stations (Djamai, 2007). Ceci peut indiquer que, dans le cas des zones humides étudiées, le déterminisme de la qualité des solutions est plus complexe et que les mécanismes impliqués sont plus nombreux. Ce type de résultats devrait se traduire par une grande dispersion de la variance entre les différents axes factoriels.

#### **Analyses en Composantes Principales (ACP)**

Les résultats de l'Analyse en Composante Principale (ACP) effectuée sur la matrice des covariances sont présentés dans la figure 58. A cet effet, les unités des différents paramètres ne sont pas homogènes notamment entre la CE et les concentrations des éléments chimiques, ce qui induit une hétérogénéité des ordres de grandeur des valeurs. Ainsi trois sources de variabilité importantes apparaissent. Le plan factoriel de l'ACP (figure 58) est constitué par le croisement du premier et du second axe. Ce plan permet de visualiser la position des différents paramètres. Pour déterminer la source de variabilité représentée par le premier axe, on oppose les éléments situés à droite contre ceux qui sont situés à gauche. Ainsi on remarque pour le premier axe, les éléments solubles dont la concentration augmente avec la salinité, à savoir le  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  et accessoirement le  $\text{Na}^+$ , avec les éléments dont la concentration est contrôlée par la précipitation de certains minéraux (calcaire, gypse,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ) se trouvent du côté droit de l'axe (figure 58). A cet effet, on peut dire que ce premier axe traduit la concentration globale des solutions du sol sous l'effet de l'évaporation et donc du climat.

Pour déterminer la source de variabilité représentée par le second axe, on oppose les éléments situés en haut contre ceux qui sont situés en bas. A partir de cela, on constate que cet axe oppose le calcaire, le gypse à la salinité (CE) et certains éléments solubles ( $\text{Cl}^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ).

Le second plan factoriel est constitué des axes factoriels N°2 et 3. Le premier axe étant discuté précédemment, seul le troisième axe sera donc étudié. Cet axe oppose le  $\text{Na}^+$ , le  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{K}^+$  à la CE, le  $\text{Cl}^-$ , le gypse et les  $\text{HCO}_3^-$  (figure 59). Il pourrait s'agir d'une opposition dans le phénomène précipitation / dissolution et processus de réduction dans ce type de milieu souvent inondé par les eaux durant une longue période de l'année (Djamai, 2007).

Tableau 05: Matrice des corrélations des caractéristiques des sols.

	CE	pH	H	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CaSO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MO
CE	1													
pH	-0,118(**)	1												
H	0,253(**)	-0,070(*)	1											
Cl <sup>-</sup>	0,635(**)	-0,046	0,162(**)	1										
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,244(**)	0,299(**)	0,077(*)	0,028	1									
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,225(**)	0,048	0,257(**)	0,032	-0,086(**)	1								
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,218(**)	-0,040	-0,053	0,268(**)	-0,015	-0,081(**)	1							
Ca <sup>++</sup>	0,265(**)	-0,163(**)	0,049	-0,282(**)	0,318(**)	0,045	-0,111(**)	1						
Mg <sup>++</sup>	-0,011	0,345(**)	-0,092(**)	-0,135(**)	0,762(**)	-0,233(**)	-0,037	0,022	1					
Na <sup>+</sup>	0,487(**)	0,140(**)	-0,032	0,420(**)	0,668(**)	-0,259(**)	0,219(**)	0,261(**)	0,531(**)	1				
K <sup>+</sup>	0,140(**)	0,382(**)	-0,087(**)	0,056	0,689(**)	-0,100(**)	0,010	-0,056	0,803(**)	0,507(**)	1			
CaSO <sub>4</sub>	0,446(**)	0,110(**)	0,196(**)	0,110(**)	0,897(**)	0,025	-0,054	0,528(**)	0,504(**)	0,627(**)	0,460(**)	1		
CaCO <sub>3</sub>	0,327(**)	0,120(**)	0,277(**)	0,081(**)	0,330(**)	0,290(**)	-0,267(**)	0,200(**)	0,229(**)	0,144(**)	0,364(**)	0,372(**)	1	
MO	-0,001	-0,258(**)	0,054	-0,325(**)	0,063(*)	-0,084(**)	-0,285(**)	0,792(**)	-0,125(**)	0,067(*)	-0,271(**)	0,262(**)	0,042	1

Test utilisé : corrélation Percen

\*\* La corrélation est significative au seuil  $\alpha$  ou  $p < 0.01$ .

\* La corrélation est significative au seuil  $\alpha$  ou  $p < 0.05$ .

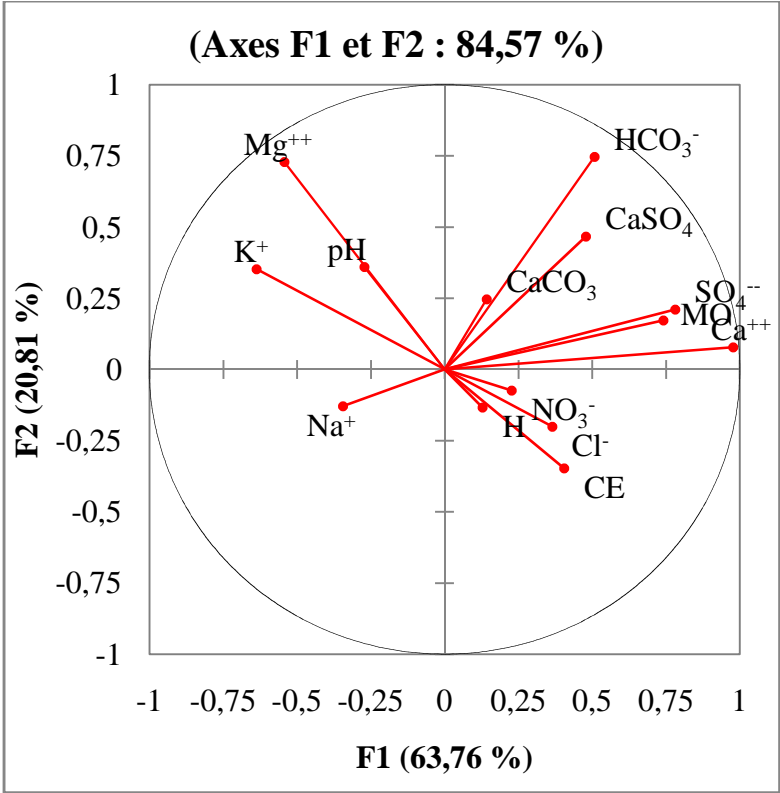


Figure 58 : Représentation sur le plan factoriel de l'ACP (axes 1 et 2) des caractéristiques des sols.

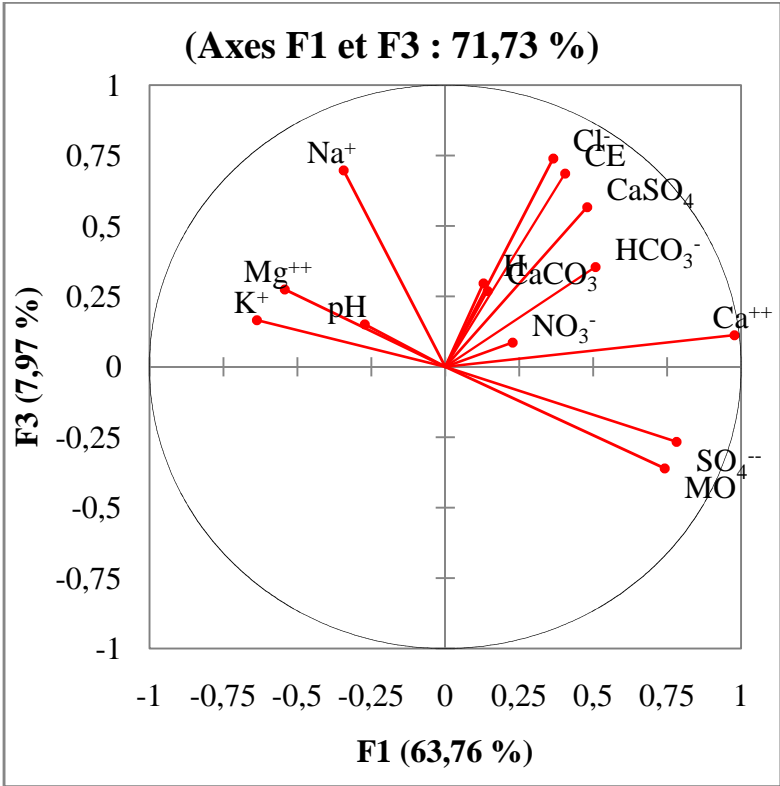


Figure 59 : Représentation sur le plan factoriel de l'ACP (axes 1 et 2) des caractéristiques des sols

**L'analyse factorielle de correspondance (AFC)**

La superposition des résultats d'analyses du sol et les différentes stations étudiées sur le plan factoriel de l'AFC (figure 60) montre cinq groupes ; le premier groupe composé du chott Sidi Slimane et du lac Merdjaja caractérisés par des sols riches en matière organique. Le deuxième groupe composé du lac Mégarine et du lac Témacine qui sont caractérisés par des sols riches en gypse avec un taux de 34%. Ces sols sont donc extrêmement gypseux. Le troisième groupe au centre de plan factoriel composé par une station « lac Ayata » dont le sol est extrêmement gypseux et moyennement riche en matière organique. Le quatrième groupe composé de deux stations (chott d'Ain El Beida et chott d'Oum El-Ranneb), dont les sols sont extrêmement salés et pauvres en matière organique. Le dernier groupe renferme le lac Hassi Ben Abdallah avec les sols les moins salés et un faciès chloruré sodique. En effet, on peut dire que la différenciation entre les stations est compliquée conséquence de similitude entre les caractéristiques des sols et les conditions édapho-climatiques qui influent sur le sol. Il apparaît que sur la base de trois paramètres : la salinité, le taux de gypse et la matière organique se forme les groupes de stations.

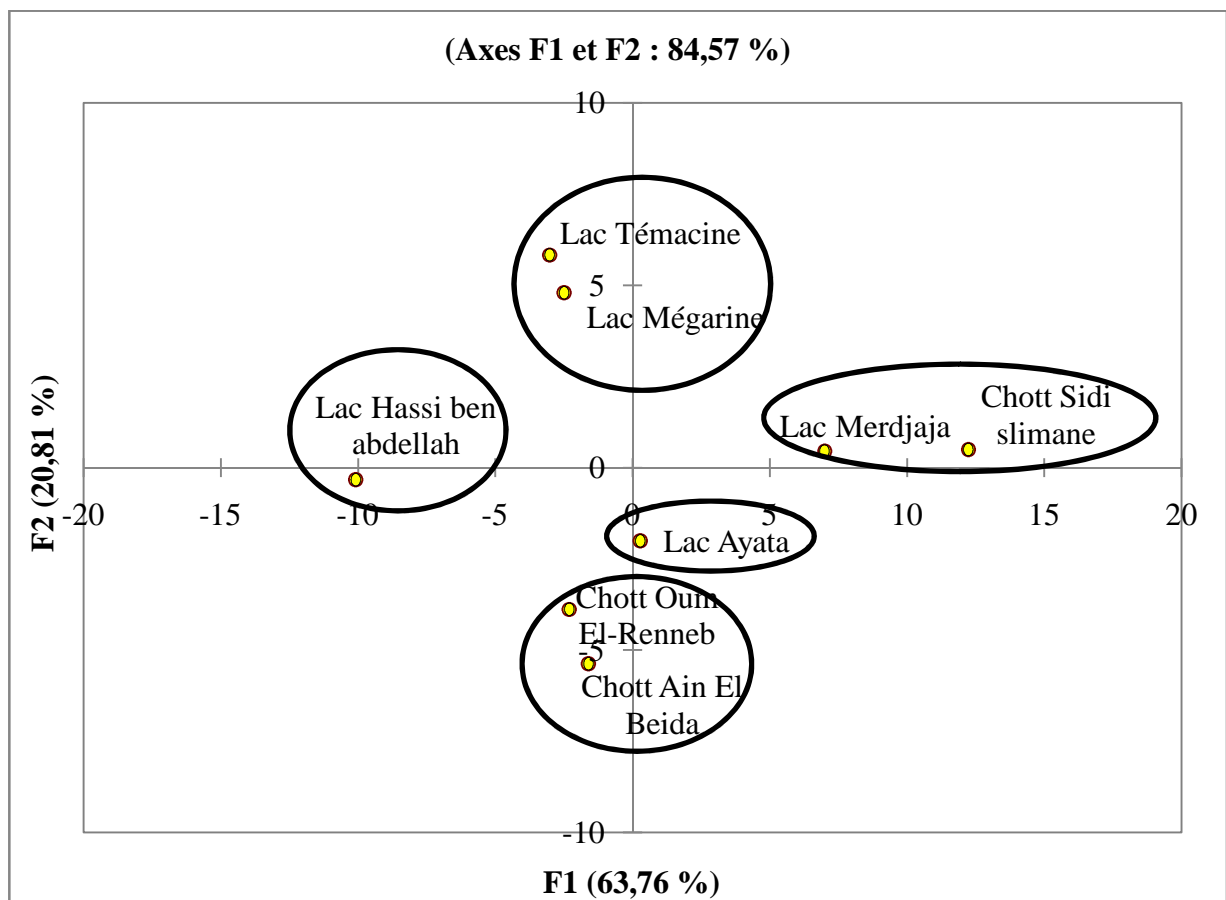


Figure 60 : Représentation sur le plan factoriel de l'AFC des groupes de zones humides suivant les caractéristiques de leurs sols.

### **Discussion générale**

Au terme de l'étude des facteurs édaphiques des zones humides du Sahara septentrional, il en ressort que leurs sols sont très salés (lac Merdjaja et lac Hassi Ben Abdallah) à extrêmement salés (lac Ayata, chott Sidi Slimane, lac Mégarine, lac Témacine, chott Oum El-Ranneb et chott d'Aïn El Beida) avec une conductivité électrique supérieure à 4dS/m. Cette salinisation provient de l'altération d'une roche mère salée et/ou de la présence d'une nappe d'eau de surface dans les parties inférieures du chott et sebkha induite à la salinisation très intense, ce qui entraîne la formation de saumures et croûtes de sel. La variation de la salinité entre les sols est en relation étroite avec la dynamique des nappes saumâtres imposées par les conditions géomorphologiques et climatiques de la région. La salinité des sols a diminué en hiver sous l'effet de la remontée de la nappe phréatique ensuite elle augmente au printemps et en été par la précipitation des sels solubles sous l'effet des fortes évaporations.

Les résultats obtenus ont montré que la salinité des sols varie d'un transect à l'autre et le long de transect dans la même station. En effet, la salinité est très variable d'un sol à l'autre, et, pour un même sol, d'une saison à l'autre. Cependant ces variations sont dues à un certain nombre de facteurs, climatiques, topographiques, biotiques, tels que les caractéristiques des sols et des sels, la présence ou absence d'une nappe phréatique salée etc ... D'une manière générale, la salinité du sol des stations peut varier d'une façon quantitative et qualitative surtout en présence d'un plan d'eau en relation étroite avec la dynamique des nappes saumâtres sous l'effet des conditions géomorphologiques et climatiques de la région et du couvert végétal.

Les résultats d'humidité des sols des zones étudiées montrent qu'ils sont humides avec un taux supérieur à 14%. Les sols de chott Ain El Beida et de chott Sidi Slimane sont les plus humides, expliqués par la variation de la texture et la structures des sols, la présence d'une croute gypseuse qui bloque l'infiltration des eaux et le niveau des eaux phréatiques.

L'humidité des sols augmente en hiver et diminue ensuite au printemps. Cette variation est liée directement à la fluctuation de la nappe phréatique qui monte à la surface du sol en hiver et descend au profondeur en été. L'humidité du sol dans toutes les stations prend une allure descendante tout en s'éloignant du centre de la sebkha ou du lac, proportionnellement à la variation du niveau de la nappe phréatique.

Les sols des zones humides étudiées sont neutres à alcalins avec un pH variant de

7.08 à 7.66. La diminution du pH en hiver dans la plus part des stations est liée directement à la réaction de la solution du sol qui est influencée aussi bien par la faune que par sa couverture végétale.

Les résultats d'analyses des sols des stations étudiées montrent qu'ils sont caractérisés par la dominance du chlorure et du calcium. Le faciès chloruré calcique des sols ne change pas pendant les quatre saisons. Toutefois, il y a une variation significative des teneurs en sels solubles à travers les saisons liée directement à la conductivité électrique du sol. D'une façon générale, on note une diminution des teneurs en sels solubles en hiver, par la dilution de la solution du sol due à la remontée des eaux phréatiques, ensuite elles augmentent en été sous l'effet des fortes évaporations. Les teneurs en sels des sols prennent une allure descendante tout en s'éloignant du plan d'eau comme il est le cas pour la salinité. En général, les teneurs importantes des sols en sels solubles varient spatialement d'une station à l'autre et dans la même station en fonction des caractéristiques hydro-pédologiques et géomorphologiques.

Les sols prélevés des rivages des zones humides étudiées sont caractérisés par de fortes teneurs en gypse. Ils sont classés comme des sols modérément gypseux à extrêmement gypseux. Le sol du chott Sidi Slimane est le plus gypseux avec plus de 45%. La variation spatiotemporelle de la teneur en gypse est liée au processus de dissolution/re-précipitation de gypse qui est dans une instabilité permanente dans le système pédologique salin de la sebkha sans qu'il y ait formation d'un horizon gypsique. Ainsi nous avons noté une variation spatiotemporelle de la teneur en calcaire des sols et qui est influencée par la fluctuation de la nappe phréatique et les conditions édapho-climatiques des régions arides.

En ce qui concerne la teneur en matière organique, il apparaît qu'en général les sols des zones humides étudiées sont à moyen et à faible taux en matière organique. Nous avons noté une variation spatiale de teneur en matière organique liée directement au couvert végétal, par contre la variation temporelle est non significative.

L'Analyse en Composante Principale (ACP) effectuée sur la matrice des covariances montre que les variations des caractéristiques des sols sont en fonction du phénomène précipitation / dissolution et processus de réduction dans ce type de milieu souvent inondé par les eaux durant une longue période de l'année.

L'Analyse Factorielle de Correspondance (AFC) montre cinq groupes de stations suivant leurs sols; chott Sidi Slimane et lac Merdjaja constituant le premier groupe, lac Mégarine et lac Témacine constituant un deuxième groupe, les chotts d'Ain El Beida et



d'Oum El-Ranneb constituant un troisième groupe. Les lacs Ayata et Hassi Ben Abdallah constituant chacune un groupe. En général, la distinction entre les sols des stations est compliquée conséquence de similitude entre les caractéristiques des sols et les conditions édapho-climatiques qui influent sur le sol. En effet, sur la base de trois paramètres : la salinité, le taux de gypse et la matière organique que se fait la distinction entre les sols des stations.

### III-3- Résultats des analyses des eaux

Les zones humides du Sahara septentrional (région de Ouargla et de l'Oued Righ) s'alimentent essentiellement des eaux phréatiques et les eaux de drainage (agricole et urbain). Toutefois, la qualité des eaux de ces zones humides est influencée par plusieurs paramètres tel le climat, la lithologie souterraine, la pollution... à cet effet, l'identification qualitative de ces eaux et ces évolutions est indispensable pour la protection et la durabilité de ces écosystèmes.

#### III-3-1- Les analyses physico-chimiques

##### La conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) est mesurée pour évaluer la minéralisation globale des eaux des zones humides étudiées. Les résultats des analyses des eaux montrent qu'elles sont chargées en sels (figure 61). La conductivité électrique varie de 13.15 dS/m dans le lac Ayata à 175 dS/m dans le chott Ain El Beida. Il paraît que les deux chotts (Ain El Beida et Oum El-Ranneb) sont les plus salés. La différence très hautement significative ( $P < 0,0001$ ) entre les eaux des différentes zones humides est expliquée par la nature du terrain et la qualité des eaux phréatiques qui est parmi les principales sources d'alimentation de ces zones, ainsi que la profondeur de ces eaux. Cependant les eaux à faibles profondeurs (chott) sont les plus exposées à l'évaporation et par conséquent, l'augmentation de leur charge en sels.

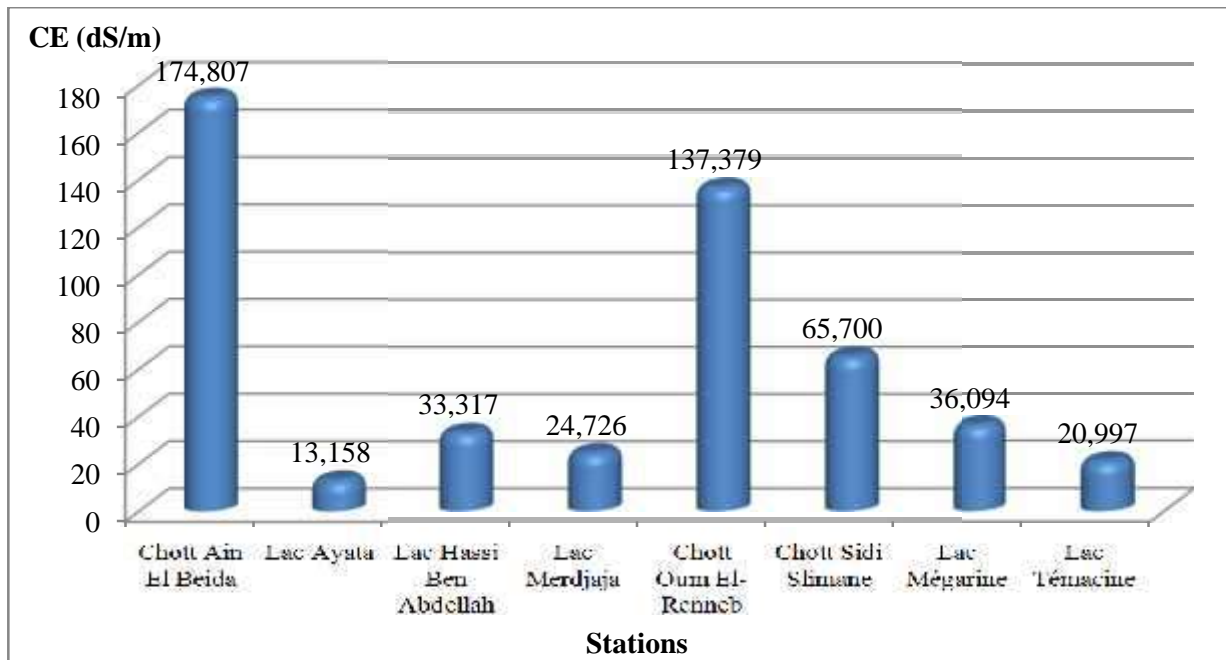


Figure 61 : Salinité des eaux des zones humides étudiées.

Les résultats de la salinité des eaux analysées obtenus (figure 62) montrent une variation saisonnière significative ( $P=0.031$ ). Il apparaît que la conductivité électrique diminue de l'automne à l'hiver ensuite elle augmente au printemps et en été. Les chotts : Ain El Beida et Oum El-Ranneb se trouvent à l'état sec en été. Plusieurs facteurs interviennent dans ces variations. En été, la forte évaporation augmente la concentration des sels dans les chotts et les lacs avant leurs précipitations, en revanche pendant l'hiver, une température moins forte avec un apport important des eaux notamment celles de drainage, favorise la dilution des eaux.

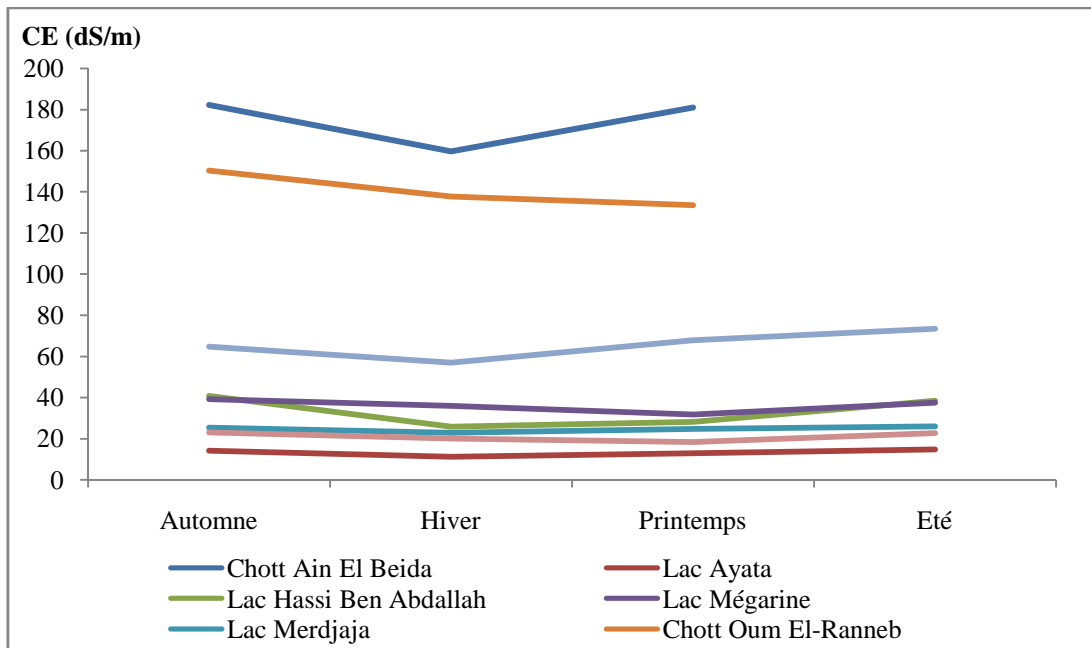


Figure 62 : Variations saisonnières de la salinité des eaux des zones humides étudiées.

### **Le pH**

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il intervient dans ces phénomènes complexes avec d'autres paramètres comme la dureté, le dioxyde de carbone, l'alcalinité et la température.

Le pH correspond à la concentration d'ion hydrogène, il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH est un paramètre primordial pour connaître la nature de ces eaux; il s'agit d'un paramètre déterminant pour tracer le scénario de l'évolution géochimique de tels types des eaux des stations étudiées.

Les résultats d'analyses des eaux des zones humides étudiées (figure 63) montrent que le pH varie significativement entre les stations ( $P<0,0001$ ) et que ses eaux sont caractérisées par des pH alcalins qui varient entre 7.5 et 8.2 pour l'ensemble des stations. Les eaux les plus

alcalines sont celles du lac Mégarine (figure 63). Suivant Diallo (1996), le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH dépend de l'équilibre calco-carbonique ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$   $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ).

D'une façon générale, les eaux très calcaires ont un pH élevé et celles provenant de terrains pauvres en calcaires ou siliceux ont un pH voisin de 7.

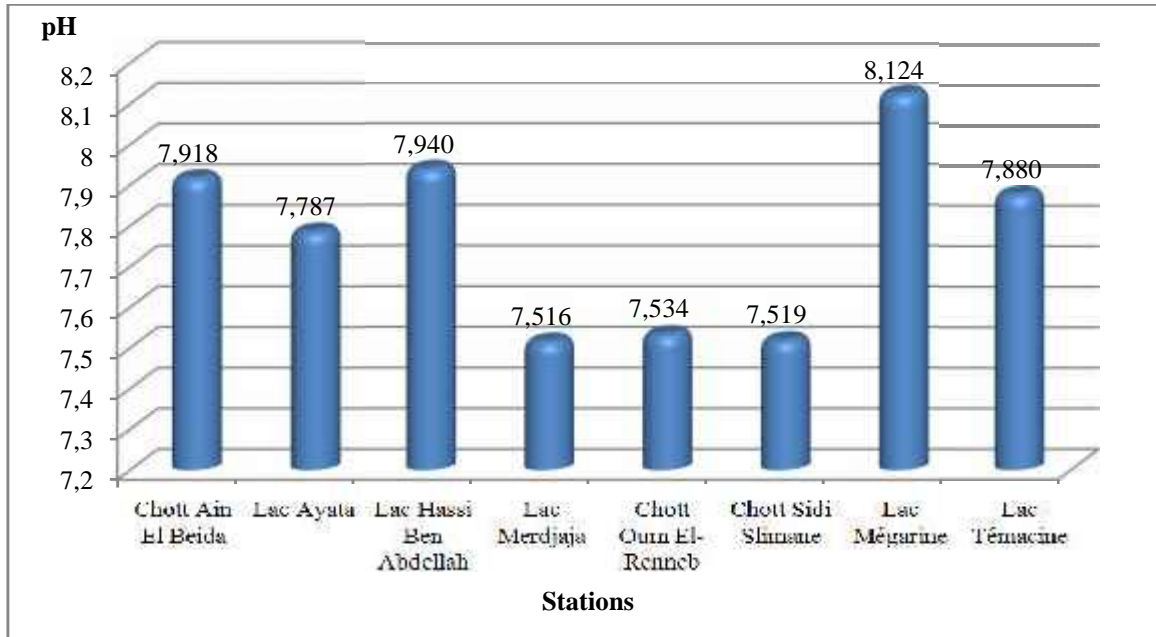


Figure 63 : pH moyen des eaux des zones humides étudiées.

Les résultats présentés dans la figure 64 montrent que la variation saisonnière du pH est significative ( $P= 0,028$ ). On note une diminution du pH en hiver ensuite il augmente au printemps et en été. Ces variations s'expliquent par les fluctuations probables de la salinité qui suivent le cycle géochimique et probablement les fluctuations de la charge en  $\text{CO}_2$  suivant la photosynthèse. L'augmentation du pH en été, s'explique par l'augmentation des concentrations des carbonates et des bicarbonates sous l'effet des fortes évaporations.

Donc l'alcalinité des eaux des zones humides peut s'expliquer par la nature géologique des terrains traversés riches de carbonates et de bicarbonates et de l'effet tampon des eaux de drainage.

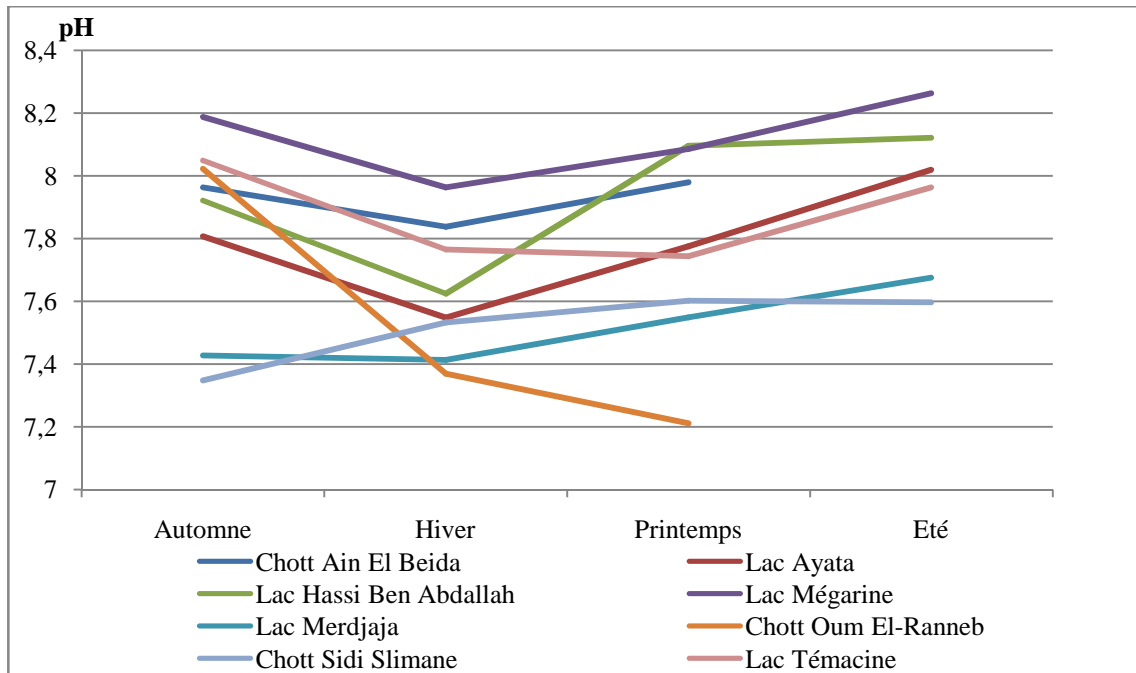


Figure 64 : Variations saisonnières du pH des eaux des zones humides étudiées.

### Les sels solubles

Les résultats des analyses des eaux des zones humides étudiées montrent qu'elles sont chargées en sels solubles, notamment les chlorures et les sulfates pour les anions et le sodium et le magnésium pour les cations.

Le diagramme de Piper (1944) est largement utilisé pour comparer les compositions chimiques des eaux en éléments majeurs. D'après Derron (2000), les faciès hydro-chimiques, sont aussi fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles.

Pour la détermination du faciès chimique et établir le diagramme de Piper, le logiciel DIAGRAMMES est utilisé.

La présentation des résultats dans le diagramme de Piper (figure 65) montre que les eaux analysées ont un faciès chloruré magnésien pour les eaux de lac Ayata, Merdjaja, Mégarine, Témacine et chott d'Ain El Beida. Les eaux de chott Sidi Slimane et chott Oum El-Ranneb ont un faciès chloruré sodique. Il est observé que les chlorures sont dominants par leur origine géologique, précisément lors de la forte évaporation des eaux.

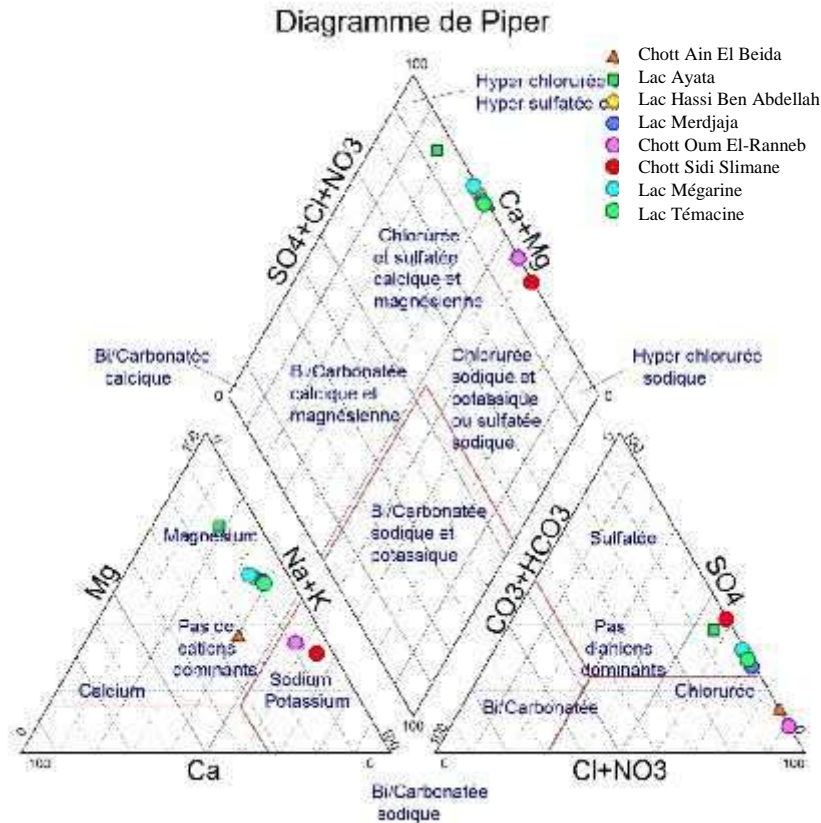


Figure 65 : Présentation des teneurs en sels solubles des eaux dans le diagramme de Piper (1944).

La projection des eaux sur le diagramme de Piper montre que le faciès des eaux ne change pas à travers les saisons (figure 66), ce qui indique que les eaux de ces écosystèmes sont plus ou moins stables. Alors qu'il y a une variation saisonnière significative des taux des sels ( $P=0,01$ ) liée au processus de dissolution/précipitation des sels en fonction des conditions climatiques et apport des eaux (remontée de nappe phréatique en hiver). Dans la même région de Bas Sahara, Hacini (2006) a montré que le faciès des eaux de chott Merouane change d'une saison à l'autre suivant le cycle géochimique.

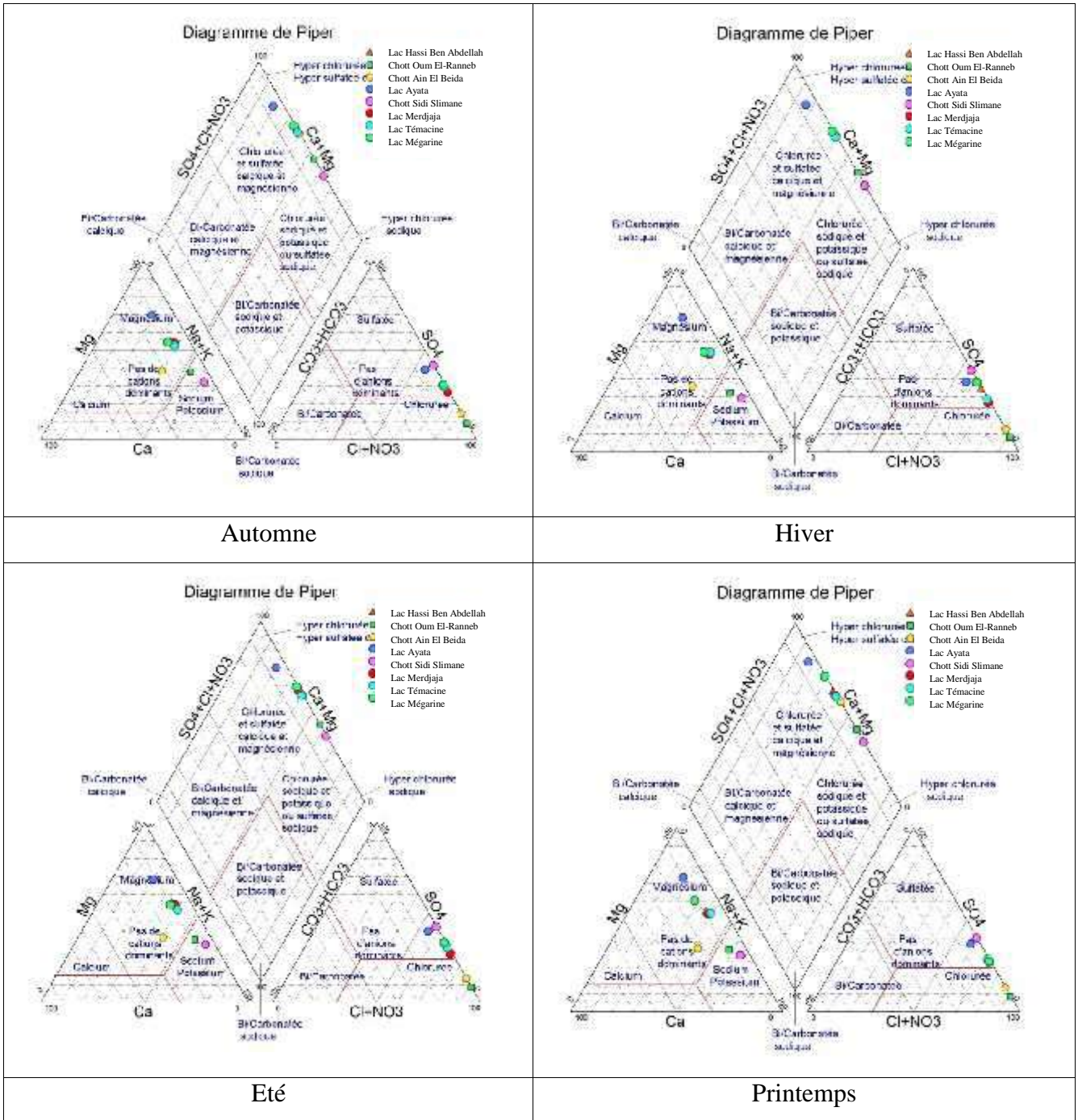


Figure 66 : Présentation des teneurs en sels solubles des eaux dans le diagramme de Piper (1944) à travers les saisons.

### **III-3-2- Aptitudes des eaux à l'irrigation**

La classification d'aptitude des eaux à l'irrigation a été proposée par Richards, chercheur à l'USDA de Riverside en Californie, en 1954, elle a été très utilisée et l'est encore de nos jours. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Cependant, elle ne peut pas servir pour estimer un risque de salinisation ou de sodisation. En effet, cette classification ne peut prendre en compte l'évolution des caractéristiques de l'eau lorsque sa minéralité augmente dans les sols des zones arides et semi-arides, auxquels elle est destinée. Elle donne une vision sur l'état actuel de ces caractéristiques mais ne permet pas d'anticiper sur le devenir de cette eau.

L'eau avec un SAR (Sodium Adsorption Ratio) se situant entre 0 et 6 peut généralement être utilisée sur tous les types de sols, avec une faible accumulation de sodium. Quand le SAR se situe entre 6 et 9, les risques de problèmes liés avec la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas le sol devrait être échantillonné tous les un ou deux ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol (Couture, 2004).

Après avoir reporté toutes les eaux sur le diagramme de Richards (1954) (figure 67), suivant la conductivité électrique et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence des classes suivantes :

- Les eaux de lac Ayata et lac Témachine sont classées à la classe C3S1 (eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel sur sol ayant une bonne perméabilité).
- Les eaux des trois lacs Merdjaja, Mégarine et Hassi Ben Abdallah sont classées à la classe C4S1 (eaux de mauvaise qualité, fortement minéralisées, qui ne peuvent convenir qu'à des espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés).
- Les eaux de chott Sidi Slimane sont classées à la classe C5S4 (eau ne convenant pas à l'irrigation).
- Les eaux des chotts Ain El Beida et Oum El-Ranneb sont hors classement.



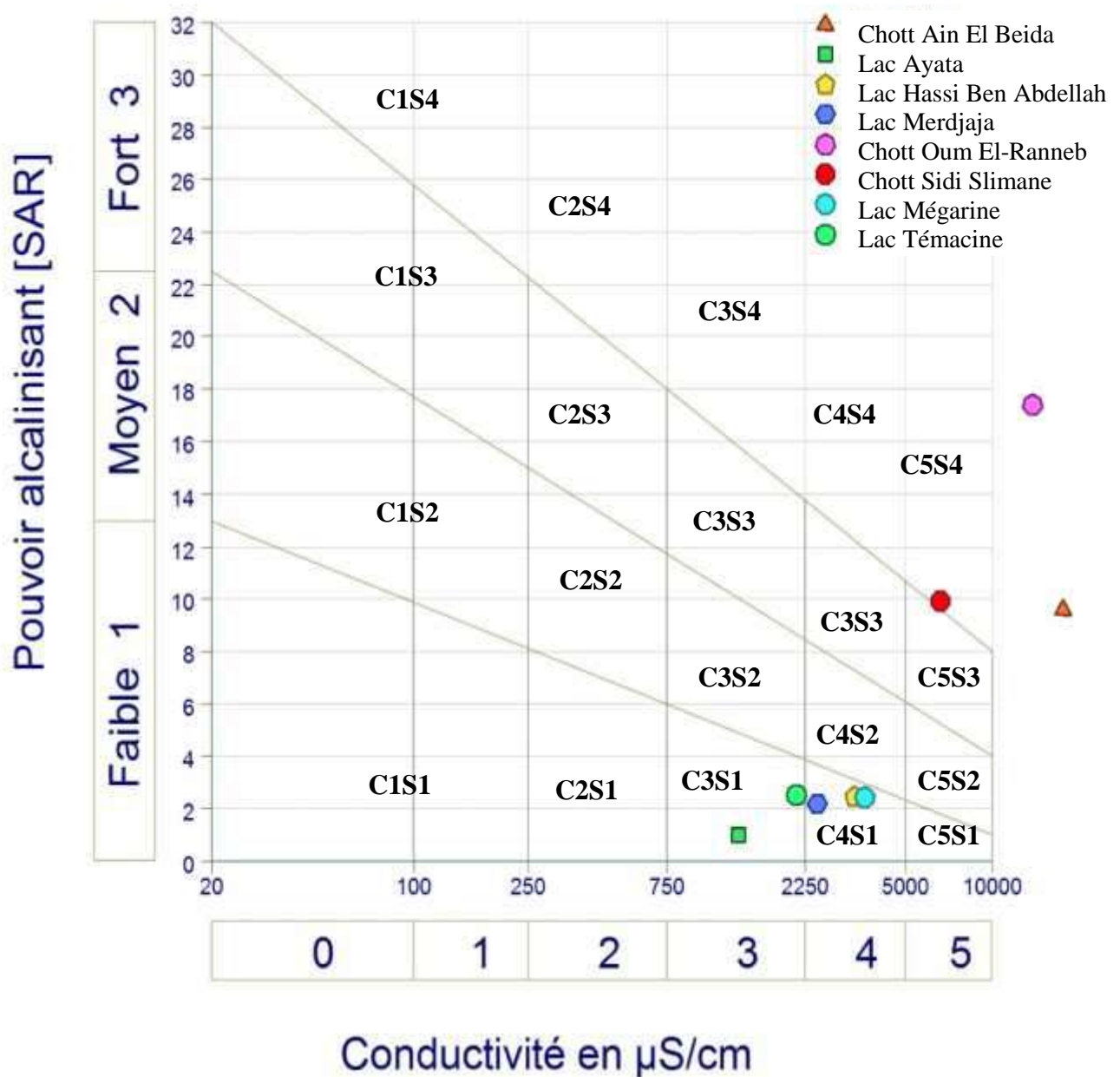


Figure 67 : Présentation des eaux sur le diagramme de Richards (1954).

### III-3-3- Les indicateurs de la pollution

#### 📌 Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. Il est indispensable pour la dégradation biologique des matières polluantes qui se fait principalement en aérobiose (Rejsek, 2008).

L'oxygène, toujours présent dans l'eau, n'en est pas un élément constitutif. Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. L'oxygène dissous conserve ses propriétés oxydantes, soit par une réaction purement chimique en oxydant des composés minéraux ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ...) ou organiques, soit par des phénomènes biochimiques (consommation de l'oxygène par les microorganismes pour assurer la dégradation des constituants de l'eau), soit encore par des réactions électrochimiques (Rodier, 2009).

Les résultats d'analyses montrent que l'oxygène dissous des eaux varie entre 2.5 et 11.5 mg/l pour l'ensemble des stations (figure 68). Ces concentrations relativement faibles reflètent le taux de la charge organique existante réellement dans l'eau, ceci pourrait être expliqué par la dégradation des matières organiques biodégradables déversées dans les plans d'eau par les microorganismes entraînant une consommation de l'oxygène dissous dans l'eau.

L'oxygène dissous varie significativement entre les stations ( $P=0,002$ ). Les valeurs de l'oxygène dissous les plus élevées ont été enregistrées en hiver notamment dans les eaux du lac Ayata, ensuite nous remarquons une diminution en été.

Les variations de la teneur en oxygène pourraient être fonction de la présence des végétaux et des phénomènes de photosynthèse, des matières organiques oxydables, des organismes et des germes aérobies, ainsi que de la perturbation des échanges atmosphériques à l'interface (Rodier, 2009).

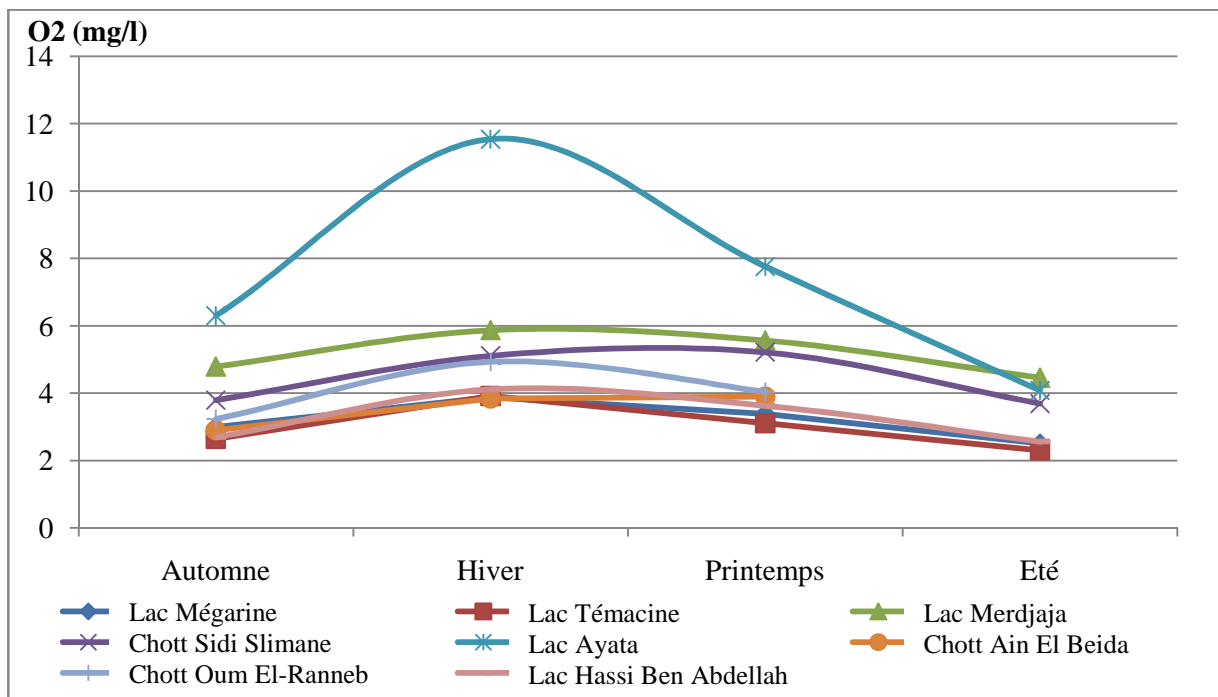


Figure 68 : Variations saisonnières des teneurs des eaux en oxygène dissous.

### La demande chimique en oxygène (DCO)

C'est un paramètre qui donne une indication sur les quantités de substances chimiquement oxydables présentes dans l'eau. La valeur de la DCO est une indication importante, avec laquelle on peut caractériser la pollution globale d'une eau ou des eaux usées par des composés organiques. C'est un des paramètres d'évaluation utilisés pour estimer les taxes de pollution que doivent payer les entreprises. Avec la valeur de la DCO, contrairement à la valeur de la DBO<sub>5</sub>, les composés difficilement dégradables ou biologiquement non dégradables sont également mesurés (Bliefert et Perraud, 2004).

Les résultats obtenus (figure 69) montrent une variation très hautement significative de DCO des eaux analysées ( $P < 0,0001$ ). Il apparaît que la DCO des eaux des lacs (Ayata, Sidi Slimane, Migarine, Merdjaja, Témacine et Hassi Ben Abdallah) ne dépasse pas les 80 mg/l. Ces eaux sont classées de passable à mauvaise qualité suivant Lamy (1995). Les eaux des chotts Ain El Beida et Oum El-Ranneb présentent des valeurs de DCO très élevées. La DCO varie de 585 à 712 mg/l pour le chott d'Ain El Beida et de 655 à 773 mg/l pour le chott Oum El-Ranneb. Ces valeurs indiquent que les eaux de ces chotts sont très chargées en matières organiques liées aux dépôts des eaux usées comme il a été signalé préalablement que ces chotts sont utilisés comme exutoires des eaux usées et de drainage et les fécès des oiseaux migrateurs (photo 09). Les eaux sont de très mauvaise qualité.

L'élévation de DCO au printemps (figure 69) est expliquée par l'augmentation de la température qui accélère les réactions de dégradation des matières organique. L'analyse de variance montre que la variation saisonnière de DCO est très significative ( $P = 0,006$ ).

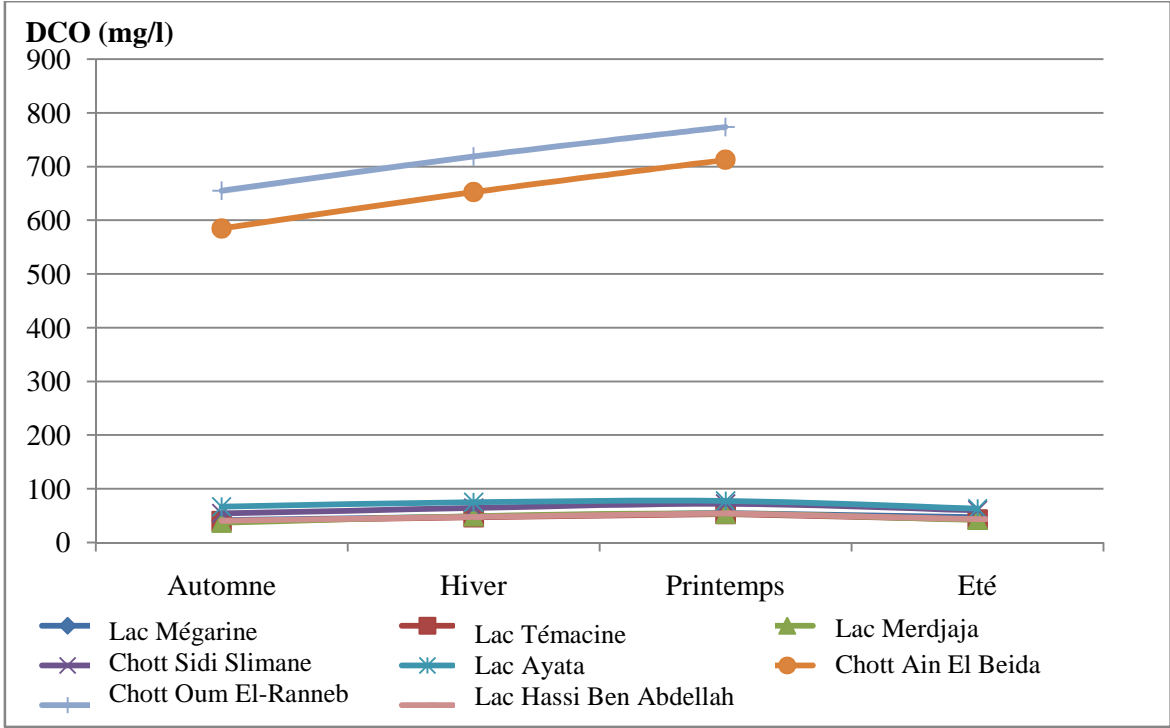


Figure 69 : Variations saisonnières de la DCO des eaux des zones humides étudiées.



Photo 09: Diversement des eaux polluées dans chotts de Ain El Beida à gauche et chott Oum El-Ranneb à droite.

**La demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)**

Les phénomènes d'autoépuration naturelle dans les eaux superficielles résultent de la dégradation des charges organiques polluantes, sous l'action de micro-organismes. Il en résulte une consommation d'oxygène qui s'exprime par la demande biochimique en oxygène ou DBO<sub>5</sub> (Rodier, 2009).

Les résultats obtenus (figure 70) montrent que les valeurs de DBO<sub>5</sub> varient d'une station à l'autre et à travers les saisons d'une façon très hautement significative (P<0,0001). Les valeurs de DBO<sub>5</sub> ne dépassent pas 25mg/l dans les eaux de lac Témacine, lac Merdjaja, chott Sidi Slimane, chott Oum El-Ranneb et lac Hassi Ben Abdallah. Ces eaux sont donc classées de passable à de mauvaise qualité. Les eaux de chott d'Ain El Beida présente de très faibles valeurs de DBO<sub>5</sub>, conséquence des fortes salures qui inhibent l'activité microbienne. La DBO<sub>5</sub> est plus importante dans les eaux de lac Ayata, dépassant les 35mg/l au printemps. Ceci indique que les eaux de ce lac sont riches en matière organique biodégradables (photo 10).

Les résultats montrent que la DBO<sub>5</sub> augmente au printemps et en été sous l'effet de la température qui affecte tous les processus biologiques (Djermakoye, 2005). Dans le chott Sidi Slimane la DBO<sub>5</sub> diminue en été par le décroissement de l'activité microbienne sous l'effet de la salinité.

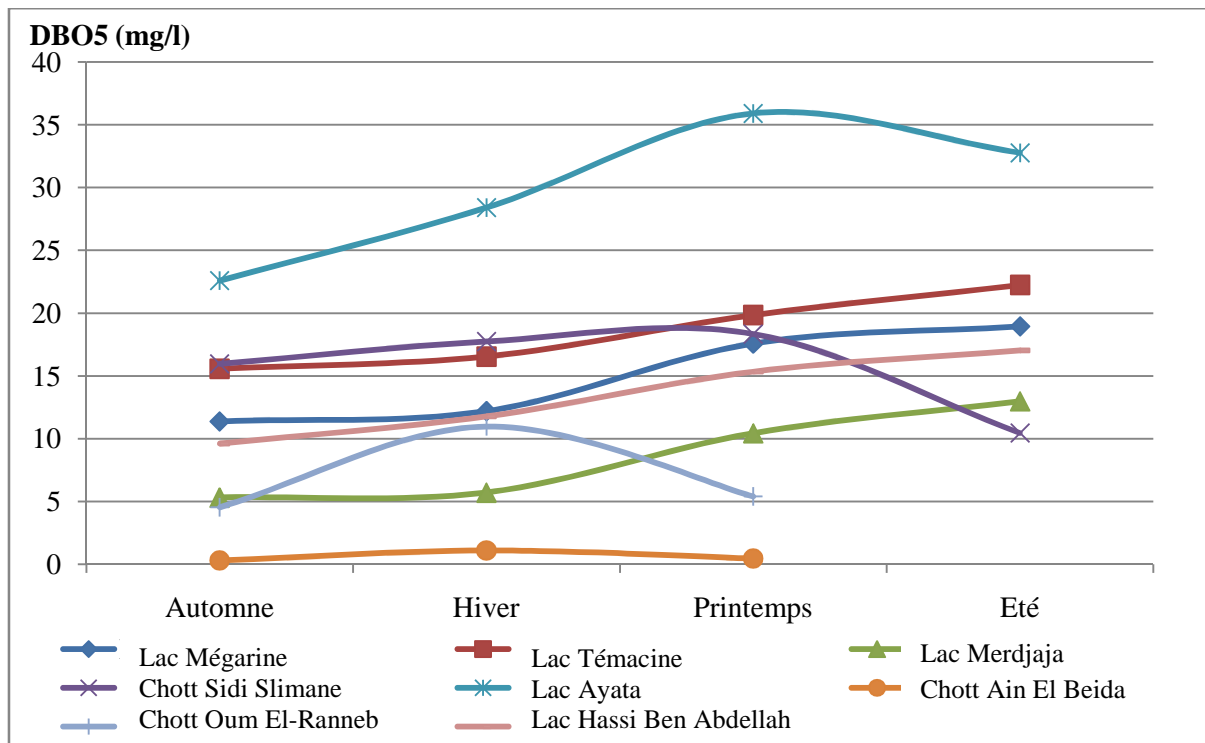


Figure 70 : Variations saisonnières de la DBO<sub>5</sub> des eaux des zones humides étudiées.



Photo 10: Pollution des eaux du lac Ayata par la matière organique.

#### **La matière organique (MO)**

La détermination de la teneur en matière organique est un indicateur de la qualité des eaux. Les résultats présentés dans la figure 71 montrent que suivant les stations et les saisons, la teneur en matière organique varie d'une façon très hautement significative ( $P < 0,0001$ ). En effet, les eaux des deux chotts Oum El-Ranneb et Ain El Beida sont les plus chargées en matières organiques avec, successivement, 261.52 mg/l et 237.74mg/l enregistrées au printemps. Cette richesse des eaux est liée à l'évacuation des eaux usées (très riche en matière organique) dans ces deux stations. Les eaux des autres stations présentent des teneurs en matières organiques ne dépassant pas les 50mg/l.

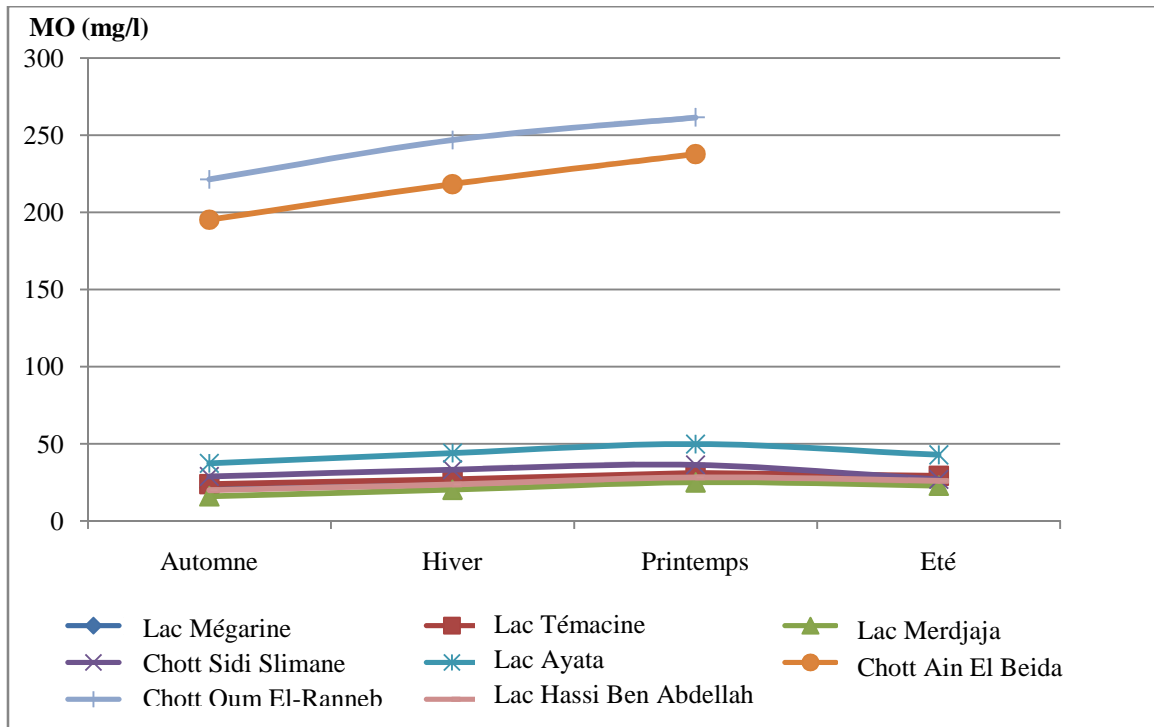


Figure 71 : Variations saisonnières de la teneur en matière organique des eaux des zones humides étudiées.

### III-3-4-Approche statistique

#### L'Analyse en Composante Principale (ACP)

Pour déterminer la relation entre les paramètres physicochimiques des eaux et les facteurs sources de ses variations nous avons utilisé l'Analyse en Composante Principale (ACP). Ainsi deux sources de variabilité importantes apparaissent suivant l'inertie des axes. Le plan factoriel de l'ACP (figure 72) est constitué par le croisement du premier et du second axe factoriel. Pour déterminer la source de variabilité représentée par le premier axe, on oppose les éléments situés à droite contre ceux qui sont situés à gauche. Ainsi, pour le premier axe factoriel, on retrouve, tous les éléments solubles avec la  $DBO_5$ , qui est lié à l'activité microbienne influencée par la température, le pH et la salinité. Le côté positif de cet axe exprime la concentration des eaux en sels sous l'effet des hautes températures avec le phénomène d'évaporation. Le côté négatif exprime une bonne activité microbienne reflétant l'amélioration des conditions physicochimiques notamment la salinité et la température. Donc, on peut dire que le premier axe exprime l'effet du facteur climat (évaporation et température) sur les caractéristiques des eaux.

Pour déterminer la source de variabilité représentée par le deuxième axe, on oppose les éléments situés en haut ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{O}_2$  et  $\text{HCO}_3^-$ ) aux éléments situés en bas (pH). On peut dire que cet axe exprime le phénomène d'oxydoréduction et calco-carbonique dans les eaux salées étudiées.

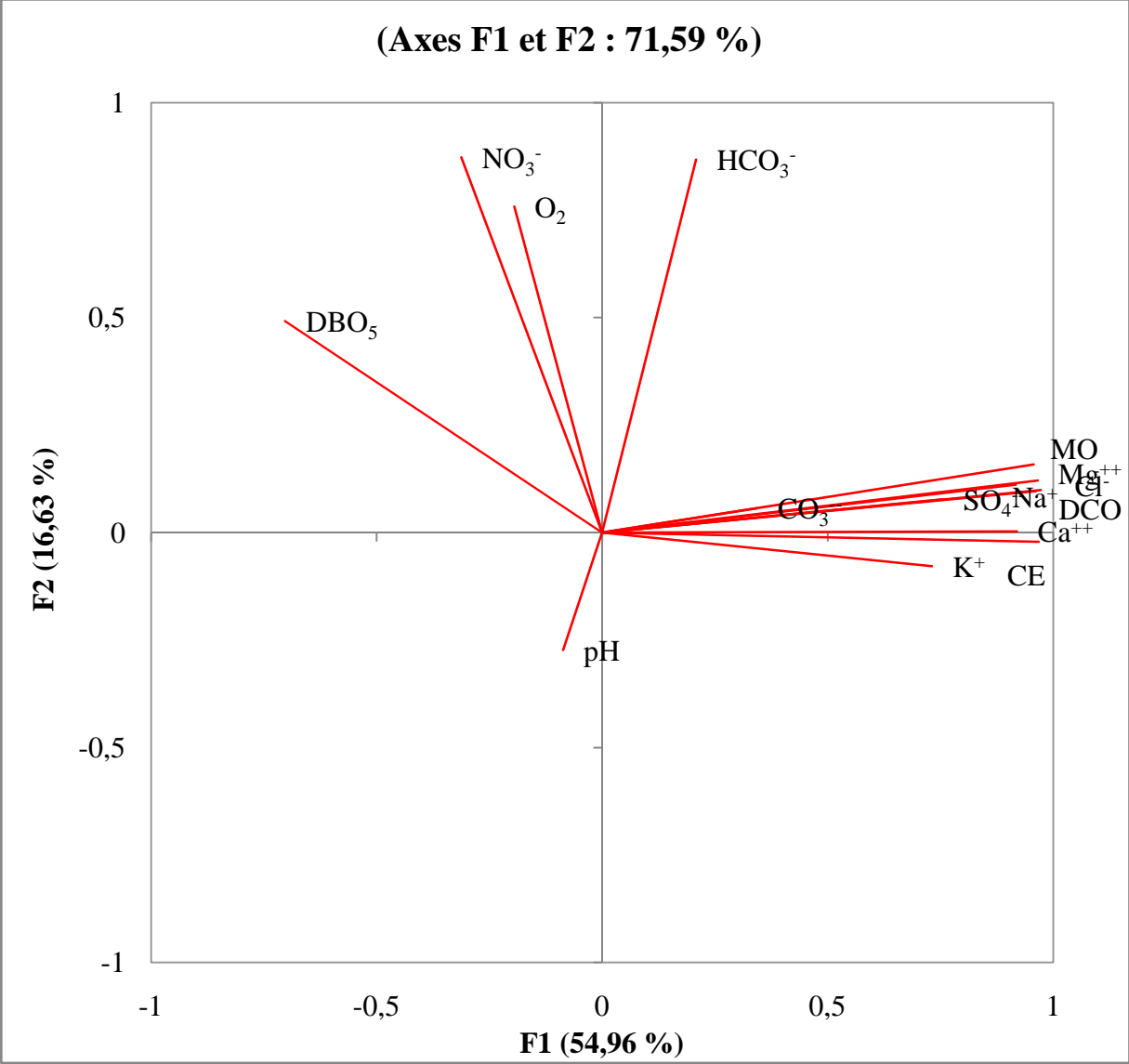


Figure 72 : Représentation sur le plan factoriel de l'ACP des caractéristiques des eaux des zones humides étudiées.



**L'analyse factorielle des correspondances (AFC)**

La superposition des résultats d'analyses des eaux et les différentes stations étudiées sur le plan factoriel de l'AFC (figure 73) montre la présence de trois groupes ; le premier groupe composé de chott d'Ain El Beida caractérisée par des eaux très riches en sels solubles et en matière organique. Le deuxième groupe composé de chott d'Oum El-Ranneb avec des eaux extrêmement salées et très riches en matière organique. Le troisième groupe composé de toutes les autres stations (chott Sidi Slimane et les lacs Mégarine, Témacine, Merdjaj, Ayata et Hassi Ben Abdallah) qui sont caractérisées par des eaux salées et moins riches en matière organique. Ainsi on peut dire que cet axe exprime un gradient décroissant de salinité et de pollution (teneur en matière organique). L'importance de l'inertie de cet axe (72,82%) montre que ces deux éléments sont les principaux facteurs de différenciation entre les eaux étudiées. Le deuxième axe présente une inertie de 18,22%, ceci traduit la faible contribution de ce facteur dans la différenciation entre les stations. Les stations du troisième groupe se trouvent sur l'axe, montrant que ce groupe ne contribue pas à la formation de deuxième axe. Seuls le premier et le deuxième groupe jouent un rôle sur cet axe en exprimant la variation de taux de pollution et le type de la salinité (faciès des eaux).

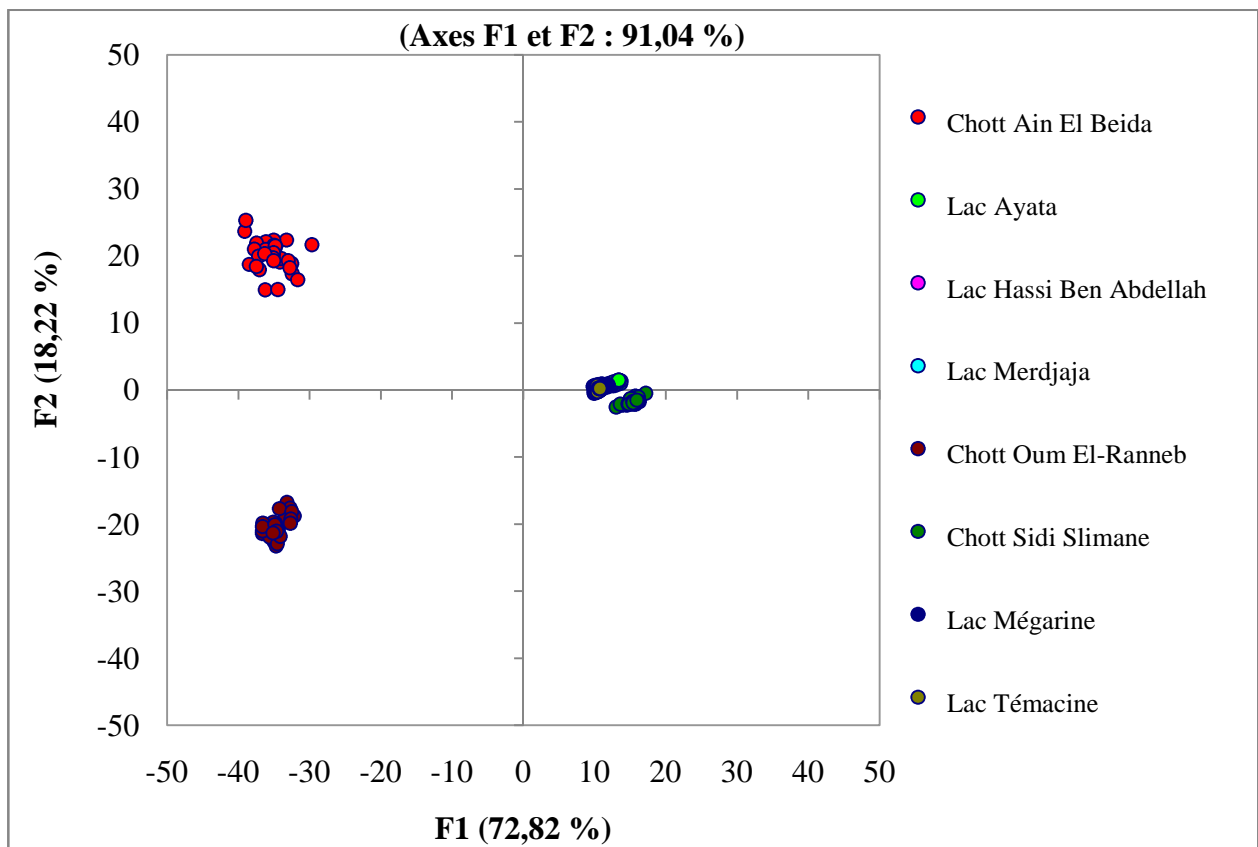


Figure 73 : Représentation sur le plan factoriel de l'AFC des groupes de zones humides suivant la qualité de leurs eaux.

### **Discussion générale**

Les résultats des analyses effectuées sur les eaux des zones humides du Bas Sahara ont montré qu'elles sont très salées. La salinité des eaux varie saisonnièrement sous l'effet des conditions climatiques et de la remontée des eaux phréatiques. Les eaux sont généralement alcalines.

La qualité des eaux varie d'une station à l'autre en relation avec les ressources en eaux (nappe phréatique, eau de drainage agricole et urbain). Les résultats des indicateurs de la pollution ont montré que les eaux des deux chotts, Ain El Beida et Oum El-Ranneb, sont très polluées avec un taux très important de matière organique et extrêmement riches en sels. Les eaux des autres zones humides (chott Sidi Slimane et les lacs Mégarine, Témacine, Merdjaj, Ayata et Hassi Ben Abdallah) sont salées et moins riches en matière organique. Donc on peut dire que la salinité et la teneur en matière organique sont les principaux facteurs de différenciation entre les eaux étudiées.

La projection des eaux sur le diagramme de Piper montre que le faciès des eaux est chloruré magnésien et chloruré sodique et qui ne change pas à travers les saisons, ce qui indique que les eaux de ces écosystèmes sont plus ou moins stables. Au même temps, il y a une variation saisonnière significative des taux des sels liée au processus de dissolution/précipitation des sels en fonction des conditions climatiques et apport des eaux (remontée de nappe phréatique en hiver).

La classification des eaux sur le diagramme de Richards montre que les eaux de lac Ayata, lac Témacine, lac Merdjaja, lac Mégarine et lac Hassi Ben Abdallah sont salées et peuvent être utilisées pour l'irrigation des cultures bien tolérantes avec un bon drainage. Les eaux du chott Sidi Slimane ne conviennent pas à l'irrigation. Les eaux des chotts Ain El Beida et Oum El-Ranneb sont hors classement.

### **III-4- Etude phytoécologique des zones humides**

#### **III-4-1- Relation sol-eau**

En zones arides, les principales ressources d'alimentation en eau des zones humides sont les eaux de drainage et les eaux phréatiques. Ainsi, les caractéristiques édaphiques de ces zones sont en relation étroite avec la dynamique et la qualité de ces eaux. Pour déterminer la relation entre les caractéristiques du sol et la qualité des eaux des zones humides du Sahara septentrional, nous nous sommes basé sur la matrice de corrélation de Person et l'analyse de correspondance principale (ACP).

La matrice de corrélation (tableau 06) montre une corrélation positive et significative entre la salinité et les sels solubles des eaux et la salinité des sols. Ceci confirme que les eaux salées des zones humides contribuent à la salinisation des sols. Les corrélations négatives entre les sels solubles des eaux et ceux des sols expriment le phénomène de dissolution/précipitation de ces sels sous l'effet des conditions climatiques et fluctuations des eaux phréatiques. Elles peuvent être aussi expliquées par l'autre origine des sels qui est la roche mère.

Les sulfates des eaux présentent une corrélation positive et significative avec les sulfates de la solution du sol et la teneur en gypse. Cette relation nous permet de dire que l'origine du gypse dans le sol est la précipitation des sulfates en excès dans l'eau et la solution du sol.

L'analyse des correspondances principales (ACP) montre que trois facteurs expliquent la relation entre l'eau et le sol des zones humides étudiées, présentent au total 63.47% d'inertie (figure 74). Le premier plan factoriel de l'ACP est constitué par la combinaison des axes du premier et du deuxième facteur. Le premier axe (32.89% d'inertie) oppose les sels solubles des eaux du côté droit et les sels solubles de la solution du sol du côté gauche. Donc, on peut dire que cet axe exprime le processus de dissolution/précipitation des sels solubles. La présence de la salinité des eaux et des sols au même coté de cet axe explique la relation positive entre les deux salinités confirmée avec nos résultats qui indique que les chotts (Ain El Beida, Sidi Slimane, Oum El-Ranneb) se caractérisent par les eaux et les sols les plus salés et qui prend la même évolution saisonnière.

Le deuxième axe (17.10% d'inertie) oppose les éléments solubles dont la concentration augmente avec la salinité, à savoir le  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  et le  $Na^+$ , avec les éléments dont

la concentration est contrôlée par la précipitation de certains minéraux (calcaire, gypse,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ) (figure 74). Donc on peut dire que cet axe traduit la concentration globale des solutions du sol sous l'effet de l'évaporation et donc du climat.

Tableau 06 : Matrice des corrélations des caractéristiques des sols et des eaux.

	CE.E	pH.E	Cl.E	SO4.E	Na.E	Ca.E	Mg.E	K.E	MO.E	HCO3.E	CO3.E	NO3.E
CE.S	0,424(**)	-0,083	0,287(**)	0,713(**)	0,282(**)	0,401(**)	0,318(**)	0,417(**)	0,278(**)	0,370(**)	0,217(**)	0,326(**)
pH.S	-0,025	0,392(**)	-0,109	-0,163(**)	-0,150(*)	0,052	-0,090	0,137(*)	-0,096	-0,344(**)	0,008	-0,405(**)
H.S	0,435(**)	-0,044	0,255(**)	0,494(**)	0,249(**)	0,359(**)	0,245(**)	0,352(**)	0,242(**)	-0,133(*)	0,161(**)	-0,111
Cl.S	0,154(*)	0,038	0,003	0,454(**)	-0,023	0,233(**)	0,064	0,326(**)	0,037	0,449(**)	0,172(**)	0,460(**)
HCO3.S	-0,401(**)	0,063	-0,505(**)	-0,052	-0,465(**)	-0,419(**)	-0,513(**)	-0,275(**)	-0,547(**)	-0,361(**)	-0,154(*)	0,006
SO4.S	-0,102	-0,324(**)	-0,216(**)	0,213(**)	-0,157(*)	-0,232(**)	-0,258(**)	-0,159(*)	-0,309(**)	-0,478(**)	-0,086	-0,126(*)
NO3.S	0,142(*)	-0,153(*)	0,212(**)	0,151(*)	0,208(**)	0,168(**)	0,213(**)	0,107	0,218(**)	0,177(**)	0,156(*)	0,052
Ca.S	-0,035	-0,356(**)	-0,152(*)	0,397(**)	-0,098	-0,128(*)	-0,174(**)	-0,065	-0,216(**)	-0,138(*)	-0,023	0,157(*)
Mg.S	-0,441(**)	0,477(**)	-0,439(**)	-0,466(**)	-0,438(**)	-0,403(**)	-0,428(**)	-0,302(**)	-0,433(**)	-0,206(**)	-0,125(*)	-0,045
Na.S	0,209(**)	0,465(**)	0,009	0,163(**)	-0,096	0,422(**)	0,116	0,583(**)	0,087	0,273(**)	0,216(**)	0,107
K.S	-0,152(*)	0,473(**)	-0,218(**)	-0,269(**)	-0,259(**)	-0,070	-0,180(**)	0,049	-0,207(**)	-0,273(**)	-0,027	-0,242(**)
CaSO4.S	-0,188(**)	0,041	-0,333(**)	0,214(**)	-0,310(**)	-0,180(**)	-0,319(**)	-0,053	-0,362(**)	-0,187(**)	-0,084	0,120
CaCO3.S	-0,037	0,108	-0,162(**)	0,150(*)	-0,165(**)	-0,008	-0,152(*)	0,098	-0,183(**)	-0,276(**)	-0,111	-0,103
MO.S	-0,498(**)	-0,311(**)	-0,551(**)	-0,147(*)	-0,494(**)	-0,532(**)	-0,576(**)	-0,411(**)	-0,582(**)	-0,129(*)	-0,153(*)	0,295(**)

Test de corrélation : Percen

\*\* La corrélation est significative au seuil  $\alpha$  où  $p < 0.01$ .

\* La corrélation est significative au seuil  $\alpha$  où  $p < 0.05$ .

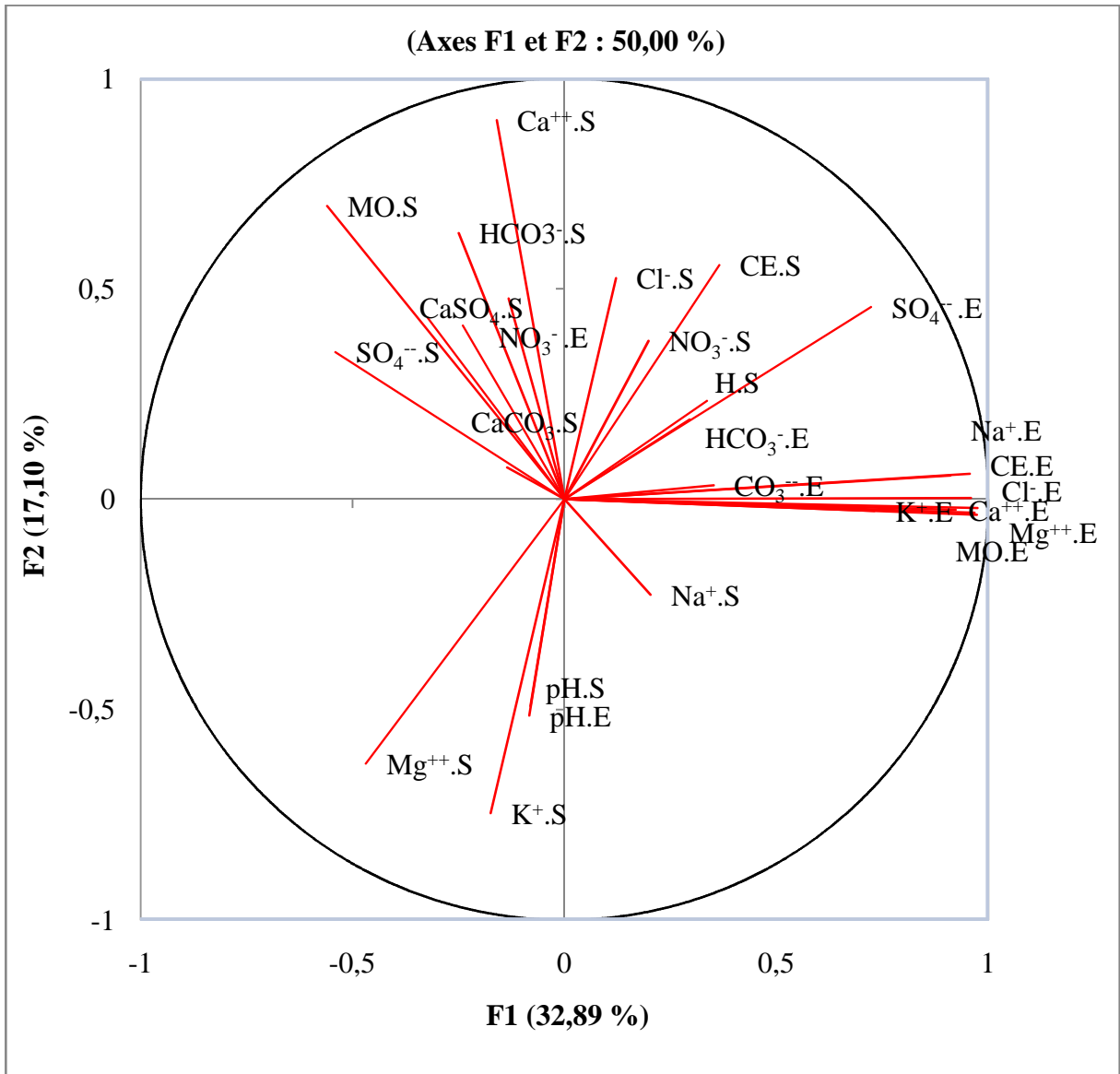


Figure 74 : Représentation sur le plan factoriel de l'ACP (axes 1 et 2) des caractéristiques des eaux et des sols.

Le deuxième plan factoriel de l'ACP est constitué par la combinaison des axes de deuxième et de troisième facteur (figure 75). Le premier axe a été expliqué dans le premier plan. Pour le deuxième axe (13.47% d'inertie) oppose les sels solubles dominants dans l'eau aux sels dominants dans le sol. Ceci reflète le changement de faciès chimique du sol à celui d'eau qui confirme que l'eau n'est pas la seule source en sels pour les sols.

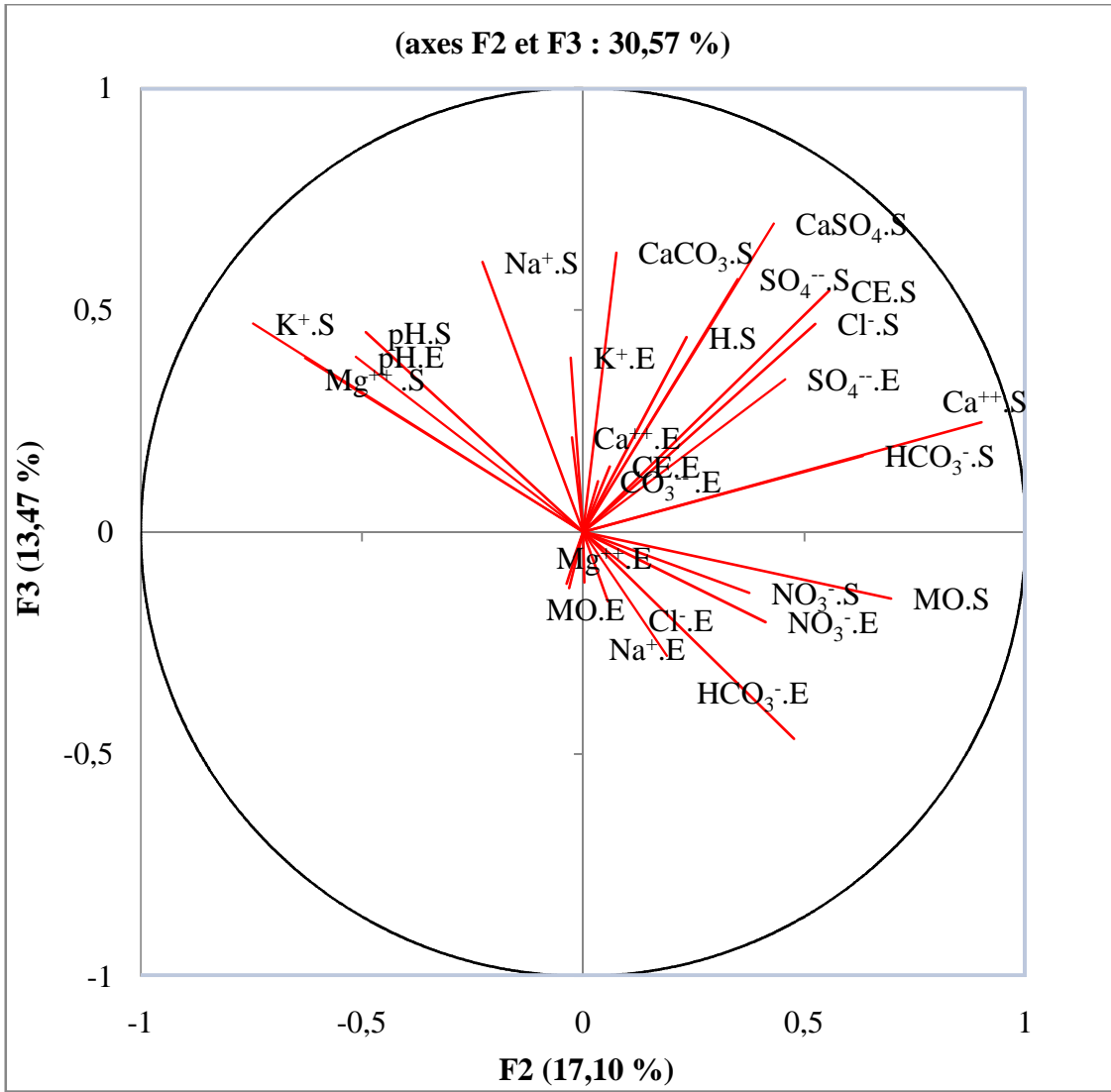


Figure 75 : Représentation sur le plan factoriel de l'ACP (axes 2 et 3) les caractéristiques des eaux et des sols.

### III-4-2- Etude phytoécologique

Cette étude nous permet de comprendre les relations entre les plantes et leur milieu. Deux méthodes d'analyses sont appliquées. La première est une méthode analytique selon Godron (1968) et Guillerm (1971), qui met en évidence les relations entre un facteur de l'environnement et les différentes espèces de la flore du milieu, à travers les profils écologiques. La seconde est une approche globale réalisée à partir d'une Analyse Canonique de Correspondance (ACC) dans laquelle l'ensemble des relations interspécifiques ou des relations entre les espèces et les facteurs du milieu, est pris en compte simultanément, tel que décrit par Cordier (1965), Romane (1972) et Benzecri (1964, 1973).

#### a- Information mutuelle espèce facteur écologique

Pour étudier l'écologie de la végétation des zones humides du Sahara Septentrional algérien nous avons retenu trois paramètres à savoir ; la distance par rapport au plan d'eau, la salinité et l'humidité des sols. Ces descripteurs ont été divisés en classes afin de mettre en évidence les groupes écologiques. Pour cela, nous avons réalisé des relevés pour chaque classe. Le nombre de relevés des classes est présenté dans le tableau 07.

Tableau 07: Classes des descripteurs

Descripteurs	classes	Nombre de relevés dans chaque classe	H(L)	H(L) max	Q
Distance /plan d'eau	Classe 1	256	2	2	1
	Classe 2	256			
	Classe 3	256			
	Classe 4	256			
Salinité	Classe 1	54	1.52	2	0.76
	Classe 2	524			
	Classe 3	375			
	Classe 4	71			
Humidité	Classe 1	125	1.68	2	0.84
	Classe 2	429			
	Classe 3	403			
	Classe 4	67			

H(L) : entropie facteur, H(L) max : entropie maximal du facteur, Q : qualité de l'échantillonnage.



Le tableau 07 relève que les classes du premier descripteur (distance par rapport au plan d'eau) comprennent le même nombre de relevés alors que les relevés de salinité et d'humidité du sol varient d'une classe à l'autre. Par ailleurs, dans le but de juger la valeur de répartition de nos relevés dans les diverses classes, nous avons procédé au calcul de l'entropie relative à chaque facteur  $H(L)$  qui définira la qualité de l'échantillonnage, sachant que les facteurs les mieux échantillonnées auront un rapport entropie facteur  $H(L)/H(L)$  max voisin de 1. De ce fait nous avons obtenu une qualité d'échantillonnage de 1, 0.76 et 0.84 respectivement pour les facteurs distance par rapport au plan d'eau, salinité et humidité. Ces valeurs nous permettent de dire que notre échantillonnage est de bonne qualité.

La mesure de la quantité d'information, apportée par une espèce par rapport à un descripteur, permet de définir l'entropie du système plante-descripteur (Godron, 1966). Long(1974) conclue que les espèces présentant la meilleure relation avec les variables sont celles dont la fréquence relative est voisine de 50% et qui sont présentes par conséquent, dans un relevé sur deux. Les espèces rares et les espèces plus fréquentes ont une entropie plus faible et sont donc moins « porteuses d'information ». L'entropie dépend donc directement de l'échantillonnage, ce qui constitue un a priori quant à l'écologie des espèces et à la possibilité qu'une espèce peu fréquente puisse indiquer un milieu.

Plus  $I(L;E)$  est forte, plus une espèce apporte des informations sur les états d'un paramètre écologique. La valeur de  $I(L;E)$  pour une espèce donnée constitue la valeur indicatrice de l'espèce par rapport au descripteur étudié. Le rangement des espèces par rapport à leur information mutuelle en relation avec un descripteur permet de sélectionner les « espèces indicatrices » de variables du milieu.

Pour déterminer les espèces indicatrices des facteurs écologiques étudiés, nous avons classé leurs valeurs de l'information mutuelle par ordre décroissant.

Les groupes écologiques ont été élaborés sur la base des profils de fréquences corrigées et de l'information mutuelle. L'optimum écologique de l'espèce est donné par la valeur de l'état du facteur où sa probabilité de présence est la plus forte. Le regroupement des espèces indicatrices, d'après leur optimum écologique et leur classement d'après la valeur de l'information mutuelle permet d'établir des groupes d'espèces ayant le même comportement écologique vis-à-vis des facteurs étudiés (Feltzines, 1982).

**a-1- Localisation des espèces par rapport au plan d'eau**

Les résultats de la fréquence relative (tableau 08) montrent que sept espèces ont de préférence la classe 4 c'est-à-dire se localisent loin du plan d'eau ; six espèces préfèrent la classe 3 (15m du plan d'eau) ; trois espèces seulement ont de préférence la deuxième classe et en dernier une seule espèce *Juncus maritimus* dans la classe 1, la plus proche du plan d'eau et se trouve inondée pendant une longue période de l'année. De ce fait 41% des espèces ont pour préférence la classe 4 et 35% la classe 3.

Tableau 08 : Fréquence relative des espèces selon les classes de localisation par rapport au plan d'eau.

	5m	10m	15m	20m
<i>Juncus maritimus</i>	<b>0,664</b>	0,656	0,312	0,218
<i>Phragmites communis</i>	0,906	<b>0,937</b>	0,718	0,625
<i>Tamarix gallica</i>	0,437	<b>0,4375</b>	0,433	0,191
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	0,593	<b>0,625</b>	0,316	0,277
<i>Suaeda fruticosa</i>	0,093	0,093	<b>0,094</b>	0,062
<i>Salicornia fruticosa</i>	0,094	0,094	<b>0,095</b>	0,094
<i>Traganum nudatum</i>	0,031	0,027	<b>0,032</b>	0,003
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	0,031	0,031	<b>0,032</b>	-
<i>Aeluropus littoralis</i>	0,093	0,312	<b>0,437</b>	0,406
<i>Cynodon dactylon</i>	0,125	0,187	<b>0,251</b>	0,250
<i>Zygophyllum album</i>	0	0,187	0,312	<b>0,343</b>
<i>Limonastrirum guynianum</i>	0,0312	0,093	0,125	<b>0,156</b>
<i>Cornulaca monacantha</i>	-	-	0,031	<b>0,032</b>
<i>Cistanche tinctoria</i>	-	-	-	<b>0,007</b>
<i>Cressa cretica</i>	-	-	0,031	<b>0,062</b>
<i>Mollugo nudicaulis</i>	-	-	0,062	<b>0,093</b>
<i>Sonchus maritimus</i>	0,125	0,125	0,218	<b>0,250</b>

Pour tirer le maximum d'information sur les profils écologiques et afin de mesurer la plasticité écologique de chaque espèce vis-à-vis du plan d'eau, nous avons calculé l'amplitude d'habitat (AH) et le barycentre (G) qui sont présentés dans le tableau 09.

Tableau 09 : Amplitude d'habitat (AH) et le barycentre (G) des espèces pour le facteur distance par rapport au plan d'eau.

Espèces	AH	G	5m	10m	15m	20m
<i>Tamarix gallica</i>	1,838	2,252	— + —			
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	1,776	2,153	— + —			
<i>Aeluropus littoralis</i>	1,768	2,925	— + —			
<i>Cynodon dactylon</i>	1,733	2,769	— + —			
<i>Juncus maritimus</i>	1,716	2,046	— + —			
<i>Sonchus maritimus</i>	1,683	2,826	— + —			
<i>Zygophyllum album</i>	1,573	3,185	— + —			
<i>Salicornia fruticosa</i>	1,470	2,5	— + —			
<i>Limonastrirum guynianum</i>	1,465	3	— + —			
<i>Suaeda fruticosa</i>	1,439	2,363	— + —			
<i>Phragmites communis</i>	1,344	2,333	— + —			
<i>Mollugo nudicaulis</i>	1,187	3,6	— + —			
<i>Traganum nudatum</i>	1,157	2,083	— + —			
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	1,151	2	— + —			
<i>Cressa cretica</i>	1,130	3,666	— + —			
<i>Cornulaca monacantha</i>	1,098	3,5	— + —			
<i>Cistanche tinctoria</i>	1,016	4	— + —			

### Espèces généralistes

Ce sont les espèces qui présentent une large distribution c'est-à-dire les espèces qui se localisent le long des transects (toutes les placettes échantillonnées).

A partir des résultats obtenus (tableau 09, figure 76), nous remarquons que les espèces qui présentent l'amplitude d'habitat la plus large sont en nombre de 6. Selon les valeurs de barycentre, les espèces généralistes se divisent en deux sous-groupes :

-le premier groupe réunit trois espèces qui trouvent leur optimum écologique au niveau de la deuxième classe (10m du plan d'eau) à savoir *Tamarix gallica*, *Halocnemum strobilaceum* et *Juncus maritimus*.

-le deuxième groupe assemble aussi trois espèces qui trouvent leur optimum écologique au

niveau de troisième classe (15m du plan d'eau) qui sont *Aeluropus littoralis*, *Cynodon dactylon* et *Sonchus maritimus*.

### Espèces spécialistes

C'est le groupe d'espèces qui montrent une amplitude qui s'étend sur une seule classe, voir débordant, légèrement, sur une deuxième. Ce groupe est composé de quatre espèces qui trouvent leur optimum écologique au niveau de la quatrième classe (la limite des transects) à savoir *Mollugo nudicaulis*, *Cressa cretica*, *Cornulaca monacantha* et *Cistanche tinctoria*.

### Espèces intermédiaires

C'est le groupe des espèces qui présentent une amplitude d'habitat s'étendant sur trois classes voir débordant légèrement sur la quatrième classe. Ce groupe assemble sept espèces divisées selon les valeurs de barycentre en trois sous-groupes :

-un sous-groupe réunit deux espèces *Traganum nudatum* et *Arthrocnemum glaucum* qui ont 1.15 d'amplitude d'habitat et trouvent leur optimum écologique dans la deuxième classe avec une valeur de barycentre de 02.

-un sous-groupe composé de trois espèces *Phragmites communis* avec une valeur de G égale à 2.33, ce qui veut dire que cette espèce trouve son maximum de développement au niveau de la deuxième classe. Les deux autres espèces *Salicornia fruticosa* et *Suaeda fruticosa* présentent leur optimum de développement dans la troisième classe.

-un autre sous-groupe composé de deux espèces seulement *Zygophyllum album* et *Limonastrirum guynianum* qui trouvent leur optimum dans la classe 4.

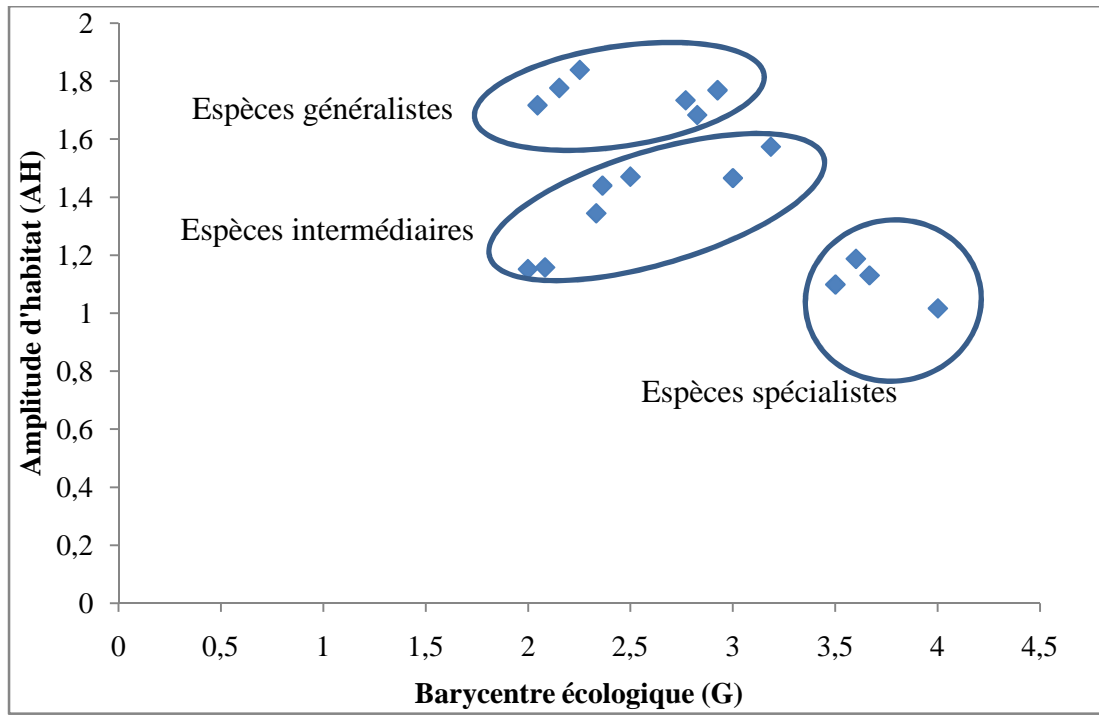


Figure 76 : Groupes des espèces suivant leur positionnement par rapport au plan d'eau.

➤ **Groupes écologiques**

Les groupes écologiques ont été élaborés sur la base des profils de fréquences corrigées et de l'information mutuelle des espèces (tableau 10).

Tableau 10: Information mutuelle des espèces.

Espèces	I ( L;E)
<i>Sonchus maritimus</i>	0,001
<i>Phragmites communis</i>	1,147
<i>Tamarix gallica</i>	1,310
<i>Traganum nudatum</i>	1,333
<i>Salicornia fruticosa</i>	1,5
<i>Juncus maritimus</i>	1,666
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	1,827
<i>Mollugo nudicaulis</i>	2
<i>Aeluropus littoralis</i>	2,460
<i>Cynodon dactylon</i>	2,608
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	2,7
<i>Zygophyllum album</i>	2,769
<i>Suaeda fruticosa</i>	3,111
<i>Cistanche tinctoria</i>	4
<i>Cressa cretica</i>	4
<i>Cornulaca monacantha</i>	4
<i>Limonastrirum guynianum</i>	4,1

Les valeurs de l'information mutuelle des espèces (tableau 10) montrent que *Limonastrirum guynianum* est l'espèce la plus indicatrice de la variation de la distribution de la végétation. Elle présente l'information mutuelle la plus élevée. *Cistanche tinctoria*, *Cressa cretica* et *Cornulaca monacantha* viennent ensuite avec une information mutuelle de 4. Ces espèces avec les informations mutuelles les plus élevées sont les plus sensibles aux variations des conditions édaphiques qui changent le long des transects échantillonnés. *Sonchus maritimus* montre une information mutuelle insignifiante, donc elle a une indication très faible.

Pour déterminer les groupes écologiques de distribution des espèces par rapport au plan d'eau, nous avons réuni les espèces ayant des profils corrigés semblables et qui sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11: Groupes écologiques des espèces suivant leurs profils corrigés (pour le facteur distance par rapport au plan d'eau)

Espèces	Profils de fréquence corrigée			
	classe1	classe2	classe3	classe4
<i>Phragmites communis</i>	<b>1,177</b>	1,176	0,902	0,784
<i>Juncus maritimus</i>	<b>1,435</b>	1,418	0,675	0,473
<i>Tamarix gallica</i>	1,166	<b>1,167</b>	1,156	0,510
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	1,310	<b>1,379</b>	0,698	0,612
<i>Salicornia fruticosa</i>	1,000	<b>1,100</b>	1,000	1,000
<i>Suaeda fruticosa</i>	1,091	1,091	<b>1,100</b>	0,727
<i>Traganum nudatum</i>	1,330	1,167	<b>1,333</b>	0,167
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	1,330	1,300	<b>1,333</b>	0,000
<i>Aeluropus littoralis</i>	0,300	1,000	<b>1,400</b>	1,300
<i>Cynodon dactylon</i>	0,615	0,923	<b>1,231</b>	1,230
<i>Zygophyllum album</i>	0,000	0,889	1,481	<b>1,630</b>
<i>Limonastrirum guynianum</i>	0,308	0,923	1,231	<b>1,538</b>
<i>Cornulaca monacantha</i>	0	0	2,000	<b>2,100</b>
<i>Cistanche tinctoria</i>	0	0	0	<b>4,000</b>
<i>Cressa cretica</i>	0	0	1,333	<b>2,667</b>
<i>Mollugo nudicaulis</i>	0	0	1,600	<b>2,400</b>
<i>Sonchus maritimus</i>	0,696	0,696	1,217	<b>1,391</b>

Les résultats de profils corrigés nous permettent de distinguer quatre groupes d'espèces (tableau 11).

#### **📌 Groupe écologique des espèces les plus proches du plan d'eau (5m du plan d'eau)**

Ce groupe est composé seulement de deux espèces hydro-halophytes : *Phragmites communis* et *Juncus maritimus*. Ces espèces présentent des fréquences corrigées maximales dans les placettes les plus proches du plan d'eau et qui se trouvent inondées pendant la saison hivernale. Le *Juncus maritimus* occupe les sols avec une longue période d'inondations et une salinité élevée (Rogel et al., 2001).

#### **📌 Groupe écologique des espèces distantes de 10m du plan d'eau**

Ce groupe assemble trois espèces *Tamarix gallica*, *Halocnemum strobilaceum* et *Salicornia fruticosa* qui présentent des fréquences corrigées maximales dans les placettes distantes de 10m du plan d'eau. Ces placettes se trouvent inondées partiellement ou complètement dans la saison hivernale.

#### **📌 Groupe écologique des espèces distantes de 15m du plan d'eau**

Ce groupe réunit cinq espèces *Suaeda fruticosa*, *Traganum nudatum*, *Arthrocnemum glaucum*, *Aeluropus litoralis* et *Cynodon dactylon*. Le groupe est composé des Chaméphytes et Géophytes capables de résister à des niveaux de salinité élevés et une large gamme de variabilité de température (Beeftink, 1977; Zahran 1982).

#### **📌 Groupe écologique des espèces les plus éloignées du plan d'eau (20m du plan d'eau)**

C'est le groupe le plus important car il assemble sept espèces à savoir *Zygophyllum album*, *Limonastrirum guynianum*, *Cornulaca monacantha*, *Cistanche tinctoria*, *Cressa cretica*, *Mollugo nudicaulis* et *Sonchus maritimus*. A cet effet, Koull et Chehma (2014) ont indiqué que *Zygophyllum album* constitue la dernière ceinture de végétation dans le chott d'Oum El-Ranneb. Ces espèces résistent la salinité mais elles sont intolérantes à l'hydromorphie.

En effet, la végétation échantillonnée reflète une disposition concentrique des espèces dominantes suivant un gradient des facteurs édaphiques notamment la salinité et l'humidité du sol. Nous constatons que les espèces végétales sont réparties en bandes parallèles suivant leur distance par rapport au plan d'eau. Un gradient décroissant de la salinité et de l'humidité du sol suit l'éloignement du plan d'eau (Álvarez-Rogel et al. 2000), ce qui permet de construire une certaine relation entre la zonation des halophytes, leur distance par rapport au plan d'eau et l'état du sol. Ces facteurs édaphiques ainsi biotiques contrôlant la répartition



des halophytes dans les zones humides salées (Ungar, 1998, Álvarez-Rogel et *al.*, 2000, Pennings et *al.*, 2005).

Selon Khaznadar et *al.*, (2009), les assemblages halophytes sont associés avec l'humidité et la salinité des sols. Des conclusions identiques ont été rapportées par Abd-El-Ghani (2000), indiquant que la répartition de la végétation halophile dépend principalement du gradient de salinité, de l'humidité, de la texture du sol, de la température de l'air, de la profondeur de l'eau et de la période d'inondation.

### **a-2- La salinité du sol**

Les résultats de la fréquence relative (tableau 12) montrent que trois espèces ont de préférence la classe 1, c'est-à-dire se localisent beaucoup plus dans les sols moins salés (CE entre 2 et 4 dS/m); sept espèces préfèrent la classe 2 (CE entre 4 et 10 dS/m); cinq espèces ont de préférence la troisième classe et en dernier seulement deux espèces dans la classe 4 avec une très forte salinité. De ce fait 41% des espèces ont pour préférence la classe 2 (CE entre 4 et 10 dS/m) et 29% dans la classe 3 (CE entre 10 et 20 dS/m).

Tableau 12 : Fréquence relative des espèces selon les classes de salinité.

Espèces	Classe 1 (2-4dS/m)	Classe 2 (4-10dS/m)	Classe 3 (10-20dS/m)	Classe 4 (20-30dS/m)
<i>Limonastrirum guynianum</i>	<b>0,48</b>	0,11	0,059	-
<i>Zygophyllum album</i>	<b>0,39</b>	0,25	0,17	-
<i>Cornulaca monacantha</i>	<b>0,30</b>	-	-	-
<i>Tamarix gallica</i>	0,41	<b>0,48</b>	0,22	0,39
<i>Aeluropus littoralis</i>	0,037	<b>0,44</b>	0,17	0,34
<i>Cynodon dactylon</i>	0,17	<b>0,35</b>	0,05	-
<i>Sonchus maritimus</i>	0,20	<b>0,31</b>	0,027	-
<i>Mollugo nudicaulis</i>	-	<b>0,08</b>	-	-
<i>Cressa cretica</i>	-	<b>0,03</b>	0,02	-
<i>Cistanche tinctoria</i>	-	<b>0,003</b>	-	-
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	0,09	0,35	<b>0,62</b>	0,59
<i>Juncus maritimus</i>	0,20	0,46	<b>0,54</b>	0,31
<i>Salicornia fruticosa</i>	-	0,017	<b>0,23</b>	-
<i>Traganum nudatum</i>	-	0,007	<b>0,053</b>	-
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	-	0,01	<b>0,05</b>	-
<i>Suaeda fruticosa</i>	-	0,10	0,077	<b>0,11</b>
<i>Phragmites communis</i>	0,46	0,84	0,75	<b>1</b>

Pour tirer le maximum d'information sur les profils écologiques et afin de mesurer la plasticité écologique de chaque espèce vis-à-vis de la salinité du sol, nous avons calculé l'amplitude d'habitat (AH) et le barycentre (G) qui sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Profils écologiques et barycentres des espèces suivant la salinité du sol.

Espèces	AH	G	Classe 1 (2-4dS/m)	Classe 2 (4-10dS/m)	Classe 3 (10-20dS/m)	Classe 4 (20-30dS/m)
<i>Tamarix gallica</i>	1,85	2,31	—	+	—	—
<i>Juncus maritimus</i>	1,82	2,49	—	+	—	—
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	1,68	2,67	—	—	+	—
<i>Aeluropus littoralis</i>	1,65	2,34	—	+	—	—
<i>Zygophyllum album</i>	1,55	2,19	—	+	—	—
<i>Cynodon dactylon</i>	1,42	2,04	—	+	—	—
<i>Sonchus maritimus</i>	1,41	1,99	—	+	—	—
<i>Limonastrirum guynianum</i>	1,39	1,96	+	—	—	—
<i>Phragmites communis</i>	1,37	2,49	—	—	+	—
<i>Suaeda fructicosa</i>	1,34	2,51	—	—	+	—
<i>Salicornia fructicosa</i>	1,19	2,91	—	—	+	—
<i>Cornulaca monacantha</i>	1,17	1	+	—	—	—
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	1,09	2,75	—	—	+	—
<i>Mollugo nudicaulis</i>	1,09	2	—	+	—	—
<i>Traganum nudatum</i>	1,09	2,83	—	—	+	—
<i>Cressa cretica</i>	1,08	2,33	—	+	—	—
<i>Cistanche tinctoria</i>	1,01	2	—	+	—	—

### Espèces généralistes

Ce groupe regroupe les espèces qui présentent une large distribution c'est-à-dire les espèces qui se localisent dans les quatre classes de salinité (tableau 13, figure 77).

A partir des résultats obtenus, nous remarquons que les espèces qui présentent l'amplitude d'habitat la plus large sont en nombre de 05. Selon les valeurs de barycentre, les espèces généralistes se divisent en deux sous-groupes :

-le premier sous-groupe réunit trois espèces qui trouvent leur optimum écologique au niveau de la deuxième classe ( $4 < CE < 10 \text{dS/m}$ ) à savoir *Tamarix gallica*, *Juncus maritimus* et *Aeluropus littoralis*

-le deuxième sous-groupe assemble deux espèces qui trouvent leur optimum écologique au niveau de troisième classe ( $10 < CE < 20 dS/m$ ) qui sont *Halocnemum strobilaceum* et *Phragmites communis*.

### Espèces spécialistes

C'est le groupe d'espèces qui montrent une amplitude qui s'étend sur une seule classe voir débordant, légèrement, sur une deuxième ; ce groupe est composé de 07 espèces divisées en 03 sous-groupes

-le premier sous-groupe composé d'une seule espèce *Cornulaca monacantha* qui trouve son optimum écologique au niveau de la première classe ( $10 < CE < 20 dS/m$ ).

-le deuxième sous-groupe réunit trois espèces qui trouvent leur optimum écologique au niveau de la deuxième classe à savoir *Mollugo nudicaulis*, *Cressa cretica* et *Cistanche tinctoria*.

-le troisième sous-groupe réunit aussi trois espèces qui trouvent leur optimum écologique au niveau de la troisième classe tel *Salicornia fruticosa*, *Arthrocnemum glaucum* et *Traganum nudatum*.

### Espèces intermédiaires

C'est le groupe des espèces qui présentent une amplitude d'habitat s'étendant sur trois classes voir débordant légèrement sur la quatrième classe. Ce groupe assemble cinq espèces divisées selon les valeurs de barycentre en trois sous-groupes :

-un sous-groupe réunit trois espèces *Zygophyllum album*, *Cynodon dactylon* et *Sonchus maritimus* qui ont 1.4 à 1.55 d'amplitude d'habitat et trouvent leur optimum écologique dans la deuxième classe.

-un sous-groupe composé d'une seule espèce *Limonastrirum guyonianum* avec une valeur de G égale à 1.96 ce qui veut dire que cette espèce trouve son maximum de développement au niveau de la première classe.

-un autre sous-groupe composé seulement d'une espèce *Suaeda fruticosa* qui trouve son optimum dans la classe 3.

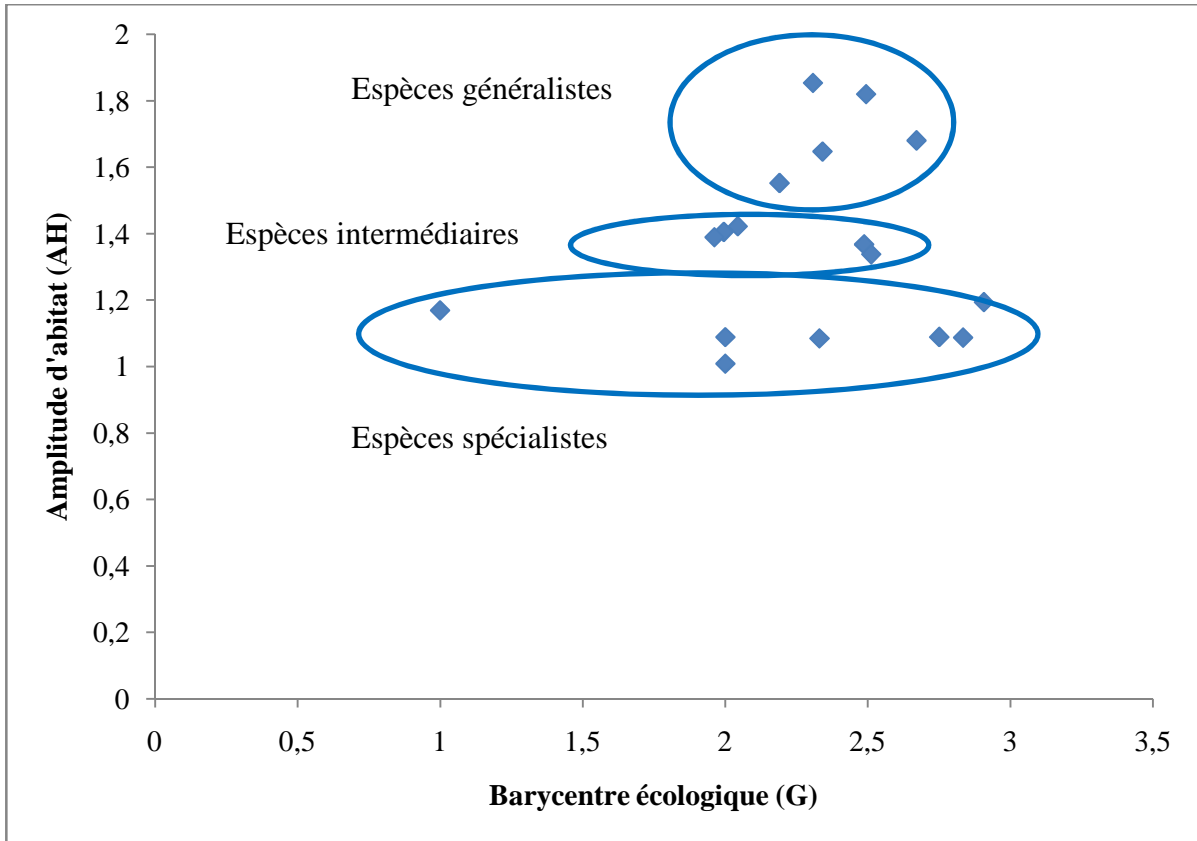


Figure 77 : Groupes des espèces suivant leur indication de la salinité du sol.

➤ **Groupes écologiques**

Les groupes écologiques ont été élaborés sur la base des profils de fréquences corrigées et de l'information mutuelle des espèces (tableau 14).

Tableau 14: Information mutuelle des espèces.

Espèces	I (L;E)
<i>Phragmites communis</i>	0,001
<i>Cistanche tinctoria</i>	0,004
<i>Cressa cretica</i>	0,009
<i>Aeluropus littoralis</i>	0,013
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	0,038
<i>Suaeda fruticosa</i>	0,050
<i>Traganum nudatum</i>	0,051
<i>Mollugo nudicaulis</i>	0,075
<i>Tamarix gallica</i>	0,092
<i>Juncus maritimus</i>	0,129
<i>Cynodon dactylon</i>	0,137
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	0,197
<i>Sonchus maritimus</i>	0,227
<i>Salicornia fruticosa</i>	0,270
<i>Zygophyllum album</i>	0,359
<i>Limonastrirum guynianum</i>	<b>1,051</b>
<i>Cornulaca monacantha</i>	<b>1,261</b>

Les valeurs de l'information mutuelle des espèces (tableau 14.) montrent que *Cornulaca monacantha* est l'espèce la plus indicatrice de la salinité du sol avec une valeur d'information mutuelle la plus élevée (1,261). La présence de cette espèce indique une faible salinité du sol. *Limonastrirum guynianum* vient ensuite avec une information mutuelle de 1,051. Ces espèces avec des informations mutuelles les plus élevées sont les plus sensibles aux variations des conditions édaphiques exprimés par la salinité.

Les espèces *Phragmites communis*, *Cistanche tinctoria* et *Cressa cretica* montrent une information mutuelle insignifiante donc elle a une indication très faible à la salinité.

Pour déterminer les groupes écologiques de facteur salinité, nous avons réuni les espèces ayant des profils corrigés semblables qui sont présentés dans le tableau 15.

Tableau 15: Groupes écologiques des espèces pour le facteur salinité

Espèces	Profils de fréquence corrigée			
	Classe 1 (2-4dS/m)	Classe 2 (4-10dS/m)	Classe 3 (10-20dS/m)	Classe 4 (20-30dS/m)
<i>Limonastrirum guynianum</i>	<b>4,741</b>	1,052	0,578	0
<i>Cornulaca monacantha</i>	<b>18,963</b>	0	0	0
<i>Zygophyllum album</i>	<b>1,844</b>	1,203	0,784	0
<i>Tamarix gallica</i>	1,086	<b>1,272</b>	0,597	1,052
<i>Cistanche tinctoria</i>	0	<b>1,954</b>	0	0
<i>Cressa cretica</i>	0	<b>1,303</b>	0,910	0
<i>Mollugo nudicaulis</i>	0	<b>1,954</b>	0	0
<i>Aeluropus littoralis</i>	0,119	<b>1,411</b>	0,538	1,082
<i>Cynodon dactylon</i>	0,821	<b>1,701</b>	0,236	0
<i>Sonchus maritimus</i>	1,134	<b>1,731</b>	0,148	0
<i>Juncus maritimus</i>	0,440	0,989	<b>1,158</b>	0,669
<i>Salicornia fruticosa</i>	0	0,183	<b>2,475</b>	0
<i>Traganum nudatum</i>	0	0,326	<b>2,276</b>	0
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	0	0,489	<b>2,048</b>	0
<i>Phragmites communis</i>	0,581	1,054	0,937	<b>1,255</b>
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	0,204	0,779	1,365	<b>1,368</b>
<i>Suaeda fruticosa</i>	0	1,133	0,900	<b>1,311</b>

Les résultats de profils corrigés nous permettent de distinguer quatre groupes d'espèces indicatrices de l'état de salinité des sols (tableau 15).

 **Groupe écologique des espèces de sols salés (classe de 2-4 dS/m de salinité)**

Ce groupe est composé de trois espèces *Limonastrirum guynianum*, *Cornulaca monacantha* et *Zygophyllum album*. Ce sont des halogypsophiles liées aux sables limoneux

fortement chargés en gypse et sels solubles. Ces espèces se localisent dans les sols les moins salés de lac Merdjaja, lac Hassi Ben Abdallah et les dernières placettes des transects dans le lac Ayata et chott Oum El-Ranneb.

### **🌱 Groupe écologique des espèces des sols très salés (classe de 4-10 dS/m de salinité)**

Ce groupe réunit 07 espèces. Il est dominé par les hydro-halophytes (*Tamarix gallica*, *Mollugo nudicaulis*, *Aeluropus littoralis*, *Cynodon dactylon* et *Sonchus maritimus*), une espèce halophyte *Cressa cretica* et une seule espèce du sables dunaire *Cistanche tinctoria*. Ces espèces présentent des fréquences corrigées maximales dans la classe de 4-10dS/m de CE.

### **🌱 Groupe écologique des espèces de sols extrêmement salés (classe de 10-20 dS/m de salinité)**

Ce groupe réunit quatre espèces ; une espèce Hélophyte (*Juncus maritimus*) et trois espèces Chaméphytes (*Salicornia fruticosa*, *Traganum nudatum* et *Arthrocnemum glaucum*) de la famille des Amaranthacées qui est connu avoir un mécanisme efficace de tolérance de la salinité (Alkhverdiev, 1988 ; Ayoub et Malcolm, 1993 ; Malcolm et Choukr Allah, 1995 ; Abd El Ghani et Amer 2003).

### **🌱 Groupe écologique des espèces de sols à de forte salinité (classe de 20-30 dS/m de salinité)**

Le groupe assemble trois espèces *Phragmites communis*, *Halocnemum strobilaceum* et *Suaeda fruticosa* prélevées à des niveaux élevés de salinité. Le *Halocnemum strobilaceum* est une espèce qui peut tolérer les hautes CE, SAR, les fortes teneurs en Na<sup>+</sup> et l'alcalinité. La communauté de *Halocnemum strobilaceum* est à faible diversité des espèces. Cela a également été prouvé dans d'autres études (Ayoub et Malcolm, 1993 ; Malcolm et Choukr Allah, 1995 ; Abd El Ghani et Amer, 2003).



### a-3- L'humidité du sol

Les résultats de la fréquence relative (tableau 16) montrent que six espèces ont de préférence la classe 1 c'est-à-dire se localisant beaucoup plus dans les sols moins humides et lointains du plan d'eau; cinq espèces préfèrent la classe 2 (humidité entre 10 et 20%) ; trois espèces seulement qui ont de préférence la troisième classe. Ainsi trois espèces dans la classe 4 avec des teneurs très importantes d'humidité. De ce fait 65% des espèces ont pour préférence la classe 1 et 2.

Tableau 16 : Fréquence relative des espèces selon les classes de salinité.

Espèces	Classe 1 (0-10%)	Classe 2 (10-20%)	Classe 3 (20-30%)	Classe 4 (30-40%)
<i>Zygophyllum album</i>	<b>0,560</b>	0,231	0,117	-
<i>Limonastrirum guynianum</i>	<b>0,544</b>	0,058	0,027	-
<i>Cornulaca monacantha</i>	<b>0,128</b>	-	-	-
<i>Mollugo nudicaulis</i>	<b>0,104</b>	0,033	0,032	-
<i>Traganum nudatum</i>	<b>0,088</b>	0,030	-	-
<i>Cistanche tinctoria</i>	<b>0,016</b>	-	-	-
<i>Aeluropus littoralis</i>	0,168	<b>0,408</b>	0,258	0,299
<i>Cynodon dactylon</i>	0,088	<b>0,301</b>	0,169	-
<i>Sonchus maritimus</i>	0,032	<b>0,273</b>	0,156	-
<i>Salicornia fruticosa</i>	0,040	<b>0,182</b>	0,032	-
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	-	<b>0,047</b>	0,010	-
<i>Juncus maritimus</i>	0,056	0,466	<b>0,581</b>	0,493
<i>Suaeda fruticosa</i>	-	0,065	<b>0,132</b>	0,104
<i>Cressa cretica</i>	-	0,009	<b>0,050</b>	-
<i>Phragmites communis</i>	0,328	0,802	0,911	<b>0,955</b>
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	0,160	0,422	0,533	<b>0,716</b>
<i>Tamarix gallica</i>	0,184	0,345	0,447	<b>0,493</b>

L'amplitude d'habitat (AH) et le barycentre (G) sont présentés dans le tableau 17. Ces deux paramètres sont calculés pour mesurer la plasticité des espèces vis-à-vis de l'humidité du sol et pour l'étude des profils écologiques.

Tableau 17 : Profils écologiques et barycentres des espèces suivant l'humidité du sol.

Espèces	AH	G	Classe 1 (0-10%)	Classe 2 (10-20%)	Classe 3 (20-30%)	Classe 4 (30-40%)
<i>Tamarix gallica</i>	1,827	2,581	—	—	+	—
<i>Aeluropus littoralis</i>	1,818	2,384	—	+	—	—
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	1,707	2,627	—	—	+	—
<i>Juncus maritimus</i>	1,671	2,618	—	—	+	—
<i>Zygophyllum album</i>	1,487	1,894	+	—	—	—
<i>Cynodon dactylon</i>	1,463	2,274	—	+	—	—
<i>Sonchus maritimus</i>	1,388	2,321	—	+	—	—
<i>Suaeda fruticosa</i>	1,344	2,761	—	—	+	—
<i>Phragmites communis</i>	1,339	2,556	—	—	+	—
<i>Limonastrirum guynianum</i>	1,295	1,452	+	—	—	—
<i>Salicornia fruticosa</i>	1,270	2,083	—	+	—	—
<i>Mollugo nudicaulis</i>	1,220	1,972	—	+	—	—
<i>Traganum nudatum</i>	1,149	1,542	—	+	—	—
<i>Cornulaca monacantha</i>	1,121	1,000	+	—	—	—
<i>Cressa cretica</i>	1,087	2,833	—	—	+	—
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	1,085	2,167	—	+	—	—
<i>Cistanche tinctoria</i>	1,029	1,000	+	—	—	—

### Espèces généralistes

C'est le groupe des espèces qui présentent une large distribution c'est-à-dire les espèces qui se localisent dans les quatre classes d'humidité (tableau 17, figure 78).

A partir des résultats obtenus, nous remarquons que les espèces qui présentent l'amplitude d'habitat la plus large sont en nombre de 04. Selon les valeurs de barycentre, les espèces généralistes se divisent en deux sous-groupes :

-le premier sous-groupe réunit une seule espèce *Aeluropus littoralis* qui trouve son optimum écologique au niveau de la deuxième classe.

-le deuxième sous-groupe assemble quatre espèces qui trouvent leur optimum écologique au niveau du troisième classe qui sont *Tamarix gallica*, *Juncus maritimus* et *Halocnemum strobilaceum*.

### Espèces spécialistes

C'est le groupe d'espèces qui montrent une amplitude qui s'étend sur une seule classe voir débordant sur la deuxième classe; ce groupe est composé de quatre espèces divisées selon leurs barycentres en trois sous-groupes :

-le premier sous-groupe réunit deux espèces *Cornulaca monacantha* et *Cistanche tinctoria* qui trouvent leur optimum écologique au niveau de la première classe avec un faible taux d'humidité.

-le deuxième sous-groupe composé d'une seule espèce *Arthrocnemum glaucum* qui trouve son optimum écologique dans la deuxième classe.

-le troisième sous-groupe composé aussi d'une seule espèce *Cressa cretica* qui trouve son optimum dans la classe 3.

### Espèces intermédiaires

C'est le groupe des espèces qui présentent une amplitude d'habitat s'étendant sur trois classes voir débordant légèrement sur la quatrième classe. Ce groupe assemble neuf espèces divisées selon les valeurs de barycentre en trois sous-groupes :

-un sous-groupe réunit quatre espèces *Zygophyllum album*, *Limonastrirum guynianum*, *Mollugo nudicaulis* et *Traganum nudatum*. Ces espèces trouvent leur optimum écologique dans la première classe.

-un sous-groupe composé de quatre espèces *Cynodon dactylon*, *Sonchus maritimus*, *Salicornia fruticosa* et avec une valeur de G égale autour de 02, ce qui veut dire que ces espèces trouvent leur maximum de développement au niveau de la deuxième classe.

-un autre sous-groupe composé de deux espèces seulement *Suaeda fruticosa* et *Phragmites communis* qui trouvent leur optimum dans la classe 3.

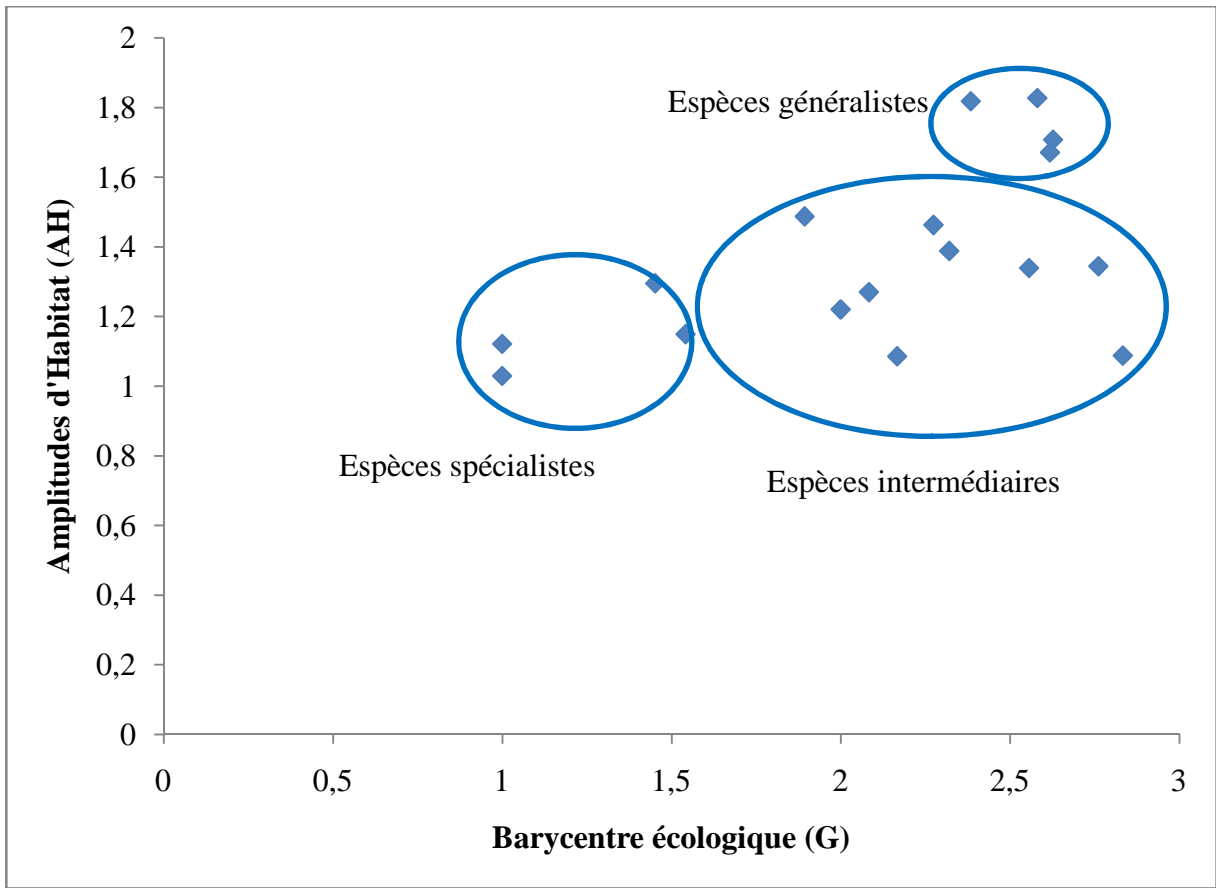


Figure 78 : Groupes des espèces suivant leur indication d'humidité du sol.

➤ **Groupes écologiques**

Les groupes écologiques ont été élaborés sur la base des profils de fréquences corrigées et de l'information mutuelle des espèces (tableau 18).

Tableau 18: Information mutuelle des espèces.

Espèces	I (L, E)
<i>Cynodon dactylon</i>	0,027
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	0,034
<i>Cressa cretica</i>	0,042
<i>Cistanche tinctoria</i>	0,049
<i>Sonchus maritimus</i>	0,061
<i>Aeluropus littoralis</i>	0,077
<i>Salicornia fruticosa</i>	0,079
<i>Tamarix gallica</i>	0,085
<i>Suaeda fruticosa</i>	0,086
<i>Juncus maritimus</i>	0,098
<i>Phragmites communis</i>	0,103
<i>Mollugo nudicaulis</i>	0,130
<i>Traganum nudatum</i>	0,180
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	0,339
<i>Cornulaca monacantha</i>	0,390
<i>Zygophyllum album</i>	0,741
<i>Limonastrirum guynianum</i>	<b>1,245</b>


Les valeurs de l'information mutuelle des espèces (tableau 18) montrent que *Limonastrirum guynianum* est l'espèce la plus indicatrice d'humidité du sol avec une valeur d'information mutuelle la plus élevée (1,245). La présence de cette espèce avec une forte densité indique une faible humidité du sol. *Zygophyllum album* vient ensuite avec une information mutuelle de 0,741. Cette espèce est qualifiée intolérante à l'hydromorphie mais tolérante à l'halomorphie des sols, et est une espèce xéro-halophile (Khan et Qaiser, 2006).

Pour déterminer les groupes écologiques de facteur humidité du sol, nous avons réunis les espèces ayant des profils corrigés semblables qui sont présentés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Groupes écologiques des espèces suivant leurs profils corrigés (pour le facteur humidité du sol)

Espèces	profils de fréquence corrigée			
	Classe 1 (0-10%)	Classe 2 (10-20%)	Classe 3 (20-30%)	Classe 4 (30-40%)
<i>Zygophyllum album</i>	<b>2,655</b>	1,094	0,553	0,000
<i>Limonastrirum guynianum</i>	<b>5,356</b>	0,574	0,269	0,000
<i>Cornulaca monacantha</i>	<b>8,192</b>	0,000	0,000	0,000
<i>Cistanche tinctoria</i>	<b>8,192</b>	0,000	0,000	0,000
<i>Mollugo nudicaulis</i>	<b>2,662</b>	0,835	0,826	0,000
<i>Traganum nudatum</i>	<b>3,755</b>	1,293	0,000	0,000
<i>Salicornia fruticosa</i>	0,427	<b>1,939</b>	0,344	0,000
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	0,000	<b>1,989</b>	0,423	0,000
<i>Aeluropus littoralis</i>	0,538	<b>1,305</b>	0,826	0,955
<i>Cynodon dactylon</i>	0,433	<b>1,480</b>	0,831	0,000
<i>Sonchus maritimus</i>	0,178	<b>1,518</b>	0,870	0,000
<i>Juncus maritimus</i>	0,121	1,007	<b>1,254</b>	1,064
<i>Suaeda fruticosa</i>	0,000	0,759	<b>1,530</b>	1,216
<i>Cressa cretica</i>	0,000	0,398	<b>2,117</b>	0,000
<i>Phragmites communis</i>	0,412	1,006	1,143	<b>1,199</b>
<i>Tamarix gallica</i>	0,491	0,920	1,191	<b>1,313</b>
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	0,353	0,931	1,177	<b>1,581</b>

Les résultats de profils corrigés nous permettent de distinguer quatre groupes d'espèces indicatrices de l'état d'humidité des sols.

 **Groupe écologique des espèces de sols à faible taux d'humidité (classe de 0-10% d'humidité)**

C'est le groupe le plus important avec six espèces (*Limonastrirum guynianum*, *Cornulaca monacantha*, *Zygophyllum album*, *Cistanche tinctoria*, *Traganum nudatum* et *Mollugo nudicaulis*).

#### **🌱 Groupe écologique des espèces de sols très humides (classe de 10-20% d'humidité)**

Ce groupe réunit 05 espèces. Il est dominé par les hydro-halophytes (*Aeluropus littoralis*, *Cynodon dactylon* et *Sonchus maritimus*) et les halophytes *Salicornia fruticosa*, et *Arthrocnemum glaucum*. Ces espèces présentent des fréquences corrigées maximales dans la classe de 10-20% d'humidité.

#### **🌱 Groupe écologique des espèces de sols extrêmement humides (classe de 20-30% d'humidité)**

Ce groupe réunit trois espèces *Suaeda fruticosa*, *Cressa cretica* et *Juncus maritimus*. Le *Juncus maritimus* occupe les sols ayant une période plus longue d'inondations et la salinité élevée (Rogel et al, 2001).

#### **🌱 Groupe écologique des espèces de sols à de forte humidité (classe de 30-40% d'humidité)**

Le groupe assemble trois espèces *Phragmites communis*, *Halocnemum strobilaceum* et *Tamarix gallica* prélevées à des niveaux élevés d'humidité. Ces espèces se localisent dans les placettes qui se trouvent partiellement ou complètement inondées pendant une période de l'année. Le *Phragmites communis* est une espèce qualifiée fortement hydro-halophile. Cette forte tolérance est traduite par sa forte abondance le long des gradients suivis. Khan et Qaiser (2006), dans une étude sur les caractéristiques et la distribution de quelques halophytes des écosystèmes des sebkhas au Pakistan, ont montré que *Phragmites communis* est une espèce fortement hyper-hydro-halophyte.

### III-4-3- Relation sol-eau-végétation

Les propriétés du sol sont l'un des importants facteurs environnementaux qui affectent la croissance et la distribution de la végétation (Hoveizeh, 1997). Dans les zones humides étudiées, les eaux phréatiques influent sur les propriétés du sol et par conséquent influent sur la végétation. Pour déterminer les facteurs environnementaux qui agissent sur la croissance et la distribution de la végétation des zones humides salées du Sahara septentrional nous avons utilisé l'Analyse Canonique de Correspondance (ACC) (figure 79). Les valeurs propres d'axes de coordination 1 et 2 représentent les valeurs les plus élevées (Tableau 20) et, par conséquent, ces axes sont choisis pour évaluer graphiquement les relations espèces / facteur environnemental.

Le premier axe de l'ACC présente une inertie de 35.53%. Du côté positif de cet axe, on a un groupe de deux espèces *Phragmites communis* et *Aeluropus littoralis*. Le *Phragmites communis* présente des corrélations significatives avec les caractéristiques du sol. Ces dernières ont un effet positif sur la présence de *Phragmites* à savoir CE, H, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, CaSO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub> et la M.O ou un effet négatif tel pH, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mg<sup>++</sup> et K<sup>+</sup>. Le *Phragmites* présente des corrélations positives significatives avec la majorité des caractéristiques des eaux des zones humides (tableau 20). Cette espèce hydro-halophile présente des fortes densités dans les placettes les plus proches du plan d'eau. L'*Aeluropus littoralis* présente des corrélations significatives positives avec les conditions édaphiques (pH, H, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>) et négative avec HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>++</sup>, CaCO<sub>3</sub> et M.O) et des corrélations positives significatives avec la plus part des caractéristiques des eaux (tableau 20). Un autre groupe se trouve dans ce côté composé d'une espèce hyper-halophile *Halocnemum strobilaceum*. Les propriétés du sol (CE, H, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> et M.O) et les caractéristiques des eaux (Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ont un effet positif sur la présence de *Halocnemum strobilaceum*. Tandis que pH, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> et CaCO<sub>3</sub> du sol ont un effet négatif sur le *Halocnemum strobilaceum*. Kargar Chigani et al. (2010) ont signalé que la salinité a des effets positifs sur l'habitat de *Halocnemum strobilaceum*. Cette espèce appartient à la famille des Amaranthacées qui est connue pour avoir un mécanisme efficace de tolérance de la salinité (Alkhverdiev, 1988, Ayoub et Malcolm, 1993, Malcolm et Choukr Allah, 1995, Abd El Ghani et Amer, 2003). Cette espèce peut tolérer les hautes CE, SAR, les fortes teneurs en Na<sup>+</sup>, la salinité du sol et l'alcalinité. Sa communauté a une faible diversité des espèces. Cela a également été démontré dans d'autres études (Ayoub et Malcolm, 1993, Malcolm et Choukr Allah, 1995, Abd El Ghani et Amer, 2003). Le *Mallugo nudicaulis* constitue un autre groupe.



La salinité du sol (CE), H, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup> et CaCO<sub>3</sub> ont un effet négatif sur le *Mallugo nudicaulis*. Ceci est expliqué par l'absence de cette plante dans les sols les plus salés et humides. Le pH, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Mg<sup>++</sup> et CaSO<sub>4</sub> ont une corrélation négative avec la présence de *Mallugo nudicaulis*. Ainsi, on trouve dans ce côté les caractéristiques des eaux, l'humidité et la salinité du sol. Donc, on peut dire que ce côté exprime un gradient croissant de salinité, d'humidité (submersion des sols).

Du côté négatif du premier axe, on trouve trois groupes d'espèces ; le premier groupe composé de deux espèces hydrophiles *Sonchus maritimus* et *Cynodon dactylon* qui présentent des corrélations négatives avec la majorité des facteurs environnementaux (sol et eau) notamment la salinité. Ces espèces se localisent dans les sols moins salés des lacs Hassi Ben Abdallah, Témacine et Mégarine. Le *Tamarix gallica* constitue le deuxième groupe. Il a une corrélation négative avec la salinité du sol et une corrélation positive avec l'humidité. Kargar et al (2010) a déclaré que *Tamarix sp* ne pousse pas bien dans un sol alcalin avec un contenu important de sodium. Le troisième groupe composé de dix espèces : *Traganum nudatum*, *Salicornia fruticosa*, *Arthrocnemum glaucum*, *Suaeda fruticosa*, *Cressa cretica*, *Cistanche tinctoria*, *Zygophyllum album*, *Limoniastrum guynianum*, *Cornulaca monacantha* et *Juncus maritimus*. Dans ce groupe trois espèces seulement sont corrélées positivement avec la salinité du sol à savoir *Juncus maritimus*, *Salicornia fruticosa* et *Suaeda fruticosa* et une espèce *Juncus maritimus* corrélée positivement avec l'humidité. Le *Juncus maritimus* occupe les sols avec une période plus longue d'inondations, et de salinité élevée. (Rogel et al., 2000). Les autres espèces de ce groupe ont des relations négatives avec la plus part des facteurs environnementaux (tableau 20).

Le deuxième axe de l'ACC présente une inertie de 20.58%. Du côté positif de cet axe, on trouve cinq hydro-halophytes (*Tamarix gallica*, *Phragmites communis*, *Aeluropus littoralis*, *Sonchus maritimus* et *Cynodon dactylon*) avec les caractéristiques des eaux (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, CE et M.O) . Du côté négatif on trouve toutes les autres espèces avec les caractéristiques édaphiques. Donc on peut dire que cet axe exprime un gradient croissant d'humidité. Au terme des résultats de l'ACC les principaux facteurs environnementaux affectant la présence et la distribution de la végétation sont la salinité des sols et des eaux et l'humidité du sol. Rogel et al. (2001) et Jafari et al. (2003) ont indiqué que dans les habitats halomorphes, les principaux facteurs édaphiques contrôlant la distribution des plantes sont la concentration du

sel, l'humidité du sol, le pH, le calcaire total et de gypse. La répartition spatiale de la flore de la Sebkhah n'est pas un hasard, elle résulte de l'interaction de plusieurs variables environnementales, y compris les facteurs abiotiques, biotiques et anthropiques (Rozema et al., 1985; Alvarez-Rogel et al., 2007; Minggagud et Yang, 2013). Selon Brown (2006), la structure en mosaïque de zonage des plantes reflète l'hétérogénéité des facteurs environnementaux, dont principalement l'humidité et la salinité des sols. Selon Khaznadar et al. (2009), les assemblages halophytes sont associés avec l'humidité et la salinité des sols. Des conclusions identiques ont été rapportées par Abd-El-Ghani (2000), la répartition de la végétation halophile est liée principalement aux de gradients de salinité, l'humidité, la texture du sol, la température de l'air, de la profondeur de l'eau et de la période d'inondation.

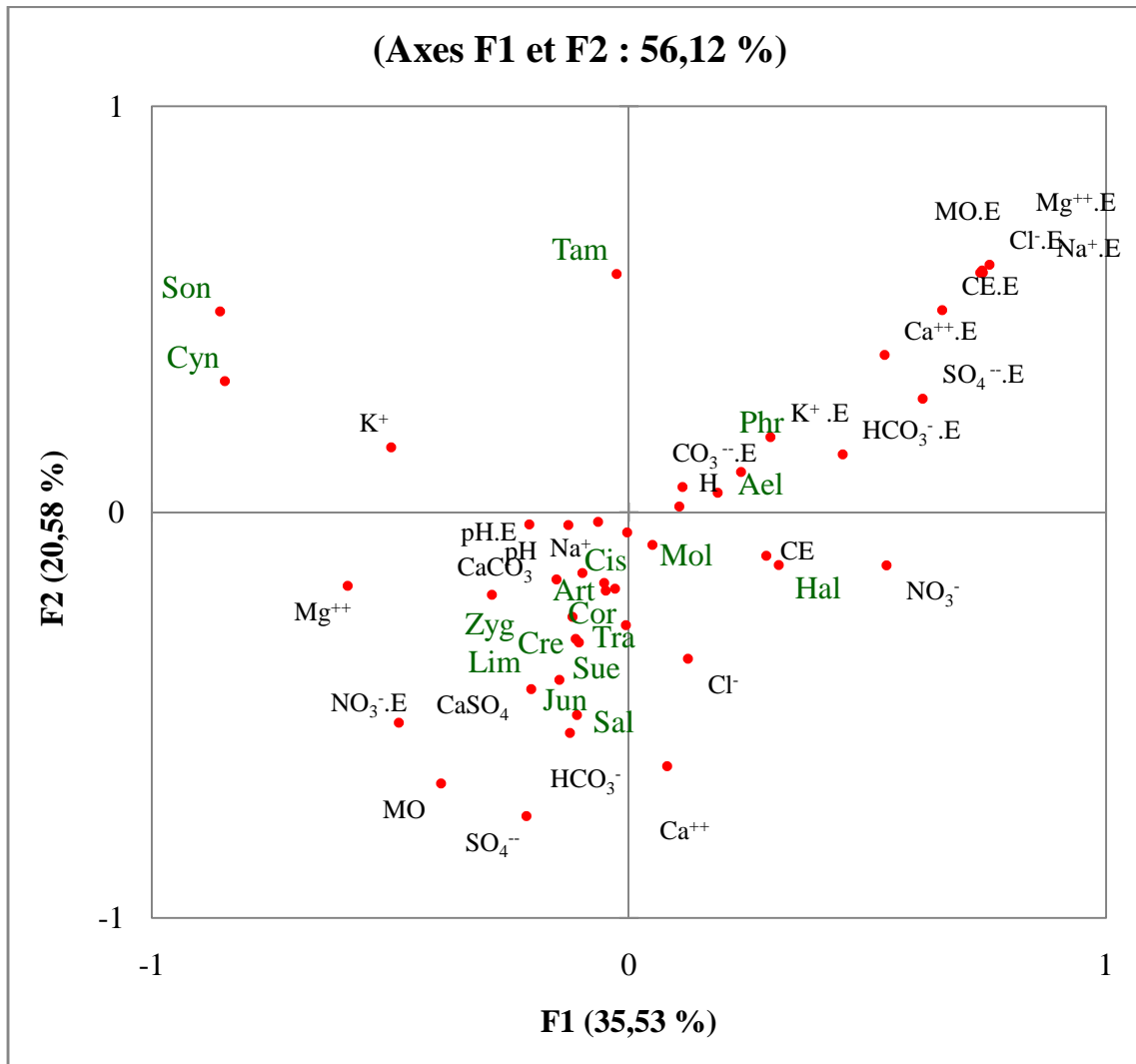


Figure 79 : Représentation sur le plan de l'ACC de densité des espèces et des facteurs environnementaux (sol et eau).

Tableau 20 : Matrice des corrélations entre la densité des espèces et facteurs de l'environnement (sol et eau).

Variabes	Phr	Jun	Tam	Hal	Sue	Zyg	Lim	Cor	Cis	Cre	Mol	sal	Tra	Art	Ael	Cyn	Son
CE	0,429	0,120	-0,321	0,026	-0,038	-0,371	-0,338	-0,231	-0,074	0,108	-0,151	0,188	0,033	0,072	0,064	-0,429	-0,369
pH	-0,109	-0,059	-0,001	-0,076	0,042	-0,117	-0,062	0,005	-0,023	0,049	0,159	-0,361	-0,172	-0,161	0,340	0,207	0,076
H	0,506	0,301	-0,085	0,015	0,075	-0,299	-0,289	-0,197	-0,007	0,321	0,064	-0,287	-0,315	-0,167	0,288	-0,061	-0,041
Cl <sup>-</sup>	0,249	0,149	-0,475	0,213	0,059	-0,411	-0,371	-0,354	-0,063	0,141	-0,124	0,455	0,334	0,196	0,061	-0,374	-0,373
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,106	0,195	-0,532	-0,038	0,153	-0,080	0,030	0,050	-0,015	0,266	0,220	-0,116	-0,108	-0,127	0,074	-0,258	-0,437
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,243	0,337	-0,376	-0,054	-0,144	0,362	0,447	0,354	0,084	0,255	-0,161	-0,379	-0,265	-0,152	-0,236	-0,318	-0,280
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,086	-0,054	-0,261	0,432	-0,047	0,253	0,205	0,340	-0,039	0,059	-0,081	0,079	0,094	0,131	0,169	-0,467	-0,539
Ca <sup>++</sup>	0,278	0,321	-0,566	0,096	-0,028	0,152	0,243	0,137	0,064	0,325	-0,106	-0,037	-0,023	-0,017	-0,204	-0,590	-0,552
Mg <sup>++</sup>	-0,400	-0,034	0,130	-0,249	0,149	-0,378	-0,372	-0,222	-0,112	-0,121	0,169	-0,073	-0,099	-0,006	0,261	0,472	0,279
Na <sup>+</sup>	0,161	-0,027	-0,218	0,140	-0,036	-0,427	-0,416	-0,262	-0,127	-0,072	-0,087	0,235	0,200	0,023	0,300	0,200	0,100
K <sup>+</sup>	-0,148	-0,036	0,185	-0,246	-0,059	-0,372	-0,367	-0,216	-0,102	-0,139	0,041	-0,231	-0,147	-0,154	0,247	0,616	0,503
CaSO <sub>4</sub>	0,117	0,249	-0,524	-0,024	0,093	-0,288	-0,191	-0,122	-0,041	0,266	0,177	-0,035	-0,130	-0,122	0,044	-0,233	-0,375
CaCO <sub>3</sub>	0,201	0,104	-0,129	-0,078	-0,030	-0,167	-0,119	-0,060	-0,046	-0,045	-0,021	-0,209	-0,093	-0,121	-0,102	-0,062	0,033
MO	0,042	0,381	-0,458	0,099	-0,016	0,393	0,434	0,240	0,127	0,339	-0,141	0,226	0,117	0,048	-0,442	-0,245	-0,178
CE.E	0,610	-0,038	0,155	0,098	-0,183	-0,177	-0,211	-0,121	-0,059	-0,022	-0,066	-0,319	-0,157	-0,152	0,288	-0,268	-0,188
pH.E	-0,061	-0,045	0,047	-0,003	0,185	-0,231	-0,226	-0,117	-0,077	-0,100	0,164	0,011	-0,018	-0,011	0,322	0,309	0,202
Cl <sup>-</sup> .E	0,472	-0,106	0,283	0,068	-0,182	-0,136	-0,200	-0,115	-0,058	-0,079	-0,003	-0,242	-0,118	-0,117	0,219	-0,308	-0,219
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .E	0,688	0,291	-0,094	-0,006	-0,163	-0,291	-0,288	-0,169	-0,083	0,231	-0,096	-0,256	-0,125	-0,124	0,068	-0,357	-0,259
Na <sup>+</sup> .E	0,455	-0,047	0,307	0,027	-0,185	-0,130	-0,203	-0,117	-0,058	-0,040	0,002	-0,256	-0,125	-0,124	0,174	-0,316	-0,224
Ca <sup>++</sup> .E	0,557	-0,173	0,015	0,187	-0,153	-0,173	-0,172	-0,100	-0,049	-0,106	-0,069	-0,189	-0,091	-0,093	0,291	-0,262	-0,187
Mg <sup>++</sup> .E	0,481	-0,132	0,246	0,096	-0,166	-0,157	-0,214	-0,125	-0,063	-0,094	-0,001	-0,203	-0,101	-0,098	0,251	-0,299	-0,214
K <sup>+</sup> .E	0,509	-0,162	-0,147	0,202	-0,116	-0,165	-0,122	-0,070	-0,035	-0,091	-0,099	-0,157	-0,076	-0,076	0,297	-0,183	-0,130
MO.E	0,453	-0,173	0,259	0,113	-0,161	-0,135	-0,200	-0,117	-0,055	-0,128	-0,010	-0,151	-0,074	-0,072	0,240	-0,317	-0,227
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .E	0,071	-0,161	0,063	0,137	0,178	-0,129	-0,228	-0,149	-0,078	-0,120	-0,098	0,778	0,225	0,485	-0,096	-0,304	-0,220
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> .E	0,201	-0,024	-0,037	0,033	-0,020	-0,059	-0,054	-0,010	-0,015	-0,019	-0,062	-0,033	-0,024	0,026	0,354	-0,073	-0,049
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .E	-0,068	0,068	-0,080	-0,023	0,268	-0,101	-0,146	-0,095	-0,050	0,032	-0,136	0,757	0,149	0,581	-0,309	-0,174	-0,116

Pour déterminer l'effet des facteurs de l'environnement sur la croissance de la végétation des zones humides étudiées, nous avons utilisé l'analyse canonique de correspondances en se basant sur la relation entre les facteurs environnementaux (sol et eaux) et le recouvrement des espèces. Les résultats d'analyses de l'ACC paraissent significatifs vu l'importance du taux d'inertie des deux premiers axes (1 et 2) respectivement avec 41.64% et 16.71% (figure 80).

Du côté positif en bas du premier axe, on trouve deux espèces (*Halocnemum strobilaceum* et *Phragmites communis*). Leurs valeurs de recouvrement sont en corrélation avec l'humidité et la salinité (tableau 21). Ces espèces ont besoin, pour leur développement, une grande salinité et des taux élevés d'humidité, et donc, ils pourraient être considérés comme des espèces très tolérantes à la sécheresse et aux sols salins. *Phragmites communis* se présente avec une forte densité et avec de grands recouvrements dans les placettes les plus proches du plan d'eau qui se trouvent inondées pendant une période de l'année.

Du côté positif en haut du premier axe, on trouve *Mallugo nudicaulis* qui est corrélé négativement avec la salinité et l'humidité du sol. Ceci est consolidé par l'absence de cette espèce dans les stations les plus salées (chott Ain El Beida et Sidi Slimane). En plus, le gypse,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et le pH ont des effets positifs sur la croissance de *Mallugo nudicaulis*. Une autre espèce se trouve du même côté; *Aeluropus littoralis* qui présente une corrélation positive avec les cations du sol les sels solubles des eaux. Cette espèce exige pour son développement une certaine humidité et elle peut tolérer les fortes salinités et l'humidité du sol, ce qui explique la non signification de la corrélation entre la croissance de *Aeluropus littoralis* et la salinité et l'humidité du sol.

Du côté négatif du premier axe on a un groupe de trois halophytes *Traganum nudatum*, *Salicornia fruticosa* et *Suaeda fruticosa*. *Salicornia fruticosa* ayant un recouvrement corrélé positivement avec la salinité du sol. La croissance des espèces de ce groupe est affectée négativement avec l'humidité du sol et les sels des eaux (tableau 21).

Un autre groupe de dix espèces se trouve du même côté. Une seule espèce *Juncus maritimus* dans ce groupe a un recouvrement corrélé positivement avec la salinité, l'humidité et les sels solubles du sol. Le *Juncus maritimus* est une espèce fortement hygrophile et très halophile se localisant aux bordures du plan d'eau. La présence de cette espèce dans ce côté de l'axe 1 peut être dû non aux impacts des facteurs abiotiques mais à d'autres facteurs biotiques. La forte dominance de *Phragmites communis* et l'intensité de son développement

ne laissent place à aucun autre végétal à se développer. Certains auteurs ont démontré que les facteurs abiotiques ne sont pas les seuls déterminants des modèles et de la dynamique de végétation dans les communautés des hydro-halophytes et que la concurrence et les interactions biotiques sont également influentes (Levine et al., 1998; Lenssen et al., 2004).

Ces résultats nous permettent de dire que le premier axe exprime un gradient d'humidité et de salinité.

Au niveau du deuxième axe, et conséquence de la faible inertie (16.71%), on n'a pas des groupes distincts visibles. L'analyse peut permettre de distinguer la préférence de chaque espèce à un milieu défini. Les espèces localisées dans le coin supérieur à gauche de l'axe 2, tel que *Traganum nudatum*, *Salicornia fruticosa* et *Suaeda fruticosa*, sont associés à des sols salés moins humides. Dans le coin supérieur droit se trouve *Aeluropus littoralis* associé à des sols non salés humides et *Mallugo nudicaulis* qui est associé à des sols salés moins humides. Les espèces trouvées dans le coin inférieur droit de l'axe 2 (*Halocnemum strobilaceum* et *Phragmites communis*) sont liées à des sols très salés et humides très proches du plan d'eau. Les espèces localisées dans le coin inférieur à gauche tel que *Zygophyllum album*, *Limoniastrum guynianum*, *Cornulaca monacantha* sont liées aux sables limoneux fortement chargés en gypse et sels solubles. Le *Juncus maritimus* et *Tamarix gallica* sont des hydro-halophytes associées à des sols halo-hydromorphes. Le *Sonchus maritimus* et *Cynodon dactylon* sont associées aux sols humides moins salés. *Arthrocnemum glaucum* et *Cressa cretica* sont des halophytes liées aux sols salés. El-Bana et al. (2002) a montré dans son étude sur le lac salée Bardawil (Egypt) que *Cressa cretica* est présente dans les zones à faible humidité, une salinité élevée et une nappe relativement profonde.

Au terme de l'étude de l'ACC il ressort que la salinité du sol, l'humidité, la salinité des eaux et l'état d'inondation du sol sont les principaux facteurs environnementaux qui influent la distribution et la croissance de la végétation des zones humides salées de Sahara Septentrional algérien. La variation à l'intérieur des halophytes peut être expliquées par la salinité, le niveau des eaux phréatiques et la teneur en humidité (Corre, 1985). Ainsi, les rives des lacs salés peuvent abriter différentes espèces. Certaines sont tolérantes à des sols et des eaux très salées et les inondations à des degrés divers, d'autres habitent les sols à faibles salinité. Par conséquent, la végétation se reproduit souvent dans des zones distinctes liées à des facteurs environnementaux (Tiku, 1975; Kruger et Peinemann, 1996), et aux caractéristiques biologiques des espèces (Joshi et Iyengar, 1982).

Youcefi (2011) a observé que l'humidité et le gradient de salinité influencent essentiellement la répartition des communautés végétales et la diversité des espèces dans les zones humides salines sahariennes de l'Algérie. En outre, Abu- Ziada (1980) a observé que dans les oasis de Kharga et Dakhla (désert d'Égypte) la distribution de la végétation est fortement liée aux gradients d'humidité et de salinité. Aussi, plusieurs auteurs ont souligné le rôle important de l'humidité du sol dans la distribution de plantes telles que Zohary ET Orshan (1949) et El -Sheikh et Yousef (1981). Liu et Zhou (1996) ont souligné que l'humidité du sol et la teneur en sel sont deux facteurs importants qui contrôlent le modèle de distribution des communautés végétales dans la province du Qinghai en Chine. De même, Ababou et *al.* (2010) a observé que le gradient d'humidité influence sensiblement le modèle de distribution des communautés végétales, la diversité des espèces, et la manifestation de certains types de stratégie écologique.

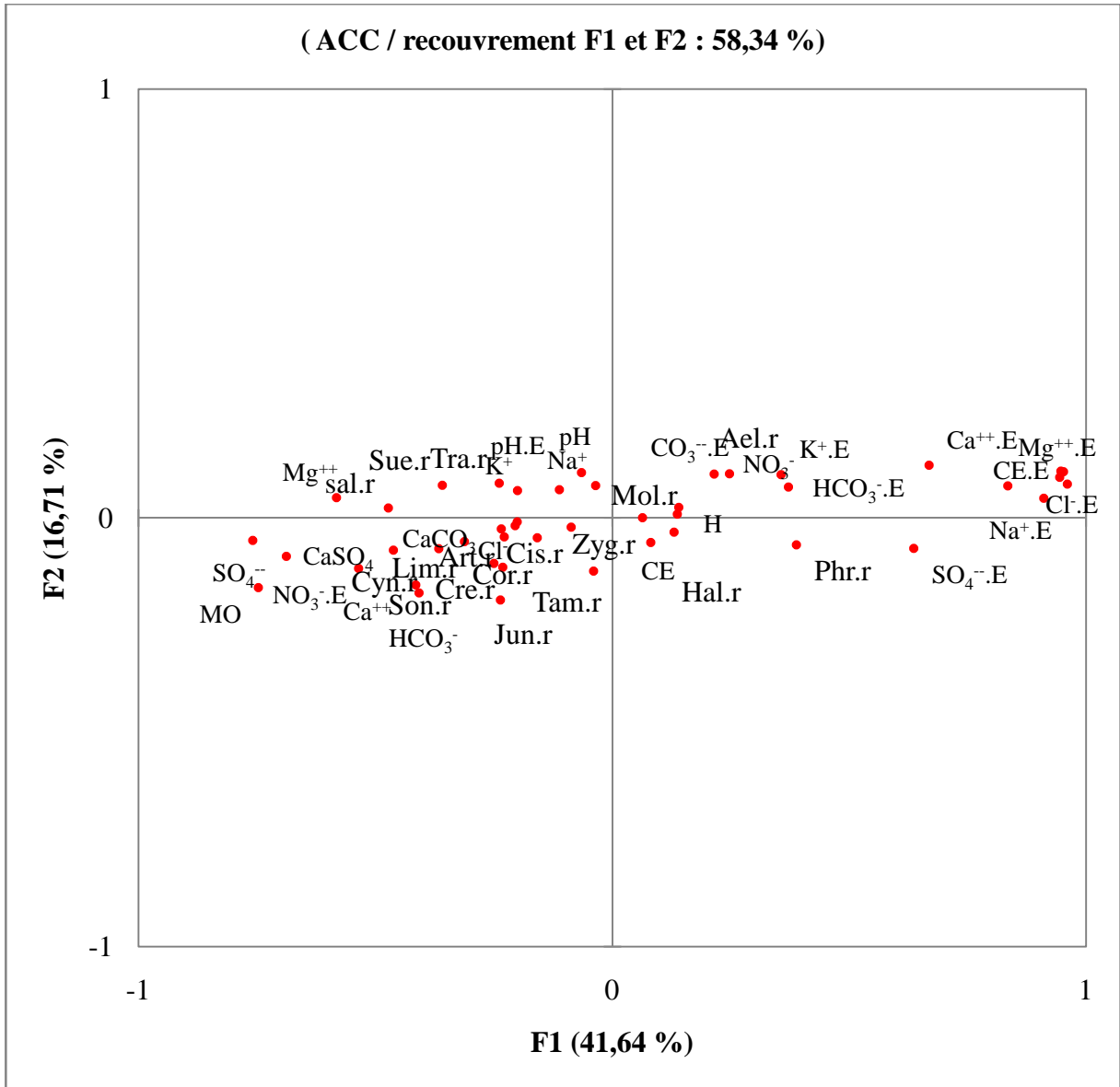


Figure 80 : Représentation sur le plan de l'ACC du recouvrement des espèces et des facteurs environnementaux (sol et eau).

Tableau 21 : Matrice des corrélations entre le recouvrement des espèces et facteurs de l'environnement (sol et eau).

Variables	Phr.r	Jun.r	Tam.r	Hal.r	Sue.r	Zyg.r	Lim.r	Cor.r	Cis.r	Cre.r	Mol.r	sal.r	Tra.r	Art.r	Ael.r	Cyn.r	Son.r
CE	0,428	0,139	0,089	0,024	-0,057	-0,326	-0,326	-0,231	-0,074	0,050	-0,154	0,189	0,033	0,072	0,062	-0,427	-0,374
pH	-0,109	-0,101	-0,039	0,081	0,063	-0,083	-0,106	0,006	-0,025	0,091	0,155	-0,362	-0,171	-0,162	0,342	0,204	0,078
H	0,510	0,282	0,057	0,092	0,044	-0,230	-0,262	-0,197	-0,007	0,342	0,030	-0,287	-0,315	-0,168	0,289	-0,062	-0,041
Cl <sup>-</sup>	0,249	0,143	-0,173	0,066	0,083	-0,469	-0,281	-0,354	-0,063	0,084	-0,127	0,455	0,335	0,196	0,060	-0,375	-0,380
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,105	0,169	-0,044	-0,008	0,155	-0,132	-0,001	0,050	-0,015	0,302	0,210	-0,117	-0,108	-0,127	0,078	-0,264	-0,443
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,241	0,389	0,079	-0,060	-0,169	0,276	0,389	0,354	0,084	0,185	-0,175	-0,379	-0,265	-0,152	-0,236	-0,317	-0,283
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,086	-0,099	-0,219	0,106	-0,006	0,263	0,017	0,340	-0,039	-0,012	-0,056	0,080	0,093	0,131	0,169	-0,469	-0,545
Ca <sup>++</sup>	0,276	0,362	0,003	-0,023	-0,045	0,042	0,263	0,137	0,064	0,255	-0,116	-0,037	-0,023	-0,017	-0,204	-0,590	-0,559
Mg <sup>++</sup>	-0,399	-0,091	-0,054	0,014	0,200	-0,310	-0,405	-0,222	-0,112	-0,050	0,166	-0,072	-0,098	-0,006	0,264	0,468	0,283
Na <sup>+</sup>	0,163	-0,073	-0,210	0,085	-0,016	-0,408	-0,447	-0,262	-0,127	-0,085	-0,092	0,234	0,200	0,023	0,299	0,199	0,100
K <sup>+</sup>	-0,148	-0,072	-0,083	0,016	-0,035	-0,290	-0,396	-0,216	-0,102	-0,109	0,042	-0,232	-0,147	-0,155	0,248	0,615	0,517
CaSO <sub>4</sub>	0,118	0,225	-0,021	0,009	0,085	-0,303	-0,189	-0,122	-0,041	0,276	0,177	-0,036	-0,130	-0,122	0,047	-0,238	-0,381
CaCO <sub>3</sub>	0,200	0,162	-0,017	0,039	-0,033	-0,167	-0,149	-0,060	-0,046	-0,028	-0,032	-0,211	-0,093	-0,121	-0,101	-0,061	0,032
MO	0,040	0,399	-0,026	-0,087	-0,024	0,204	0,482	0,240	0,127	0,266	-0,158	0,226	0,117	0,048	-0,440	-0,244	-0,182
CE.E	0,610	-0,004	-0,015	0,108	-0,222	-0,042	-0,230	-0,120	-0,059	-0,049	-0,055	-0,320	-0,157	-0,152	0,284	-0,266	-0,191
pH.E	-0,062	-0,071	-0,114	0,038	0,171	-0,203	-0,262	-0,118	-0,077	0,006	0,140	0,013	-0,019	-0,011	0,323	0,305	0,203
Cl <sup>-</sup> .E	0,471	-0,075	-0,028	0,094	-0,209	0,015	-0,219	-0,115	-0,058	-0,106	0,027	-0,243	-0,118	-0,117	0,215	-0,306	-0,223
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .E	0,689	0,334	0,033	0,044	-0,207	-0,178	-0,313	-0,169	-0,083	0,156	-0,087	-0,257	-0,125	-0,124	0,064	-0,355	-0,263
Na <sup>+</sup> .E	0,454	-0,012	0,009	0,073	-0,213	0,031	-0,222	-0,117	-0,058	-0,073	0,034	-0,257	-0,125	-0,124	0,170	-0,313	-0,228
Ca <sup>++</sup> .E	0,557	-0,150	-0,129	0,143	-0,175	-0,098	-0,188	-0,100	-0,049	-0,121	-0,060	-0,189	-0,091	-0,093	0,287	-0,260	-0,190
Mg <sup>++</sup> .E	0,480	-0,104	-0,058	0,104	-0,193	-0,018	-0,233	-0,125	-0,063	-0,115	0,026	-0,204	-0,101	-0,098	0,246	-0,297	-0,218
K <sup>+</sup> .E	0,510	-0,147	-0,155	0,142	-0,131	-0,144	-0,133	-0,070	-0,035	-0,100	-0,103	-0,157	-0,076	-0,076	0,294	-0,181	-0,132
MO.E	0,452	-0,146	-0,068	0,109	-0,181	0,002	-0,220	-0,117	-0,055	-0,147	0,018	-0,151	-0,074	-0,072	0,236	-0,314	-0,230
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .E	0,069	-0,170	-0,064	0,014	0,194	-0,101	-0,250	-0,149	-0,078	-0,135	-0,093	0,782	0,225	0,485	-0,099	-0,303	-0,223
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> .E	0,204	-0,025	-0,029	0,031	-0,019	-0,030	-0,080	-0,010	-0,015	-0,031	-0,066	-0,032	-0,024	0,027	0,354	-0,072	-0,053
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .E	-0,069	0,055	0,047	-0,074	0,304	-0,122	-0,159	-0,095	-0,050	-0,005	-0,142	0,760	0,150	0,581	-0,308	-0,172	-0,119



---

# *Conclusion*

---

## Conclusion

Le Sahara septentrional algérien renferme plusieurs zones humides qui jouent un rôle écologique important par ces relations avec les écosystèmes sahariens. L'objectif de ce travail était de déterminer la diversité floristique et les facteurs environnementaux influençant les mécanismes vitaux de ces zones humides salées.

A l'issue de cette étude, nous avons pu avoir une connaissance sur les variations spatiotemporelles de la composante floristique et des caractéristiques édaphiques et hydriques des zones humides du Sahara Septentrional algérien.

Il apparaît que ces écosystèmes, malgré toutes les conditions défavorables et contraignantes à sa productivité, renferment une végétation halophile spontanée intéressante sur le plan écologique et fourragère.

Les zones humides étudiées abritent 17 espèces végétales appartenant à 10 familles botaniques différentes de plantes vasculaires (phanérogames). La répartition des espèces diffère d'une zone humide à l'autre. La pauvreté de la diversité floristique est déjà connue pour les régions arides. Les Amaranthacées sont les plus dominantes ce qui indique la capacité de ces espèces à résister à la salinité et à la sécheresse qui règne dans les milieux humides salés à climat hyperaride. Par ailleurs, ces espèces présentent des recouvrements importants dans ces milieux. En outre l'abondance des espèces Amaranthacées dans les alentours des lacs justifie également la dominance des Chaméphytes sur les autres types biologiques.

La majorité des espèces inventoriées dans les stations sont soit des espèces à affinité halophytique (*Arthrocnemum glaucum*, *Halocnemum strobilaceum*, *Salicornia fruticosa*, *Suaeda fruticosa*); soit des plantes hydrophytes représentées notamment par des espèces caractéristiques telles *Phragmites communis*, *Juncus maritimus* et *Tamarix gallica*. La présence de ces deux catégories d'espèces est un bon indicateur des habitats humides salés. La présence des halo-gypsophiles (*Zygophyllum album* et *Limoniasstrum guyonianum*) indique l'hétérogénéité des sols des lac Merdjaja et Ayata.

L'étude spatiotemporelle de la végétation a montré que la densité et le recouvrement des espèces varient dans l'espace et dans le temps, dans le sens où il y a des relations entre la densité et le recouvrement des espèces à travers les saisons. La composition floristique rencontrée dans les zones humides est hétérogène; elle change d'une zone à l'autre, voire dans le même habitat au cours de l'année.

L'étude des caractéristiques édaphiques a montré que les zones humides étudiées se caractérisent par des sols halo-hydromorphes très riches en sels solubles.

Ces sols montrent une allure descendante du niveau de l'hydro- halomorphie tout en s'éloignant des centres des chotts ou des lacs. Ces abaissements sont nettement dus aux variations du niveau des eaux phréatiques (qui se rabattent également en allant du centre vers l'extrémité) et aux conditions climatiques de la région.

La salinité du sol diffère d'une zone à l'autre. Il apparaît que les sols sont très salés (lac Merdjaja et lac Hassi Ben Abdallah) à extrêmement salés (lac Ayata, chott Sidi Slimane, lac Mégarine, lac Témacine, chott Oum El-Ranneb et chott Ain El Beida) avec un faciès chloruré-calcique ou carbonaté calcique. Cette salinisation provient de l'altération d'une roche mère salée ou de la présence d'une nappe d'eau de surface dans les parties inférieures du chott et sebkha, ce qui induit à la salinisation très intense.

La variabilité de la salinité des sols entre les stations est fonction des caractéristiques hydro-pédologiques et géomorphologiques par rapport aux axes naturels d'écoulement et de concentration des eaux. Le caractère de la salinité des sols peut varier d'une façon quantitative et qualitative surtout en présence d'un plan d'eau en relation étroite avec la dynamique des nappes saumâtres imposées par les conditions géomorphologiques et climatiques de la région.

Les sols étudiés, notamment les sols du chott Ain El Beida et du chott Sidi Slimane, sont humides. La différence d'humidité entre les stations est la conséquence de la variation de la texture et la structure des sols, et la présence de croute gypseuse qui bloque l'infiltration des eaux et le niveau des eaux phréatiques. L'humidité du sol dans toutes les stations prend une allure descendante tout en s'éloignant du centre des sebkhas ou des lacs, ce qui suit la variation du niveau de la nappe phréatique.

Les zones humides sont caractérisées par des sols gypseux dont le taux de gypse est variable d'une station à l'autre et dans la même station. Ces sols sont généralement peu calcaires, leur teneur en matière organique est fonction du type et de la densité du couvert végétal.

L'étude des eaux des zones humides du Sahara Septentrional algérien a montré qu'elles sont très salées avec un faciès chloruré magnésien et chloruré sodique. elles sont généralement alcalines. La salinité des eaux varie saisonnièrement sous l'effet des conditions climatiques et la remontée des eaux phréatiques.

La qualité des eaux varie d'une station à une autre en relation avec les ressources en eaux (nappe phréatique, eau de drainage agricole et urbain). Il apparaît que les eaux des chotts Oum El-Ranneb et Ain El Beida sont les plus salées. Les zones humides étudiées se divisent en deux types de lacs salées, suivant leur bilan hydrique; en zones humides salées éphémères avec des eaux qui se déshèchent en saison estivale (chott d'Ain El Beida et Oum El-Ranneb) et zones humides salées éternels (lac Ayata, chott Sidi Slimane, lac Mégarine, lac Merdjaja, lac Témacine et lac Hassi Ben Abdallah). En ce qui concerne les indicateurs de la pollution, il apparaît que les eaux des deux chotts Ain El Beida et Oum El-Ranneb sont très polluées.

Au terme de l'étude hydro-édaphique, il en ressort que la qualité des eaux influe sur le sol par les changements réciproques sous l'effet des conditions climatiques et topographiques.

Bien que le couvert végétal est plus ou moins faible et espacé, la répartition de la flore, notamment celle en bordure du plan d'eau, est structurée suivant un modèle de zonation précis. En effet, la végétation échantillonnée reflète une disposition des espèces dominantes suivant un gradient des facteurs édaphiques notamment la salinité et l'humidité du sol. Nous constatons que les espèces végétales sont réparties en bandes parallèles suivant leur distance par rapport au plan d'eau. Le *Halocnemum strobilaceum* occupe les sols les plus salés et humides, elle est considérée comme l'espèce la plus tolérante aux mauvaises conditions édaphiques. Elle forme un cortège spécifique autour des chotts. Le *Phragmites communis* présente avec une large distribution avec des fortes densités aux bordures immédiates des plans d'eaux. Le *Juncus maritimus*, *Tamarix gallica* et *Salicornia fruticosa* occupent les sols qui se trouvent inondées partiellement ou complètement dans la saison hivernale. Les espèces *Suaeda fruticosa*, *Traganum nudatum*, *Arthrocnemum glaucum*, *Aeluropus littoralis* et *Cynodon dactylon* occupent les sols salés et humides éloigné du plan d'eau. Le *Zygophyllum album*, *Limonastrirum guynianum*, *Cornulaca monacantha*, *Cistanche tinctoria*, *Cressa cretica*, *Mollugo nudicaulis* et *Sonchus maritimus* occupent les sols les moins salés et moins humides, constituant la dernière ceinture de végétation autour des plans d'eaux.

Bien que la diversité des communautés des halophytes est pauvre en milieux arides par rapport aux autres régions, elles jouent un rôle écologique très important dans la dynamique et la structure des écosystèmes arides. Elles sont utilisées comme des plantes fourragères, plantes médicinales, fertilisation. Elles peuvent être utilisées dans le reboisement des milieux salés à cause de leur adaptation aux conditions salines. Malheureusement les habitats naturelles de ces halophytes (chott d'Ain El Beida et chott d'Oum El-Ranneb) sont menacés par la pollution anthropique sans négliger les effets des conditions climatiques (sècheresse).

A partir de ce travail, on peut dire que les écosystèmes humides des régions arides sont très vulnérables aux effets anthropiques et aux conditions climatiques très rudes, ce qui a des conséquences directes sur la flore et la faune. Enfin, pour comprendre davantage les facteurs qui influent sur la végétation halophile des zones humides salées cette étude doit être complétée par des études sur la physiologie des plantes et sur la géochimie des eaux et des sols.

---

## *Références bibliographiques*

---

## Références bibliographiques

- 1- **A.N.R.H., 2000.** Notes relatives à la remontée des eaux dans la cuvette de Ouargla, 11pages.
- 2- **A.N.R.H., 2005.** Zones humides au Sahara septentrional, Caractérisation et propositions d'aménagement. C.I.R.E.S.S. Ouargla. 4p.
- 3- **Ababou A., Chouieb M., Khader M., Mederbalk and Saidi D., 2010.** Using vegetation units as salinity predictors in the Lower Cheliff Algeria. Turkish Journal of Botany 34:73-82 TUB TAK doi: 10.3906/bot-0903-21.
- 4- **Abd-El-Ghani M.M., 2000.** Vegetation composition of Egyptian inland salt marshes. Botanical Bulletin Academia Sinica 41: 305-314.
- 5- **Abd El-Ghani M.M and Amer W.M., 2003.** Soil-vegetation relationships in a coastal desert plain of southern Sinai, Egypt. Journal of Arid Environments 55: 607-628.
- 6- **Abdelkrim H., 1984.** Approche phytoécologique et phyto-sociologique de quelques étages alfatiers de la région de Djelfa et Tebessa. Thèse Magistère. Institut National d'Agronomie, Alger.
- 7- **Abu-Ziada M.E.A., 1980.** Ecological studies on the flora of Kharga and Dakhla Oases of the Western Desert of Egypt. Ph.D Thesis. Faculty of Science, Mansoura University, Egypt.
- 8- **A.F.N.O.R., 1992.** Sol : reconnaissances et essais. Norme française. 16p.
- 9- **A.F.N.O.R., 1996.** Sol : reconnaissance et essais. Norme française. 15p.
- 10- **A.F.N.O.R., 1999.** Qualité des sols. Ed. AFNOR, vol. 1 et 2, Paris, 973p.
- 11- **Aidoud F., 1984.** Contribution à l'étude des groupes de Sparte (*Lygeum spartum* L.) des hauts plateaux de Sud Oranien. Etude phytoécologique et taxonomique. Thèse Doctorat 3ème Cycle. Université des Sciences et Technologie, Houari Boumediene, Alger.
- 12- **Alkhverdiev F.D., 1988.** Indicational significance of mosaicism of meadows with dominance the Shoregrass (*Aeluropus littoralis*) in the coastal portion of flatland Dagestan. Soviet Journal of Ecology, 19:191-194.
- 13- **Álvarez-Rogel J., Ariza F.A and Silla R.O., 2000.** Soil salinity and moisture gradients and plant zonation in Mediterranean salt marshes of Southeast Spain. Wetlands, 20 :357-372.
- 14- **Álvarez-Rogel J., Carrasco L., Marín C.M and Martínez-Sánchez, J.J., 2007.** Soils of a dune coastal salt marsh system in relation to groundwater level, micro-topography and vegetation under a semiarid Mediterranean climate in SE Spain. Catena, 69: 111-121.
- 15- **Aubert G., 1976.** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales INA, Alger Vol N° 1, pp 185-196.
- 16- **Aubert G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. C.R.D.P, Marseille. 189p.
- 17- **Ayoub A.T and Malcolm C.V., 1993.** Halophytes for Livestock, Rehabilitation of

Degraded Land and Sequestering Atmospheric Carbon.UNP: Nairobi, Kenya.

**18- Badoux., 1989.** Cours de géologie générale. DUNOD. Paris. 144 p.

**19- Bagnols F et Gausse H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. Bull Soc. Hist. Nat. de Toulouse, 88 : 193-240.

**20- Baize D., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie. Choix, expression, présentation, interprétation. I.N.R.A., Paris, 172p.

**21- Barrett G., 2006.** Vegetation communities on the shores of a salt lake in semi-arid Western Australia. Journal of Arid Environments 67:77-89.

**22- Barzanji A.F and Stoops G., 1974.** Fabric and mineralogy of gypsum accumulations in some soils of Iraq. International Soil Science Society, Moscow, USSR.10<sup>th</sup> International Congress of Soil Science, vol. 7. pp 221-277.

**23- Beeftink W.G, 1977.** The coastal salt marshes of western and northern Europe. In: Chapman V.J. (ed.), Ecosystems of the World Elsevier, Amsterdam, pp 109-155.

**24- Benhouhou S.S., Dargie T.C.D and Gilbert O.L., 2003.** Vegetation associations in the Ougarta Mountains and dayas of the Guir Hamada, Algerian Sahara. Journal of Arid Environments, 54: 739-753.

**25- Bennett A.C and Adams F., 1972.** Solubility and solubility product of gypsum in soil solutions and other aqueous solutions. Proceedings of the Soil Science Society of America, 36:288-291

**26- Benzecri J.P., 1964.** Sur l'analyse factorielle des proximités Publication de l'Institut de statistique de l'Université de Paris, 13: 235–282.

**27- Benzecri J.P., 1973.** L'analyse des données I : La taxinomie. Édition Dunod, Paris, 615p.

**28- Bertness M.D and Hacker S. D., 1994.** Physical stress and positive associations among marsh plants. American Naturalist, 144: 363-372.

**29- Bliefert C et Perraud R., 2004.** Chimie de l'Environnement : Air, eau, sols ; déchets 1<sup>ère</sup> édition. De Boeck Université pp 234-251.

**30- Blondel J., 1979.** Biogéographie et écologie : synthèse sur la structure, la dynamique et l'évolution des peuplements de vertébrés terrestres. Masson. Paris. 165p.

**31- Boudet G., 1978.** Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. IEMVT. Ministère de la coopération. 258 p.

**32- Boumezbeur A., 2004.** Atlas des zones humides Algériennes d'importance internationale. Éd. Direction Générale des Forêts, Alger. Algérie.105p.

**33- Braun-Blanquet., 1951.** Pflanzensoziologie. G rundzüge der Vegetationskunde. Springer - Verlag, Wien and New York.865 p.

**34- Brown G., 2006.** The Sabkha vegetation of the United Arab Emirates. In: Khan MA,



Boer B, Kust GS, Barth HJ, editors. Sabkha Ecosystems: Volume II: West and Central Asia. Dordrecht: Springer. pp 37–51.

**35- Butterworth M.H., 1967.** The digestibility of tropical grasses. Nutrition Abstract and Reviews. 37 (2): 349-350.

**36- C.D.A.R.S., 1998.** Etude du plan directeur général de développement des régions sahariennes. Lot 1 : étude de base. Phase II A2 : Monographies spécialisées des ressources naturelles, Ressources en sols. 104p.

**37- Carter V., Bedinger M.S., Novitzki R.P., and Wilen W.O., 1979.** Water resources and wetlands. In Wetland Functions and Values: The State of Our Understanding. P.E. Greeson, J. R. Clark, and J.E. Clark, Eds. Minneapolis, MN. American Water Resources Association :344-376.

**38- Chehema A., 2005.** Étude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara Septentrional algérien: cas des régions de Ouargla et Ghardaïa. Thèse Doctorat, Université Baji Mokhtar Annaba (Algérie). 178p.

**39- Chehema A., 2006.** Catalogues des plantes spontanées du Sahara Septentrional algériens. Labo. Eco. Sys., Univ. Ouargla, 140p.

**40- Chehema A., Djebar M.R., Hadjaiji F et Rouabeh L., 2005.** Étude floristique spatio-temporelle des parcours sahariens du Sud-Est algérien. Sécheresse, 16 : 275-285.

**41- Chenchouni H et SI Bachir A., 2010.** Zones humides et biodiversités - Classification et typologie des zones humides du Bas-Sahara algérien et caractérisation de la biocénose du Lac Ayata (Vallée d'Oued Righ). Ed. Editions Universitaires Européennes, Allemagne, 152p.

**42- Chenchouni H., 2012.** Diversité Floristique d'un lac de Bas Sahara Algérien. Acta Botanica Malacitana 37: 33-44.

**43- Chessel D., Debouzie D., Donadieu P et Klein D., 1975.** Introduction à l'étude de la structure horizontale en milieu steppique. I. Echantillonnage systématique par distance et indice de régularité, Plant Ecology, 10 (1): 25-42.

**44- Cordier B., 1965.** L'analyse factorielle des correspondances. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Rennes.

**45- Corre J.J., 1985.** Environmental structure and variation in coastal vegetation of the Gulf du Lion (France). Vegetation, 61: 15-22.

**46- Côte M., 2002.** Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranés. C.N.R.S. Cote d'Asur. 17p.

**47- Couture I., 2004.** Analyse d'eau pour fin d'irrigation. AGRI. VISION. 8p.

**48- Cronk J.K and Fennessy M.S., 2001.** Wetland plants: biology and ecology. LEWIS PUBLISHERS. New York.

**49- Daget P., 1982.** Sur le concept de mesure et son application en écologie générale. Vie et Milieu, 32: 281-282.

- 50- Daget P et Poissonet J., 1991.** Prairies et pâturage, méthodes d'étude. Institut de Botanique Montpellier, France. 354p.
- 51- Daoud Y et Halitim A., 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sècheresse*, 5 :151-160.
- 52- Derron M., 2000.** Géochimie des eaux de sources et interaction eau roche dans les alpes. Quanterra. Lausanne et Genève. pp1-18.
- 53- Derruau M., 1967.** Précis de géomorphologie. Ed : Masson, Paris. 415p.
- 54- Djamai R., 2007.** Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du système endoréique du lac Felzara (Nord-Est algérien). *Approche géochimique et évolution spatio-temporelle des phénomènes*. Thèse Doctorat en Sciences Agronomiques. INA El-Harrach, Alger. 125p.
- 55- Djebaili S., 1970.** Etude phytoécologique de plateau de Tademaït (Algérie). *Bull. Histoire de nature de l'Afrique du Nord*. 61, 3 - 4: 175-226.
- 56- Djebaili S., 1978.** Recherche phyto-sociologique de la végétation de haute plaine de steppe de l'Atlas Saharien Algérien. Thèse doctorat. Université de Montpellier, France.
- 57- Djebaili S., 1984.** Steppe algérienne. Phytosociologie et écologie. OPU, Ben-Aknoun, Alger. 177p.
- 58- Djermakoye H., 2005.** Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries; Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Thés Doc Pharmacie. Université BAMAKO.
- 59- Dubief J., 1952.** Le vent et le déplacement du sable au Sahara. Ed. Institut de Recherches Sahariennes, Alger. Tome VIII. pp 123-163.
- 60- Dubief J., 1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Ed. Service des études scientifiques, Alger. pp 26-103.
- 61- Dubief J., 1959.** Le climat du Sahara. Ed. Institut de Recherches Sahariennes, Alger. Mémoire hors-série. Tome I. 307p.
- 62- Dubief J., 1963.** Le climat du Sahara. Ed. Institut de Recherches Sahariennes, Alger. Mémoire hors-série. Tome II. 298p.
- 63- Duchaufour P., 1977.** Pédogénèse et classification. Ed. MASSON & CIE, Paris, 477p.
- 64- Durant J.H., 1954.** Les sols d'Algérie. SES. Alger, 244p.
- 65- Durant J.H., 1959.** Les sols rouges et les croûtes en Algérie. SES. Alger. 187p.
- 66- Dutil P., 1971.** Contribution à l'étude des sols et des paléosols de Sahara. Thèse doc. D'état, Faculté des sciences de l'université de Strasbourg. 346p
- 67- El-Bana M.I., Khedr A.A., Van Hecke P and Bogaert J., 2002.** Vegetation composition of a threatened hyper saline lake (Lake Bardawil), North Sinai. *Plant Ecology*, 163: 63-75.

- 68- El-Sheikh A.M and Yousef., 1981.** Halophytic and xerophytic vegetation near Al-Kharg springs. Journal of College Science. University Riyadh, 12: 5-12.
- 69- Feltzines J.C., 1982.** Etude dynamique, sociologique et écologique de la végétation des étangs du centre est de la France. Importance de la compétition interspécifique dans l'organisation de la végétation et la distribution des espèces et des associations. Thèse Doctorat. Sciences naturelles. Université Sciences Techniques Lille, 498p.
- 70- Ferchichi-Ben Jamaa H., Serge D., Muller A., Daoud-Bouattour Z., Ghrabi-Gammar L., Rhazi I., Soulie-Marsche M., Oualiet Ben Saad-Limam S., 2010.** Structures de la végétation et conservation des zones humides temporaires méditerranéennes : la région des Mogods (Tunisie septentrionale). Comptes Rendus Biologies. Academy of sciences 333: 265–279.
- 71- Fitzpatrick E.A and Nix H.A., 1970.** The climate factor in Australia Grassland ecology. In « Moore R.M. Ed. Australian Grasslands. pp 3-26.
- 72- Forti M., Lavie Y., Benjaminr W., Barkai DandHafetz Y., 1987.** Regrowth of shrub grazed by sheep either in the summer or in the winter. Sub. Network of Mediterranean pasture. 5<sup>th</sup> meeting. Montpellier. pp 102-105.
- 73- Foucault et Raoult., 2003.** Dictionnaire de Géologie. 5ème édition. DUNOD MASSON SCIENCE. Paris 100p.
- 74- Frontier A., 2008.** Écosystèmes; Structure, Fonctionnement et Evolution. 4<sup>ème</sup> édition. Dunod. Paris.27p.
- 75- Gardi R.,1973.** Sahara. Ed: Kummerlyet Frey, Paris, 3<sup>ème</sup>Edition. pp 49-51.
- 76- Gauthier-Lièvre L., 1931.** Recherches sur la flore des eaux continentales de l'Afrique du Nord. Société d'histoire naturelle de l'Afrique de nord. Mémoire hors-série (France). 299 p.
- 77- Gautier M., 1953.** Les chotts machines évaporatoires complexes. Coll. Intern Actions éoliennes, phénomènes d'évaporation et d'hydrologie superficielle dans les régions arides. C.N.R.S , Paris, Vol XXI, pp 317-325.
- 78- Gillet F., 2000.** La phytosociologie synusiale intégrée. Guide méthodologique. Documents du laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie. Doc.1. mars 2000, 1ère édition, Univ. Neuchâtel – Inst. Bot. Suisse : 68 p.
- 79- Godron M., 1966.** Application de la théorie de l'information à l'étude de l'homogénéité de la structure de la végétation – Ecologie des plantes, 6: 209-225.
- 80- Godron M., 1968.** Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale. Ecologie des plantes, 3:185-212.
- 81- Gounot M., 1969.** Méthodes d'études quantitatives de la végétation. Masson et Cie. Paris. 314 p.
- 82- Grall J et Hily C., 2003.** Traitement des données situationnelles (faune). IUEM(UBO)/LEMAR 10p.

- 83- Guillerm J.L., 1971.** Calcul de l'information fournie par un profil écologique et valeur indicatrice des espèces – Ecologie des plantes, pp 187-197.
- 84- Guinochet M., 1973.** Phytosociologie. Ed. Masson, Paris. 227p.
- 85- Gul B and Weber D.J., 2001.** Seed bank dynamics in a Great Basin salt playa. *Journal of Arid Environments* 49:785-879.
- 86- Guyot J et Durand J.H., 1955.** L'irrigation des cultures dans l'Oued Righ .Trav. de l'I.R.S Université d'Alger, T.XIII, pp75-130.
- 87- Hacini M., 2006.** Géochimie des sels et des saumures et calcul des vitesses de précipitation de quelques minéraux évaporitiques. Th. Doc. Univ. M. Badji, Annaba, 200 p.
- 88- Halfaoui A., 2009.** Inventaire de la macro et la microfaune aquatique du lac Hassi Ben Abdallah. Mémoire ingénieur UKM Ouargla. 93p.
- 89- Halilat M.T., 1998.** Étude expérimentale de sable additionné d'argile, comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques. Thèse. Doct. I.N.R.A. I.N.A. Paris. Grignon. 229p.
- 90- Halis Y., 2007.** Atlas des plantes de la région de Souf, les plantes sahariennes de grand Erg Oriental. Ed. El Walid. El Oued. Algérie.252p.
- 91- Halitim A., 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. Ed. OPU, Alger, 384 p.
- 92- Hamdi Aïssa B., 2004.** Soils and Brine Geochemistry and Mineralogy of Hyper arid Desert Playa, Ouargla Basin, Algerian Sahara. *Arid Land Research and Management*, 18: 103-126.
- 93- Hamdi-Aïssa B and Fedoroff N., 1997.** Salt affected soil functioning at the Ouargla oasis (North Sahara Algeria). In: *International Symposium on Sustainable Management of salt affected soil* (ed. El-Gala, A., & Blum, WEH) pp 153-154. ISSS-FAO.
- 94- Hamdi-Aïssa B., Fedoroff N and Valles V., 1997.** Short and long term soil system behavior in hyperarid environment: A case study in the Ouargla Chott, Sahara of Algeria. *Zeits chriftders terreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 55:53–57.
- 95- Hamdi-Aïssa B., Fedoroff N and Valles V., 1999.** Salts and gypsum dynamics under an hyper-arid mediterraneanclimate.In: *6th international meeting on soils with Mediterranean type of climate.* (ed.Bech, J.), pp. 541-543, IUSS and Univ. Barcelona, Barcelona.
- 96- Hamdi-Aïssa B., 2001.** Le fonctionnement actuel et passé de sol du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Thèse doc, Inst. Nati. Agro. Grignon, 194p.
- 97- Heker et Vives T., 1995.** Statut et involontaire des zones humides dans la région méditerranéen, IWR, Press, Oxford UK. 146p.
- 98- Hoveizeh H., 1997.** Study of the vegetation cover and ecological characteristics in saline habitats of Hoor-e-Shadegan. *Journal of Research and Construction* 34(1):27-31 (in Persian).
- 99- Isbell R.F et Mc Cown R.L., 1976.** Tropical pasture. Principles and methods.

«Land». Ed. by SHAW et BRYAN. Chapages 3. pp 34-35

**100- Jaccard P, 1908.** Nouvelles recherches sur la distribution florale: Bulletin de Société Vaudoise des Sciences Naturelles, 44 : 223-270.

**101- Jacquin F., Mallouhi N et Gallali T., 1979.** Etude sur l'intensité des transferts de matières organiques sous l'influence de la salinité. C. R. Acad. Sci. Paris, 289, D, 1229-1232.

**102- Jafari M., ZareChahouki M.A., Tavili A and Azarnivand H., 2003.** Soil-vegetation relationships in Hoz-e-Soltan region of Qom province, Iran. Pakistan Journal of Nutrition 6: 329-334.

**103- Joshi A.J and Iyengar E.R.R., 1982.** Physico-chemical characteristics of soils inhabited by halophytes, *Suaeda nudiflora* Moq. and *Salicornia brachiata* Roxb. in Gujarat. Indian Journal of Marine Science, 11: 199-200.

**104- Kargar Chighani H., Khajeddin S.J and Karimzadeh H.R., 2010.** Soil-vegetation relationships of three arid Land seedling species and to their uses in rehabilitating degraded sites. Newspaper of Land degradation and development, 23:92-101.

**105- Khadraoui A., 2005.** Eaux et Sols en Algérie (Gestion et impact sur l'environnement). Ed. EMPAC, Constantine, Algérie, 392p.

**106- Khadraoui A., 2007.** Sols et hydraulique agricole dans les Oasis Algériennes (Caractérisation, contraintes et propositions d'aménagement). Ed. Dar Houma, Alger. 317p.

**107- Khan M.A and Qaiser M., 2006.** Halophytes of Pakistan: Distribution, Ecology, and Economic Importance. In: Sabkha Ecosystems . M.A. Khan, H. Barth, G.C. Kust and B. Boer (eds.). Vol. II: Springer, Netherlands: 129 -153.

**108- Khaznadar M., Vogiatzakis I.N and Griffiths G.H., 2009.** Land degradation and vegetation distribution in Chott El Beida wetland, Algeria. Journal of Arid Environments 73: 369-377.

**109- Kherraze M.E., Lakhdari K., Kherfi Y., Benzaoui T., Berroussi S., Bouhanna M et Sabaa A., 2010.** Atlas Floristique de la vallée de l'Oued Righ par écosystèmes. Centre de Recherches Scientifiques et Techniques sur les Régions Arides. Ed. Guerfa, Biskra, Algérie.

**110- Koull N et Chehma A., 2014.** Soil-Vegetation relationships of saline wetlands in North East of Algerian Sahara. Revue Arid Land Research and Managment. 29 (1) : 72-84.

**111- Kruger H.R and Peinemann N., 1996.** Coastal plain halophytes and their relation to soil ionic composition. Vegetation 122: 143-150. Kluwer Academic Publishers. Printed in Belgium.

**112- Lacoste A et Salanon R., 2001.** Eléments de biogéographie et d'écologie. Ed. Nathan Université, Paris, 318 p.

**113- Lamy M., 1995.** L'eau de la nature et des hommes. Collection « Scieteren ». Presse universitaire de Bordeaux. France. 170p.

- 114- Le Houerou H.N., 1975.** Problems and potentialities of the arid grounds of North Africa. *Options Slandered Paris*, 26: 17-35.
- 115- Le Houérou H.N et Hoste C.H., 1977.** Range land production and annual rainfall relations in the Mediterranean basin and in the Sahelo-Sudanian zones. *J. Rge Mgt.* 30: 181-189.
- 116- Le Houerou H.N., 1990.** Définition et limites bioclimatiques du Sahara. *Sècheresse*, 4:255-256.
- 117- Le Houérou H.N., 1992.** The role of saltbushes (*Atriplex* sp.) in arid land rehabilitation in the Mediterranean Basin: A review. *Agroforestry systems*, 18: 107-148.
- 118- Le houérou H.N., 1993.** Salt-tolerant plants for the arid regions of the Mediterranean isoclimatic zone. In: Lieth H, Masoon A Al, eds. *Towards the rational use of high salinity tolerant plants*, vol. 1. Dordrecht, the Netherlands, Kluwer. pp 403-422.
- 119- Le houerou H.N., 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique; Diversité biologique, développement durable et désertisation. *CIHEAM/ACCT, Série B, N°10*, 408p.
- 120- Le Lubre M., 1952.** Conditions structurales et formes de relief dans le Sahara. Ed: *Inst. Rech. Saha., Alger, Tome VIII.* pp189 -190.
- 121- Lemee G., 1967.** Précis de la biogéographie. *Masson et Cie*, 285p.
- 122- Lenssen J.P.M., Menting F.B.J., and Van Der P.W.H., 2004.** Do competition and selective herbivory cause replacement of *Phragmites australis* by tall forbs. *Aqua Botanic*, 78: 217 -232
- 123- Levine J., Brewer J.S and Bertness M.D., 1998.** Nutrients, competition and plant zonation in a New England salt marsh. *Journal of Ecology*, 86: 285-292.
- 124- Liu Q and Zhou L.H, 1996.** Primary study on interrelation between plant communities and environmental factors in north Shore of Qinghai Lake. *Acta Botanica Sinica*, 38: 887-894.
- 125- Long G., 1974.** Diagnostic phytoécologique et aménagement de territoire. *Masson et Cie, Paris.* pp22-252.
- 126- M'hirit O., 1982.** Etude écologique et forestière des cédraies du rif marocain. Thèse Doctorat. *Sciences de la nature. Université Aix-Marseille. France.* 502p.
- 127- Malcolm C.V and Choukr-Allah R., 1995.** Characteristics and methods for determining the drilling species for particular sites. pp 97-114. In *The Halophytes and Agriculture.* Ed. *Marcel Dekker Inc: New York.*
- 128- Marc T., Jean-Paul V., Annie O., Jean-Claude G and Jean-Claude L., 2003.** Vegetation dynamics and plant species interactions under grazed and un -grazed conditions in a western European salt marsh. *Acta Oecol*, 24: 103-111.
- 129- Matthews G.V.T., 1993.** *The Ramsar Convention; Its History and Development.* Gland, Switzerland. *Ramsar Convention Bureau*, 180p.

- 130- Minggagud H and Yang J., 2013.** Wetland plant species diversity in sandy land of a semi-arid inland region of China. *Plant Biosyst*, 147: 25–32.
- 131- Mitsch, W.J and Gosselink J.G., 2000.** *Wetlands*. 3<sup>rd</sup> Edition. John Wiley and Sons, New York.
- 132- Monod T., 1992.** Du désert. *Sècheresse*, 3 (1): 7-4.
- 133- Morand T., 2001.** Soil landscape of the Woodbun 1:100000 sheets. Department of land and water conservation, Sydney: 271-273.
- 134- Nedjimi B., 2012.** Seasonal variation in productivity, water relations and ion contents of *Atriplex halimus* spp. *Schweinfurthii* grown in ChottZehrez wetland, Algeria. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11: 43-49.
- 135- Neveu A., 1997.** L'eau dans l'espace rural, vie et milieux aquatique. DUNOD. Paris. pp 51-57.
- 136- O.N.M., 1991.** Résumé annuel du temps en Algérie. Alger, 145p.
- 137- O.N.M., 2012.** Données climatiques de la région de Ouargla et de l'Oued Righ. 20p.
- 138- Omer L.S., 2004.** Small-scale resource heterogeneity among halophytic plant species in an upper salt marsh community. *Aquatic Botany journal*, 78:337-348.
- 139- Ozenda P., 1977.** Flore du Sahara. CNRS, Paris.
- 140- Ozenda P., 1982.** Les végétaux dans la biosphère. Edition Doin, Paris. 431p.
- 141- Ozenda P., 1983.** Flore du Sahara. 2<sup>ème</sup> Edition. CNRS, Paris, 622p.
- 142- Ozenda P., 1991.** Flore du Sahara, 3<sup>ème</sup> Edition. CNRS, Paris. 662p.
- 143- Pennings S.C., Grant M.B and Bertness M.D., 2005.** Plant zonation in low-latitude salt marshes: disentangling the roles of flooding, salinity and competition. *Journal of Ecology*,
- 144- Pettini C., 1992.** Stratégie d'échantillonnage prenant en compte différents niveau de structuration spatiale. Application à deux insectes ravageurs de la châtaigne (*Curculia elephas* et *Cydias plendana*) et a une graminée l'Alfa (*Stipa tenassicima* ). Thèse Doctorat, Univ. Claude Bernard, Lyon I, 331p.
- 145- Piélou E.C., 1966.** The measurement of diversity in different types of biological collections. *journal of theoretical biology*, 13, 131-144.
- 146- Piper A.M., 1944.** A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. – American Geophysical Union, Transcript, 25: 914-923.
- 147- Pitman M.G and Lauchli A., 2002.** Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Eds. A. Lauchli, V. Luttge, Kluwer, The Netherlands. pp3-20.
- 148- Pouget M., 1968.** Contribution à l'étude des croûtes et les encroûtements gypseux de nappe dans le sud Tunisien. *Cah. ORSTOM, Serie. Pedol.* 6 : 309-365.

- 149- Poupon H., 1980.** Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. Travaux et documents de l'ORSTOM n° 115, ORSTOM. Paris. 351p.
- 150- Quezel P., 1955.** La végétation du Sahara, du Tchad à la Mauritanie. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, 328p.
- 151- Quezel P., 1978.** Analyses of the flora Mediterranean and Saharan Africa. Annals of the Missouri Botanical Garden. pp 479-535.
- 152- Quezel P et Santa S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome I.C.N.R.S. Paris, France.564p.
- 153- Quezel P et Santa S., 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II.C.N.R.S. Paris, France. 567-1170p.
- 154- Rejsek F., 2008.** Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques 2<sup>ème</sup> Ed. pp53-290.
- 155- Richards L.A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric.Handbook 60, USDA, Washington D.C. 160 p.
- 156- Rodier J., 2009.** Analyse de l'eau. 9<sup>ème</sup> Édition. Paris, 1526p.
- 157- Rogel J.A., AlcarazAriza F and Ortiz Silla R., 2000.** Soil salinity and moisture gradients and plant zonation in Mediterranean salt marshes of Southeast Spain. Wetlands, 20 : 357-372.
- 158- Rogel J.Á., Silla R.O and Ariza F.A., 2001.** Edaphic characterization and soil ionic composition influencing plant zonation in a semiarid Mediterranean salt marsh. Geoderma, 99:81-98.
- 159- Rognon P., 1994.** Les principaux sols du Maghreb. In « Désertification et aménagement ». Med. Compus N°8. Cours de séminaire Mednin (Tunisie). Agadir (Maroc. Caen).pp 89-112.
- 160- Romane F., 1972.** Applications à la phytoécologie de quelques méthodes d'analyse multi-variable. Thèse Docteur-ingénieur. Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier). 110p.
- 161- Rouvilois-brigole M., 1975.** Le pays de Ouargla (Sahara algérien) variation et organisation. Pub. Univ. Sorbonne. Paris. 361p.
- 162- Rozema J., Bijwaard P., Prast G and Broekman R., 1985.** Ecophysiological adaptations of coastal halophytes from fore dunes and salt marshes. Vegetation, 62: 499-521.
- 163- SaadaniY et EL Ghezal A., 1989.** Productivité et valeur nutritive comparée de *Acacia cyanophylla*, (Lindl), *Atriplexnummularia* (Lindl) et *Medicagoarborescens* (Lindl). Séminaire Maghrébin d'Agroforesterie. Jebel Oust – Tunisie. pp. 23-27 octobre 1989.
- 164- Savage J.M., 1995.** Systematic and the biodiversity crisis. Bio-science 45: 673-679.
- 165- Seltzer P., 1946.** Le climat de l'Algérie. Ed : Institut de météorologie et de physique du



globe. Alger. 218p.

**166- Shannon C.E and Weaver W., 1949.** The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.

**167- Sogreah S., 1971.** Participation à la mise en valeur de l'Oued Righ. Etude agro-pédologique, Doc. Poly .MTPC. Alger. pp 7-36.

**168- Stengel E and Soeder C.J., 1995.** Control of photosynthetic production in aquatic ecosystems. In Photosynthesis and Productivity in Different Environments. J. P. Cooper, Cambridge University Press : 645-660.

**169- Stewart P., 1969.** Quotient pluvio-thermiques et dégradation biosphériques: quelques réflexions. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord (59): 23-36.

**170- Tiku B.L., 1975.** Ecophysiological aspects of halophyte zonation in saline sloughs. Plant soil, 43:355-369.

**171- Toutain G., 1979.** Eléments d'agronomie saharienne, de la recherche au développement. Ed .INRA, Paris, 276p.

**172- Ungar I.A., 1998.** Are biotic factors significant in influencing the distribution of halophytes in saline habitats? Botanical Review, 64 (2): 176-199.

**173- Viellefont J., 1979.** Contribution à l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux. Cah. ORSTOM. Série Pédologie, 17 :195-201.

**174- Vivier E., 1989.** Les eaux de surface du Nord de la France (1985-1988), Nord Nature Environnement. Bulletin N°57.

**175- Walbridge M.R., 1993.** Functions and values of forested wetlands in the southern United States. Journal of Forestry, 91: 5-19.

**176- Youcefi M, 2011.** Étude de l'impact de l'hydro-halomorphie des sols sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla, Algérie. Thèse Magister. University of Kadsı Merbah Ouargla Algeria. 161p.

**177- Zahran M.A., 1982.** Ecology of the halophytic vegetation of Egypt. In: Sen D.N. and Rajpurohit K.S. (eds), Tasks for Vegetation Science. Dr W. Junk Publisher, The Hague, pp. 3-20.

**178- Zidi C.H and Hachicha M., 1997.** Régime de la nappe superficielle et incidences sur la salure des sols et la production des dattes dans l'oasis de Tarfaya (Kébili). ES - 297, Direction des Sols, Tunis. 24p.

**179- Zohary M and Orshan G., 1949.** Structure and ecology of the vegetation in the Dead Sea region of Palestine J. Bot, 4: 177-206.